

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**ALGORITEMSKA OPTIMIZACIJA PORTFELJA OPCIJ NA
EVROPSKEM TRGU EMISIJSKIH KUPONOV**

Ljubljana, januar 2021

GAJA RIHAR

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Gaja Rihar, študentka Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtorica predloženega dela z naslovom Algoritemska optimizacija portfelja opcij na evropskem trgu emisijskih kuponov, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem red. prof. dr. Alešem Berkom Skokom

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravila samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označila;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.

KAZALO

UVOD	1
1 EVROPSKI SISTEM TRGOVANJA Z EMISIJSKIMI PRAVICAMI	4
1.1 Podnebna politika EU	4
1.2 Kratka zgodovina EU ETS in njen namen	4
1.3 Trgovalna obdobja	6
1.3.1 Prvo trgovalno obdobje (2005 – 2007)	6
1.3.2 Drugo trgovalno obdobje (2008 – 2012)	6
1.3.3 Tretje trgovalno obdobje (2013 – 2020)	7
1.3.4 Četrto trgovalno obdobje (2021 – 2030).....	8
1.4 Trgovanje z emisijskimi kuponi	8
1.4.1 Borze za trgovanje z emisijskimi kuponi.....	8
1.4.2 Tipi emisijskih kuponov	9
1.4.3 Finančni inštrumenti	9
1.4.4 Gibanje cen emisijskih kuponov.....	10
1.5 Prihodnost EU ETS	13
2 TRGOVANJE IN OBVLADOVANJE TVEGANJ PRI PORTFELJU OPCIJ	14
2.1 Opcije	14
2.1.1 Tipi in transakcijske smeri opcij.....	15
2.1.2 Cena opcij	17
2.1.3 Izpostavljenost tveganjem.....	18
2.2 Obvladovanje tveganj portfelja	20
2.2.1 Gama nevtralnost	20
2.2.2 Pozitivna theta.....	21
3 ANALIZA TRGOVALNE STRATEGIJE	22
3.1 Trgovalna strategija	22
3.2 Optimalen portfelj opcij	22
3.3 Optimizacijski problem	23
3.4 Pregled in priprava podatkov	25
3.5 Algoritem	28
3.5.1 Začetni portfelj.....	28
3.5.2 Možne rešitve.....	29
3.5.3 Funkcija vrednotenja.....	29
3.5.4 Širjenje portfelja in cena končne rešitve.....	32
4 SIMULACIJA	33
4.1 Potek simulacije	33
4.2 Primer rešitve	35
4.3 Analiza simulacij	39
4.4 Ocena algoritma	43
SKLEP	44

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primer navedb opcij	16
Tabela 2: Primer podatkov opcij z dne 23.7.2020.....	25
Tabela 3: Verjetnosti alternativnih stanj trga	27
Tabela 4: Naključni začetni portfelj	35
Tabela 5: Optimizacija začetnega portfelja.....	36
Tabela 6: Optimizacija portfelja po korakih	36
Tabela 7: Agregati simulacij z začetkom dne 2. 7. 2018	40
Tabela 8: Število simulacij v posamezni kategoriji	41
Tabela 9: Povprečje simulacij po obdobjih	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Okoljska Kuznetsova krivulja.....	2
Slika 2: Izpusti toplogrednih plinov, 1990 - 2017 (%), 1990 = 100%	5
Slika 3: Obseg trgovanja emisijskih kuponov (v milijonih)	7
Slika 4: Gibanje cen EUA po trgovalnih obdobjih in gibanje cen CER	11
Slika 5: Gibanje cen EUA januar 2019 – julij 2020 (EUR/EUA).....	12
Slika 6: Gibanje cen EUA in EUAA, 2013 – 2020	12
Slika 7: Izplačilo opcij.....	15
Slika 8: Theta pri prodaji nakupne opcije z izvršilno ceno 45, 30 dni pred zapadlostjo.....	21
Slika 9: Nasmeh volatilnosti	26
Slika 10: Diagram standardne deviacije pri normalni porazdelitvi.....	27
Slika 11: Gama funkcija vrednotenja	31
Slika 12: Theta funkcija vrednotenja	32
Slika 13: Gama in theta simulacije.....	37
Slika 14: Dobiček ali izguba simulacije	38
Slika 15: Varnostna rezerva	39
Slika 16: Implicitna volatilnost	42

SEZNAM KRATIC

angl. – angleško

BDP – bruto domači proizvod

CER – (angl. Certified Emissions Reduction); enota potrjenega zmanjšanja izpustov

CMD – (angl. Clean Development Mechanism); mehanizem čistega razvoja

EU – (angl. European Union); Evropska unija

EU ETS – (angl. Emissions Trading System); evropski sistem trgovanja z emisijskimi pravicami toplogrednih plinov

EUA – (angl. European Union Allowance); emisijski kupon

EUAA – (angl. European Union Aviation Allowance); letalski emisijski kupon

ICE – (angl. Intercontinental Exchange); borza, ki obvladuje emisijske kupone

JI – (angl. Joint Implementation); projekti skupnega izvajanja

TGP – toplogredni plin

UVOD

Področje podnebnih sprememb je postalo ena najpomembnejših tem sodobnega časa, ki bo aktualna še leta v prihodnosti. Relevantna je v ekonomiji, znanosti, tehnologiji, etiki, pravu, biologiji in na drugih področjih ter je globalno neomejena. Klimatski in energetski izzivi so tesno prepleteni s svetovno ekonomijo ter kompleksno vplivajo drug na drugega. Vsaka poslovna odločitev pomeni tudi vpliv na okolje, ki si ga, ne glede na lokalno politiko, deli cel svet (Leal-Arcas, 2013).

Na podnebne spremembe so opozarjali že pred tridesetimi leti. Sprva le v obliki iniciative za ukrepanje, nato pa so zasnovali tudi konkretne rešitve z dolgoročnimi cilji. Poleg znanstvenih raziskav, namenskih projektov in investicij v obnovljive vire so vzpostavili tudi sisteme, ki zakonsko omejujejo izpuste največjih onesnaževalcev ter jim konkurenčno bližajo alternativne rešitve, ki so okolju prijaznejše. V Evropi so v ta namen razvili Evropsko trgovalno shemo z emisijskimi pravicami (v nadaljevanju EU ETS).

V evropski zakonodaji je sistemsko zasnovana strategija za postopno zmanjševanje izpustov v evropskem prostoru, ki naj bi v naslednjih desetletjih vodila k ogljični nevtralnosti Evrope. K učinkovitosti strategije je dodatno pripomogla tudi možnost proste menjave emisijskih pravic oziroma možnost trgovanja z njimi, ki z zagotavljanjem konkurenčnosti dviguje povpraševanje in s tem ceno pravic ter tako še dodatno zastruje pogoje za onesnaževanje s prekomernimi izpusti.

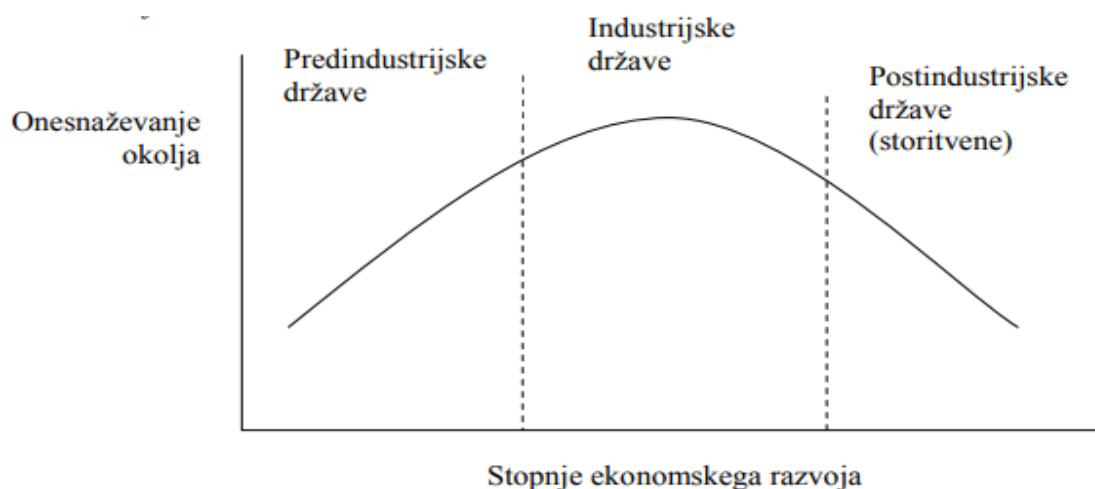
Prosto trgovanje lahko označimo za podpornika okoljske politike. Generira sredstva in povečuje njihovo učinkovitost, s tem pa pripomore k blaginji življenja. Slednja je ključni dejavnik za vlaganje v nove, okolju prijazne rešitve (Leal-Arcas, 2013).

Sprva je s povečanjem bruto domačega proizvoda (v nadaljevanju BDP) okolje čedalje bolj na udaru, a na neki točki se presežni viri začnejo preusmerjati v izboljšanje kvalitete okolja. Slika 1 prikazuje podobno hipotezo, ki jo je Simon Kuznets predstavil leta 1955 s krivuljo v obliki narobe obrnjene črke U. Ta prikazuje manjšo intenzivnost onesnaževanja okolja pri nizki stopnji dohodka, povišano ob industrializaciji, izrabljanju virov in višji ekonomski aktivnosti, čemur sledi upad onesnaževanja ob prehodu v postindustrijsko dobo, ko se pojavljajo učinkovitejše tehnologije (Pavlič, 2006).

Prosti trg pa ima lahko tudi negativne posledice na okolje, kar še posebej velja za industrijo, izrabo naravnih virov in velike količine odpadkov. Povečano povpraševanje in trgovanje so največji pospeševalci okoljskih sprememb in glavni razlog za onesnaževanje (Frankel, 2009, str. 12-13).

Razprava o prevladi ene ali druge teorije bo na tem mestu prekinjena, saj je za namene magistrskega dela opisan le sistem trgovanja z emisijskimi pravicami, imenovanimi tudi emisijski kuponi. Emisijske pravice, ki obstajajo le v elektronski obliki, tako da so ogljično nevtralne, so torej shema, ki pripomore k zmanjševanju izpustov toplogrednih plinov, trgovanje z njimi pa predstavlja pomemben del doseganja zadanih okoljevarstvenih ciljev.

Slika 1: Okoljska Kuznetsova krivulja



Vir: Pavlič (2006).

V uvodih poglavjih magistrskega dela je predstavljena evropska trgovalna shema z emisijskimi pravicami. Obrazložen je njen namen in nastanek. Preučeni so cilji v več sklopih. Obravnavani so obeti trga v prihodnosti in opisani splošni porabniki ter drugi udeleženci na tem trgu. Podrobnejše so predstavljeni inštrumenti in borze, na katerih se najpogosteje trguje z njimi.

V drugem delu je na podlagi podatkov, pridobljenih na trgu emisijskih pravic, testirana strategija za trgovanje z opcijami. Strategija temelji na obvladovanju tveganj, ki izhajajo iz nihanja cene osnovnega inštrumenta na trgu. Z izbiro najboljše kombinacije opcij je portfelj dopolnjen skozi čas, pri čemer je opazovano nihanje nekaterih odvodov, odvisnih od cene. Cilj je čimbolj nevtralizirati odvisnost portfelja od premika cene, hkrati pa s portfeljem ustvariti dobiček na podlagi naraščanja vrednosti opcij skozi čas.

Namen magistrskega dela je spoznati še relativno nepoznan trg emisijskih pravic in aktivno vstopiti nanj z idejno strategijo. Ta je preizkušena v praksi, s pomočjo procesorske moči optimizirana, nato pa ovrednotena. Poudarek je na poskusu splošitve kompleksnega večdimenzionalnega prostora možnih izidov in njegovo obdelovanje s pomočjo kvantitativnih metod. Izpostavljene so prednosti trgovanja z zahtevnejšimi izvedenimi finančnimi inštrumenti.

V magistrskem delu sta tako preverjeni naslednji raziskovalni vprašanji:

RV1: Kako dolgo bo EU ETS še mogočen in likviden trg?

RV2: Ali lahko z algoritmičnim optimiziranjem tveganj opsijskega portfelja generiramo zaslužek?

Magistrsko delo tako povezuje dve navidezno nepovezani temi – okoljsko problematiko in strateško trgovanje. Osrednji del magistrskega dela se sicer osredotoča na trgovalno strategijo z izvedenimi finančnimi inštrumenti, vendar pa je za njen uspeh ključno razumevanje trga na katerem se strategija preizkuša.

Delo obsega štiri poglavja in sklep. V prvem poglavju je predstavljen evropski sistem trgovanja z emisijskimi pravicami oziroma kuponi. V prvem podpoglavju je opisana podnebna politika Evrope, ki je v praksi realizirana s pomočjo evropske trgovalne sheme, katere zgodovina in namen sta opisana v drugem podpoglavju. Cilji trgovalne sheme, kot so znižanje izpustov toplogrednih plinov, več obnovljivih virov energije in povišana okoljevarstvena zavednost, se po obdobjih dosegajo že od leta 2005, s ciljno črto v letu 2030. V tretjem podpoglavju so podrobneje predstavljeni potek, ukrepi in uspešnost delovanja sheme. Četrto podpoglavje je namenjeno podrobnejši obravnavi strukture trga. Predstavljene so borze, na katerih poteka večina trgovanja z emisijskimi kuponi. Opredeljeni so tipi emisijskih kuponov, njihovi ciljni kupci in njihovo obnašanje na trgu. Spoznamo osnovne in izvedene finančne inštrumente, ki so na borzah na voljo za različne tipe kuponov. Na koncu se osredotočimo na gibanje cen kuponov skozi trgovalna obdobja, ki odražajo tako kvaliteto evropske podnebne politike kot obnašanje ključnih udeležencev trga. Poglavje zaključimo z odgovorom na prvo raziskovalno vprašanje s pomočjo analize prihodnosti EU ETS.

Drugo poglavje je namenjeno razumevanju ključnih pojmov, uporabljenih v tretjem poglavju. V prvem podpoglavju so predstavljene opcije. Spoznamo tipe opcij ter njihovo obnašanje na trgu in predstavimo model za njihovo vrednotenje. Iz modela izluščimo nekatere derivate, ki služijo za obvladovanje tveganj, v žargonu imenovane »The Greeks«. V naslednjem podpoglavju sta predstavljeni dve ključni strategiji obvladovanja tveganj na podlagi prej preučenih derivatov, ki služita kot temelj preizkušene trgovalne strategije.

V tretjem poglavju je trgovalna strategija podrobneje predstavljena. V prvem podpoglavju so zapisani njeni cilji. V drugem podpoglavju spoznamo osnovno idejo strategije - portfelj opcij v optimalnem stanju, katerega bomo poskušali vzdrževati. Nadaljujemo z matematičnim ozadjem in predpostavkami strategije, ki temeljijo na prej omenjenih strategijah obvladovanja tveganj, nato pa celotno strategijo zasnujemo kot optimizacijski problem. Opredelimo optimizacijsko funkcijo in prostor rešitev. V četrtem podpoglavju spoznamo in pregledamo podatke, ki jih kasneje uporabljamo za preizkus strategije. Opredelimo funkcije za izračun podatkov, ki niso na voljo, a so potrebni za delovanje strategije. V zadnjem podpoglavju natančneje predstavimo algoritem, s katerim bomo vzdrževali optimalno stanje portfelja. V tem delu je točno opredeljeno vrednotenje portfelja v smislu optimalnosti in potek iskanja možnih opcij za doseganje zadanega cilja.

V zadnjem poglavju so predstavljeni rezultati testiranja strategije. V prvem podpoglavju spoznamo potek simulacije. V naslednjem je predstavljena ena od več izvedenih simulacij za boljše razumevanje delovanja programa. V tretjem podpoglavju statistično analiziramo rezultate več testiranja in na koncu sklenemo mnenje o uspešnosti strategije.

Sledi sklep, ki odgovori na zastavljeni raziskovalni vprašanji in zaokroži magistrsko delo kot celoto.

1 EVROPSKI SISTEM TRGOVANJA Z EMISIJSKIMI PRAVICAMI

1.1 Podnebna politika EU

Države članice Evropske unije (v nadaljevanju EU) so med najbolj industrializiranimi državami na svetu. Njihova gostota poseljenosti je izjemno visoka, hkrati pa so površinsko majhne in tako ekološko neposredno močno vplivajo ena na drugo. Države si delijo rečne in zračne tokove, ki ne upoštevajo državnih meja pri prenosu onesnaževanja. Po zraku in po vodi se popolnoma brez nadzora prenaša ogromno okolju škodljivih snovi po celotnem ozemlju Evrope (Füllenbach, 1981).

Prav zaradi visoke medsebojne odvisnosti v geoekološki sferi Evrope se je pojavila potreba po meddržavnih okoljevarstvenih programih. Okoljska politika je ena najhitreje razvijajočih se politik Evrope. Po približno pol stoletja razvoja z gotovostjo lahko trdimo, da je EU aktivna in produktivna pri naslavljanju okoljske problematike. EU je od zakonodaj za področje ravnanja z odpadki postopoma napredovala do kompleksnega sistema z obširno regulativo in eno najzahtevnejših svetovnih politik na področju varovanja okolja, z namenom izboljšati kvaliteto življenja prebivalcev celotne Evrope (McCormick, 2001).

1.2 Kratka zgodovina EU ETS in njen namen

Prvi pomemben mejnik v zgodovini okoljevarstvenih rešitev je bila Okvirna konvencija Združenih narodov o spremembi podnebja (angl. United Nations Framework Convention on Climate Change), ki je leta 1992 v Riu de Janeiru določila mednarodni pravni okvir za okoljevarstveno politiko. Pozvala je k sodelovanju držav za stabilizacijo koncentracije toplogrednih plinov v ozračju, ki povzročajo učinek tople grede in globalno povišanje temperature. Konvencija ni bila zavezujoča in je države zgolj pozvala k skupnemu cilju. Leta 1997 so države podpisnice stopile še korak naprej in določile zgornje meje letnih izpustov toplogrednih plinov v Kjotskem protokolu. Zastavljen je bil cilj zmanjšanja izpustov toplogrednih plinov (v nadaljevanju TGP) med leti 2008 in 2012 za najmanj 5% v primerjavi z letom 1990. Podpisnica Kjotskega protokola je bila tudi Evropska unija, ki se je s tem zavezala k uresničitvi okoljevarstvenih ciljev (Leggett, 2020).

Eden od treh prožnih mehanizmov, ki jih je vpeljal Kjotski sporazum, je trgovanje z emisijskimi pravicami. Namen prožnih mehanizmov je, da pospešujejo zmanjševanje izpustov na najbolj stroškovno ugoden način, hkrati pa doprinašajo k novejšim in čistejšim tehnologijam držav v razvoju. Sistem trgovanja je po priljubljenosti med državami članicami močno prekosil idejo okoljskega davka in je bil tako izbran kot najboljša rešitev (Convery, 2009, str. 407). Evropska komisija je leta 2000 v ta namen oblikovala Evropski program za podnebne spremembe (angl. European Climate Change programme), v okviru katerega so s ciljem zmanjševanja izpustov ustanovili Evropsko shemo za trgovanje z emisijskimi

praviciami (angl. Emission trading system, v nadaljevanju ETS), ki je začela z delovanjem v letu 2005.

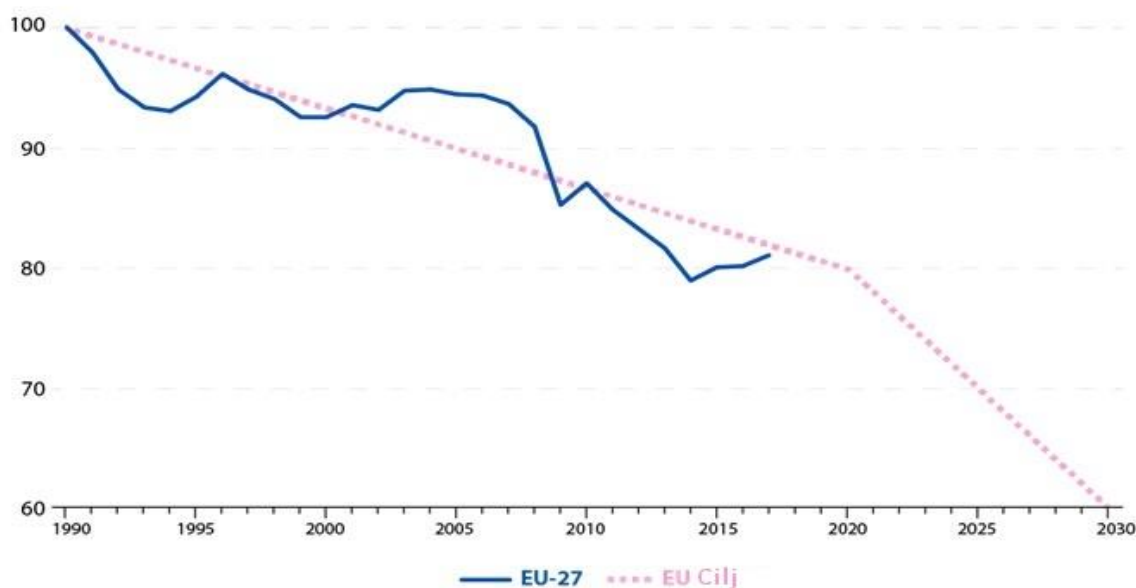
EU med vsemi podpisnicami Kjotskega protokola najbolj dosledno upošteva njegove smernice. Zavezala se je, da bo do konca leta 2020 dosegla naslednje cilje (European Commission, 2020):

- a) za 20 % zmanjšala izpuste TGP v primerjavi z letom 1990,
- b) 20 % končne rabe energije pridobila iz obnovljivih virov in
- c) za 20 % izboljšala energetska učinkovitost.

EU ETS je ključno orodje za doseganje teh ciljev in pokriva 45 % vseh evropskih izpustov toplogrednih plinov. Za sektorje, trenutno vključene v trgovalno shemo ETS (energetski, industrijski in letalski), EU zagotavlja, da bo v primerjavi z letom 2005 zmanjšanje izpustov do leta 2020 21 odstotno, do leta 2030 pa 43 odstotno (European Commission, 2020).

Slika 2 predstavlja omenjene cilje EU do leta 2030 ter dejanske izpuste toplogrednih plinov med leti 1990 in 2017, kjer je količina izpustov v letu 1990 merilo za primerjavo s kasnejšimi leti.

Slika 2: Izpusti toplogrednih plinov, 1990 - 2017 (%), 1990 = 100%



Vir: European Environmental Agency

Prirejeno po European Commission (2017).

Sistem deluje precej transparentno, po načelu omeji in trguj. Določena je letna omejitev izpusta TGP, ki se v skladu s cilji podnebne politike vsako leto zmanjšuje. Znotraj omejitev letnega izpusta TGP elektrarn, industrijskih obratov in letalskih prevoznikov je omogočeno trgovanje z emisijskimi pravicami, kjer vsaka trgovalna enota oziroma emisijski kupon pomeni dovoljenje za izpust ene tone ekvivalenta ogljikovega dioksida (CO₂), pri čemer za druge TGP, vodno paro (H₂O), metan (CH₄), dušikove okside (NO_x, N₂O), žveplov

heksafluorid (SF₆) in fluorirane ogljikovodike (CFC, HCF, PHC), veljajo ustrezne pretvorbe. Podjetja morajo vsako leto regulatorju predložiti toliko emisijskih kuponov, da zadostijo celotnemu letnemu preverljivemu izpustu. Države letno določeno število kuponov podelijo ali prodajo na dražbi, za razliko do pričakovanega izpusta pa poskrbijo podjetja sama na enega od naslednjih načinov (Obermayer, brez datuma; European Commission, 2016):

- a) dodatne kupone odkupijo na trgu,
- b) porabijo kupone, ki so jih prihranili iz prejšnjih let,
- c) zmanjšajo produkcijo ali
- d) investirajo v tehnologijo, ki zmanjša onesnaževanje na enoto proizvodnje.

Trgovanje s kuponi ne poteka le med porabniki, pač pa tudi neposredno med drugimi kupci, prodajalci, posredniki ali borzami, vezanimi na trg ogljika. Cene tako določata ponudba in povpraševanje. Preko Evropske trgovalne sheme, ki je po volumnu in vrednosti največja na svetu, se je v letu 2019 stržilo 169 milijard evrov kuponov (Szabo, 2020).

Cilji sheme so doseženi tako, da se število kuponov, ki so dostopni na trgu, letno zmanjšuje v skladu z evropsko politiko. Zaradi večjega povpraševanja kuponom naraščajo cene, s tem pa postaja poslovanje na okolju nevaren način za podjetja, ki morajo kupone v skladu z zakonodajo letno predložiti, čedalje dražje. EU tako namensko usmerja podjetja k investicijam v tehnologijo, ki zmanjšuje onesnaževanje pri proizvodnji ali delovanju.

1.3 Trgovalna obdobja

1.3.1 Prvo trgovalno obdobje (2005 – 2007)

Prvo triletno obdobje, ali pilotna oziroma predkjotska faza, je bilo za članice uvajalno obdobje, v katerem so vzpostavile celotno infrastrukturo za trgovanje in njegov nadzor. V prvem obdobju je bila večina kuponov državam razdeljena brezplačno, nekaj manj kot 10 % pa jih je bilo prodanih na državnih dražbah. Omejitev letnega izpusta EU je bila določena glede na alokacijski načrt vsake posamezne države (angl. National allocation plan). Dejanski izpust držav ni dosegel podane omejitve, zato tudi podjetja niso bila dovolj motivirana za zmanjšanje onesnaževanja (Betz & Sato, 2006, str. 354). Kuponi so izgubili vso svojo vrednost, cena na trgu pa je padla na nič evrov. Kljub temu je prvo trgovalno obdobje prispevalo potrebne informacije za zagon drugega, strožjega trgovalnega obdobja. Kupone iz prvega obdobja so zavrgli in v naslednjem obdobju niso bili več veljavni (Chandreyee & Velten, 2014).

1.3.2 Drugo trgovalno obdobje (2008 – 2012)

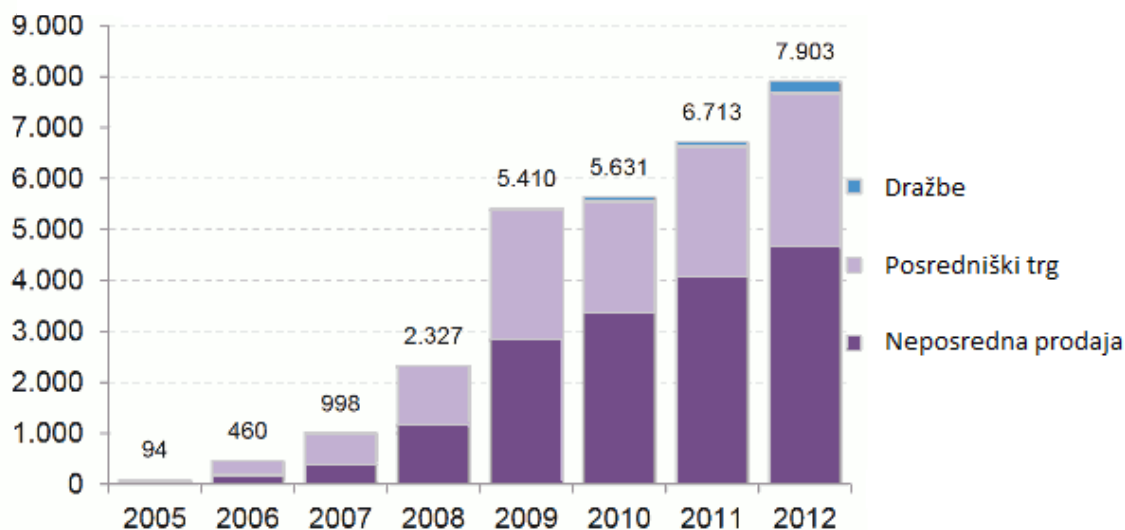
Da bi dosegli cilje, zadane s Kjotskim protokolom, so število kuponov, sproščenih na trg

skozi obdobje, zmanjšali za 6,5 % v primerjavi z omejitvijo določeno leta 2005. Kazen za neskladnost je zrasla za 60 evrov na tono izpusta ekvivalenta CO₂ in je tako znašala 100 evrov na prekoračeno tono. V shemo je bila vključena tudi letalska industrija, vendar le za notranji promet. Uporabljeni so bili lahko tudi krediti, pridobljeni s projekti skupnega izvajanja (angl. Joint Implementation, v nadaljevanju JI) in mehanizma čistega razvoja¹ (angl. Clean Development Mechanism, v nadaljevanju CMD), ki so postali enakovredni kuponom, a zgolj v višini okrog 10 % celotne porabe (odvisno od države). Kuponi, izdani v drugem trgovalnem obdobju, so bili lahko porabljeni tudi v tretjem trgovalnem obdobju (Emissions-EUETS, 2019).

Trgovalno obdobje se je sicer začelo obetavno, a je zaradi krize leta 2008 izgubilo svoj zagon. Ker je s krizo prišlo do zmanjšanja obratovanja, so se sorazmerno zmanjšali tudi izpusti, s tem pa potreba po kuponih. Ti svoje začetne privlačnosti do konca trgovalnega obdobja niso več pridobili, hkrati pa se je trgovalno obdobje ponovno končalo s presežkom kuponov v obtoku (Ellerman, Valero & Zaklan, 2015, str. 1). Kljub temu se je obseg trgovanja na trgu kuponov povečal, zlasti iz špekulativnih razlogov, vendar pa je cena kuponov zaradi krize upadla in ni konkurenčno spodbujala napredka.

Na sliki 3 je razvidno povečanje obsega trgovanja med leti 2005 in 2012 ter razčlenitev obsega po tipu poslovanja.

Slika 3: Obseg trgovanja emisijskih kuponov (v milijonih)



Prirejeno po European Commission (2012).

1.3.3 Tretje trgovalno obdobje (2013 – 2020)

Shema je bila v tretjem obdobju deležna večjih reform. Sistem se je izkazal za premalo zanesljivega, kar je bilo razvidno iz padca cen v drugem trgovalnem obdobju. Hkrati ni

¹ Več o mehanizmu čistega ravoja v poglavju 1.4.2

zadostil potrebam in pričakovanjem po spremembah v tehnologijah obnovljivih virov, ni bil dovolj stroškovno učinkovit in je bil tarča več zlorab in prevar (Chandreyee & Velten, 2014).

Namesto na državni ravni, se je omejitev sedaj določala na evropski ravni. Meja se je spreminjala letno in sicer se je vsako leto znižala za 1,74 %, kar je bilo nujno potrebno za dosego cilja - zmanjšanja emisij za 21 % glede na leto 2005. Delež kuponov, prodanih na dražbah, je bil v tem obdobju večji od 40 %, kar je povišalo konkurenčnost (European Commission, 2015).

Omejili so delež dovolilnic, pridobljenih iz nadomestnih projektov (CMD, JI), saj se je izkazalo, da so podjetja raje kupovala cenovno ugodnejše kredite kot dražje kupone in s tem zaobšla bistvo sheme (Anger in drugi, 2007, str. 15). Uvedli so postopno zadržanje odvečnih kuponov (angl. backloading), da bi preprečili ponovni padec cen (Appunn & Sherman, 2018).

Zadnja sprememba, ki je bila sprejeta v letu 2018, bo uveljavljena januarja 2021, ko se bo začelo četrto trgovalno obdobje, do konca leta 2020 pa bo razvidno, ali so bili zastavljeni cilji za tretje trgovalno obdobje doseženi.

1.3.4 Četrto trgovalno obdobje (2021 – 2030)

Z letom 2021 se bo začelo četrto trgovalno obdobje. Vsako leto bodo količino kuponov zmanjšali za 2,2 %, da bo dosežen cilj 43 odstotnega zmanjšanja izpustov TGP v primerjavi z letom 2005 v ETS sektorju (European Commission, 2016). Hitreje bodo umikali odvečne kupone s trga in namenjali večjo pozornost odpornosti trga na ekonomske šoke. Delež, prodan na dražbi, bo fleksibilen skozi celotno obdobje, s čimer se bo zagotovila prilagodljivost na nepričakovane udarce trga (De Clara & Mayr, 2018). Uporaba dovolilnic, pridobljenih iz nadomestnih projektov (CMD, JI), ne bo več dovoljena.

1.4 Trgovanje z emisijskimi kuponi

1.4.1 Borze za trgovanje z emisijskimi kuponi

Največji obseg trgovanja z emisijskimi kuponi dosega borza ICE (angl. Intercontinental Exchange). ICE je ameriško podjetje, ki obvladuje 12 reguliranih finančnih in blagovnih borz. Leta 2010 je prevzela podnebno borzo (angl. Climate Exchange) ter ustvarila največjo enotno trgovalno platformo z emisijskimi kuponi na svetu (Sandle, Szabo & Bryan, 2010). Borza ICE pokriva celotni energetski sektor, poleg tega pa tudi druge dobrine in delnice.

Omembe vredna je še borza EEX (angl. European Energy Exchange), ki je centralna evropska borza za elektriko in povezane produkte, od leta 2005 pa omogoča tudi trgovanje z emisijskimi kuponi.

Obe borzi omogočata trgovanje z glavnimi tipi emisijskih kuponov ter vsemi njihovimi izvedenimi finančnimi instrumenti.

1.4.2 Tipi emisijskih kuponov

Osnovni kupon, s katerim se v okviru ETS tudi najpogosteje trguje, je emisijski kupon z oznako EUA (angl. European Union Allowance). En kupon predstavlja dovoljenje za izpust ene tone ekvivalenta ogljikovega dioksida (European Commission, 2015, str. 17-18). Do 30. aprila vsakega leta morajo zavezanci predati tolikšno količino EUA, da zadostijo celotnemu letnemu izpustu prejšnjega koledarskega leta.

Za letalsko industrijo so na trgu dodatno vzpostavljeni kuponi z oznako EUAA (angl. European Union Aviation Allowance), ki so praviloma nekoliko cenejši od EUA in so bili uvedeni v drugem trgovalnem obdobju. Letalska družba lahko svoje izpuste pokrije z obema kuponoma (Carbon Expert, brez datuma).

V skupini prožnih mehanizmov Kjotskega protokola pa je tudi Mehanizem čistega razvoja CDM, v okviru katerega imajo podjetja razvitih držav možnost financiranja projektov, s katerimi bi dosegla odpravo ali zmanjšanje izpustov. S tem pridobijo enote z oznako CER (angl. Certified Emissions Reduction), ki so skozi trgovalna obdobja izenačene z EUA (Belektron, brez datuma). Delež izpustov, za katere podjetja lahko izrabijo CER namesto EUA, se z vsakim trgovalnim obdobjem manjša.

Čeprav poleg omenjenih treh obstajajo še druge enote s podobnimi nameni (enote zmanjšanja emisij – ERU, verificirano zmanjšanje emisij – VER, potrdila o izvoru – GoO, ipd.), pa so le našteje tri enote predmet trgovanja na borzah.

1.4.3 Finančni instrumenti

V grobem se instrumenti na trgu kuponov delijo v tri skupine.

Najpogosteje trgovan instrument je standardizirana terminska pogodba (angl. futures). To je izvedeni finančni instrument, ki pomeni pogodbo o nakupu ali prodaji določene količine osnovnega instrumenta do določenega časa (ali točno na določen čas) v prihodnosti, po ceni, določeni ob sklepanju posla. Praviloma gre za termin, ki je več kot dva dni oddaljen od dneva, ko je bil posel sklenjen. Večina postavk pogodbe je standardiziranih in vnaprej določenih. Tako so denimo ročnost, količina, kakovost in pogoji izpolnitve pogodbe enotni, pogajanja pa potekajo zgolj na ravni cene instrumenta (Agencija za trg vrednostnih papirjev, brez datuma).

Borza določa pogoje takih terminskih pogodb in skladno za vse, ki na borzi sodelujejo, objavlja njihove ročnosti. Najpomembnejša informacija je datum zapadlosti, ki se na borzi navaja kot mesec in leto (npr. Dec20 je terminska pogodba, ki zapade 14. 12. 2020). Osnovni

inštrument je v primeru emisijskih pravic en kupon EUA, EUAA ali CER (Intercontinental Exchange, brez datuma b).

Praviloma mora na dan zapadlosti terminske pogodbe prodajalec dogovorjeno količino osnovnega inštrumenta dobaviti kupcu, vendar pa se pri špekulativnem trgovanju to pogosto ne zgodi. Vlagatelj svoje nakupljene terminske pogodbe navadno proda pred iztekom roka (ali kupi, če jih je sprva prodal), ter si s tem zagotovi dobiček (ali utrpi izgubo) zaradi razlike v ceni, osnovni inštrument pa med transakcijo ne zamenja (Lucia, Bataller & Pardo, 2012).

Dodatna prednost trgovanja s terminskimi pogodbami, ki izvira iz opisanega načina trgovanja, je tudi ta, da vlagatelj za sklenitev posla ne potrebuje celotnega zneska pogodbe, pač pa le majhen delež kot jamstvo, preostalo pa mu navidezno posodi borza (angl. leverage). Posel je končan, ko sta izvršeni obe strani transakcije, t. j. nakup in prodaja (ali obratno) in se realizira razlika v ceni. Z lastnim deležem vlagatelj pokriva morebitne izgube, preostali del pogodbenega zneska posla pa se vrne borzi. Na tak način lahko vlagatelj sklepa večje posle in borza prejema višje provizije (Przybylinski & Leonberger, 2010, str. 2-3).

Posli, ki imajo dobavni čas krajši od dveh dni, se imenujejo promptni posli (angl. spot). Pri promptnem poslu se navadno osnovni inštrument dobavi takoj, zato so taki posli ekvivalentni trgovanjem s kuponi na trgu. Da bi se izognili menjavi lastništva kuponov ob vsakem takem poslu, se promptni posel na borzi pojmuje kot dnevna terminska pogodba. Tako ima rok dobave en dan, s čimer pridobi fleksibilnost trgovanja znotraj trgovalnega dne lastništva (Futuretradingpedia, brez datuma; Intercontinental Exchange, brez datuma c).

Tretji tip inštrumenta je opcija. Opcije dajejo kupcu pravico, ne pa tudi obveze, da kupi ali proda finančni inštrument po vnaprej določeni ceni ob vnaprej določenem dnevu. Za takšno pravico kupec plača premijo, za izvršitev pa se kupec odloča na podlagi razmer na trgu ob zapadlosti kupljene opcije (Garner & Brittain, 2009). Opcije bodo predmet raziskave v naslednjem poglavju in bodo v nadaljevanju tudi podrobneje predstavljene.

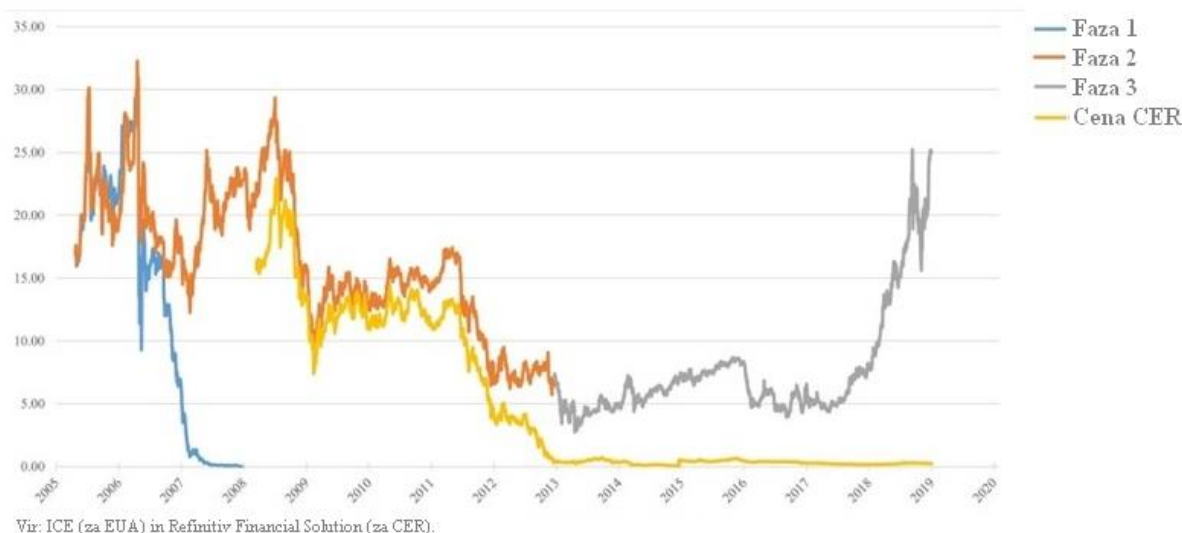
1.4.4 Gibanje cen emisijskih kuponov

Gibanje cen kuponov skozi trgovalna obdobja je bilo tesno povezano s politiko, ki jo je EU izvajala v okviru zadanih ciljev za zmanjšanje izpustov TGP in odraža uspešnost trgovalnih obdobj. Slika 4 prikazuje gibanje cen emisijskih kuponov med leti 2005 in 2019, barvno pa je razdeljena po trgovalnih obdobjih.

Prvo trgovalno obdobje je bilo zastavljeno kot poskusno obdobje, v katerem se je zgolj načrtovala omejitev izpusta držav podpisnic, vendar pa se je ocena izkazala za previsoko. Na trg je bilo sproščenih občutno preveč kuponov glede na dejanski izpust, kar je privedlo do viška na trgu in nekonkurenčnosti. Sledil je padec povpraševanja, kar je do konca trgovalnega obdobja pripeljalo do popolnega razvrednotenja cene kuponov. Tako je cena kuponov z začetnih 7 EUR/EUA sprva poskočila do 30 EUR/EUA, po letu 2006, ko je bil

višek kuponov tudi uradno objavljen, pa strmoglavila in končala na ničli. Ker so bili kuponi razdeljeni brezplačno, industrija ni utrpela finančnih posledic, padec pa se je vseeno odražal v okoljevarstvenem sektorju, saj iniciativa za zmanjšanje izpustov TGP ni naletela na plodna tla (Kutney, 2014, str. 184).

Slika 4: Gibanje cen EUA po trgovalnih obdobjih in gibanje cen CER



Prirjeno po Teixidó, Verde & Nicolli (2019).

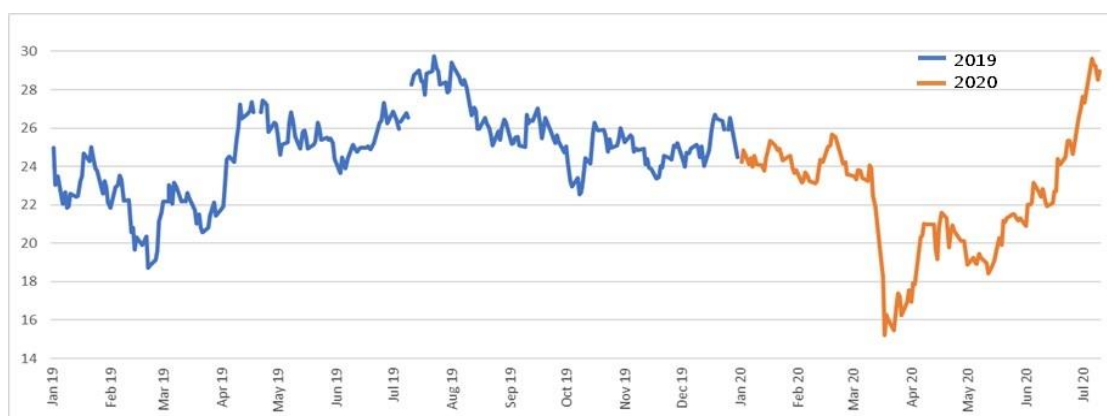
Kuponi drugega trgovalnega obdobja, ki so bili na voljo v bolj omejenem številu, so do sredine leta 2008 pridobivali na ceni in dosegli 28 EUR/EUA, nato pa zaradi finančne krize v enem letu padli na tretjino svoje cene, na 8 EUR/EUA. V letu 2010 se je cena gibala med 13 in 15 EUR/EUA in v letu 2011 dosegla vrh pri 18 EUR/EUA, predvsem zaradi poročila o povišanih izpustih, ki so bili v letu 2010 3 % višji kot v letu 2009. Leto 2011 je bilo nato za ceno kuponov ponovno neugodno, saj sta dolžniška kriza in napoved o upadanju gospodarske rasti negativno vplivali na povpraševanje (Korošec, 2012, str. 29). Pomembno vlogo pri padcu cen so odigrali tudi CER krediti, ki so prevzeli velik del prometa in tako nižali povpraševanje po kuponih EUA. V tem času so se cene CER gibale skladno s cenami EUA, a ves čas nekaj evrov nižje (Chune, Minkyu & Jason, 2018). Evropska komisija je CER kredite pospešeno omejevala, dokler ni njihova vrednost proti koncu trgovalnega obdobja padla na 30 centov, kjer vztraja še danes. V letu 2012 se je cena EUA kuponov stabilno držala na približno 7 EUR/EUA (Koch, Fuss, Grosjean & Edenhofer, 2014).

Tretje trgovalno obdobje se je v letu 2013 pričelo s sesutjem cene EUA, ko je ta dosegla najnižjo raven 3 EUR/EUA. To je vodilo do vrste novih reform, ki naj bi zagotovile pospešeno črpanje odvečnih kuponov s trga. Reforme so bile pripravljene marca 2018. Napoved teh reform je med letoma 2013 in 2016 počasi dvigovala ceno, a se je ta v letu 2017 vrnila na izhodišče zaradi izida referenduma o izstopu Združenega kraljestva iz EU. V letu 2018 so bile reforme tudi uradno potrjene, to pa je privedlo do hitrega vzpona cen. Le-te so se v letu 2018 potrojile in narasle z 8 EUR/EUA na 25 EUR/EUA. Izdatno povišanje bi sicer lahko nakazovalo mehurček na trgu, ki je nastal zaradi bojazni pred pomanjkanjem kuponov,

vendar so se cene v letu 2019 ohranjale na tej ravni in celo narasle do 30 EUR/EUA. (Friedrich, Fries, Pahle & Edenhofer, 2020).

Rast cen se je v letu 2019 umirila. Cena je volatilno nihala med 18 EUR/EUA in 30 EUR/EUA in se nazadnje stabilizirala pri 25 EUR/EUA z razlihi odtegi v obe smeri. To je nakazovalo podobno stabilno leto 2020, a so se pričakovanja razblinila, ko je v začetku leta svet pretresla pandemija korona virusa Covid-19. Ko je sredi marca sprva Italijo in kasneje še druge države prizadel močan izbruh virusa, so sledili ukrepi držav EU, katerih del sta bila tudi zaustavitev javnega življenja in prepoved neposredne prodaje blaga. Obeti ekonomske recesije so ceno EUA v desetih dneh skoraj prepolovili s 24 EUR/EUA na 13 EUR/EUA. Čeprav je bilo pričakovati zlom trgov in zelo počasno okrevanje, pa se je že pred koncem marca začela cena EUA strmo vzpenjati in do sredine leta dosegla 30 EUR/EUA (Redshaw Advisors Ltd., brez datuma). Rast je najverjetneje posledica intenzivne kapitalizacije trgov s strani centralnih bank, kar pa ne obrazloži v celoti, zakaj je trg skoraj popolnoma zaobšel napovedano recesijo. Obnašanje cen med januarjem 2019 in julijem 2020 prikazuje slika 5.

Slika 5: Gibanje cen EUA januar 2019 – julij 2020 (EUR/EUA)



Vir: lastno delo.

Cena kuponov EUAA je skozi čas tesno korelirana s ceno kuponov EUA, le na nekoliko nižji ravni, kar lahko razberemo iz slike 6.

Slika 6: Gibanje cen EUA in EUAA, 2013 – 2020



Vir: lastno delo.

Cena EUAA je v tretjem trgovalnem obdobju nižja med 0 in 3,24 evra, v povprečju pa je kupon EUAA približno 24 centov cenejši od kupona EUA. Cena kupona EUAA ne more presežati cene kupona EUA, saj bi v tem primeru letalski prevozniki prešli na uporabo cenejših kuponov EUA, lahko pa pomanjkanje kuponov EUAA privede do zvišanja povpraševanja in posledično cene kuponov EUA (Dorsman, Gök & Karan, 2014, str. 208).

Napovedi za gibanje cen v prihodnosti je več, vendar so vse negotove. Cene bi lahko doletela zakasnjena recesija, lahko pa bi se vpliv krize tudi popolnoma porazgubil. Cena kuponov bi se kljub morebitnemu padcu lahko okrepila neposredno zaradi zaostrovanja pogojev ter umikanja kuponov s trga in posredno z dokapitalizacijo gospodarstva. Edini morebitni dejavnik, ki bi v tem trenutku lahko nakazal propad trga, je umik EU od Kjotskega protokola z namenom, da bi vire, namenjene podnebni politiki, preusmerila v reševanje izgube BDP, ki je nastala zaradi začasne zaustavitve precejšnjega dela ekonomije. Ker je EU močno naklonjena odpravljanju podnebnih sprememb, je takšna radikalna sprememba politike malo verjetna, ne gre pa je popolnoma izključiti ob morebitnem drugem ali tretjem valu okužb (Elkerbout in drugi, 2020).

ETS je doslej že uspešno prestal velike preizkušnje, podobne krize pa je nedvomno moč pričakovati tudi v prihodnje. Sistem se s sprotnim prilagajanjem vztrajno stabilizira in postaja čedalje bolj odporen na ekonomske šoke. V vsakem primeru se napoveduje nadaljnja rast cen kuponov, ki bo presežla trenutni maksimum, četudi bo prišlo do morebitnih padcev v posameznih obdobjih. Cilji zaenkrat ostajajo nespremenjeni, s tem pa ostaja trdna tudi shema za trgovanje, ki v prihodnosti obeta uresničitev idejnih načrtov (Fjellheim, 2018).

1.5 Prihodnost EU ETS

Evropska komisija je 11. decembra 2019 predstavila nov dogovor, ki temelji na prizadevanjih Evrope za podnebno nevtralnost do leta 2050. Evropski zeleni dogovor (angl. The European Green Deal) predstavlja strategijo za prehod na preoblikovano in sodobno gospodarstvo, ki bi zagotavljalo rast in konkurenčnost, ne da bi pri tem škodovalo okolju in podnebnju. Vzpostavitev trajnostnega gospodarstva naj bi tako vključevala vse sektorje vseh držav kontinenta, EU pa naj bi z mehanizmom za pravični prehod med letoma 2021 in 2027 z najmanj 100 milijardami evrov sredstev k temu cilju pomagala tudi najbolj prizadetim regijam (Evropska komisija, 2019).

EU ETS predstavlja ključni del evropskega zelenega dogovora, vendar pa je za ambiciozne cilje dogovora premalo zaostren. Čeprav evropski zeleni dogovor vsebuje več strategij, pa je ključnega pomena, da trgovalna shema ne zaostaja za temi cilji. Sabine Frank, izvršna direktorica asociacije Carbon Market Watch trdi, da bi se razvite države v skladu s svojimi zmoglostmi morale nevtralizirati hitreje kot razvijajoče se države in sicer že do leta 2040. EU ETS bi po njenih besedah morala slediti zaostreni dekarbonizaciji, kar pomeni, da je trenutno naravnana preblago. Po njenem mnenju bi morali močno zmanjšati tudi količino

podarjenih kuponov, donos iz naslova prodanih kuponov na dražbah pa v celoti nameniti za vlaganje v trajnostno ekonomijo (Frank, 2020).

Evropska komisija je cilj prvega podnebno nevtralnega kontinenta zastavila brezpogojno. Ne le, da v doseganje ciljev vlaga čedalje več, cilje tudi zaostuje. EU ETS bo nedvomno kmalu vključevala vse sektorje gospodarstva, z zaostrovanjem pogojev pa bo zagotovo dosegla tudi zvišanje cen kuponov na trgu, kar bo močno pospešilo prizadevanja za doseganje ogljične nevtralnosti. Ambiciozni cilji in intenzivnost politike bodo EU ETS še okrepili, trg pa bo tako mogočen in privlačen še najmanj dokler EU ne doseže ogljične nevtralnosti, najverjetneje pa bo ohranjanje doseženega stanja zahtevalo aktivno sodelovanje tudi po tem (EFET, 2020).

2 TRGOVANJE IN OBVLADOVANJE TVEGANJ PRI PORTFELJU OPCIJ

2.1 Opcije

Raznolikost vrednostnih papirjev na trgu omogoča raznovrstne priložnosti za bolj izkušene vlagatelje. Opcije, ki so ene kompleksnejših finančnih instrumentov, s svojo vsestranskostjo omogočajo prilagoditev na različne situacije na trgu glede na osebne preference vlagatelja in njegovega nagnjenja k tveganju. Z njimi je moč zaščititi pozicijo pred spremembo v ceni, ali pa neposredno staviti na smer njene spremembe. Prav zaradi svoje kompleksnosti pa so tudi visoko tvegani finančni instrumenti, še posebej za manj izkušene vlagatelje (Investopedia, 2010, str. 1).

Opcija je derivat osnovnega instrumenta (angl. underlying asset), npr. delnice, blaga, indeksa, valute, itd. Je pogodba, ki kupcu nudi možnost, da osnovni instrument kupi ali proda po vnaprej določeni ali izvršilni ceni (angl. strike) ob določenem času v prihodnosti oziroma ob datumu zapadlosti (angl. expiry date). Od terminske pogodbe se razlikuje v tem, da kupec ni dolžan izpolniti pogodbe, pač pa se za nakup oziroma prodajo odloči na podlagi stanja na trgu. Kupec za to pravico plača prodajalcu premijo, t. j. ceno opcije (Lazibat & Baković, 2007).

Opcije na trgu emisijskih kuponov so t. i. evropske opcije, pri katerih je opcijo možno unovčiti zgolj na datum zapadlosti. Obstajajo tudi t. i. ameriške opcije, kjer je časovni okvir unovčenja daljši, vendar se z njimi na ETS ne trguje (Majaski, 2019).

Ročnosti in izvršilne cene so standardizirane in določene na borzi. Datum zapadlosti za opcije na borzi je prva sreda pred zapadlostjo sovpadajoče terminske pogodbe, ta pa zapade na ponedeljek nekaj dni pred koncem pogodbenega meseca. Pogodbeni meseci zapadlosti za opcije na ETS so zadnji meseci posameznih kvartalov. Izvršilne cene so vezane na ceno osnovnega instrumenta (v nadaljevanju tečaj) na trgu in so večinoma zaokrožene na 50

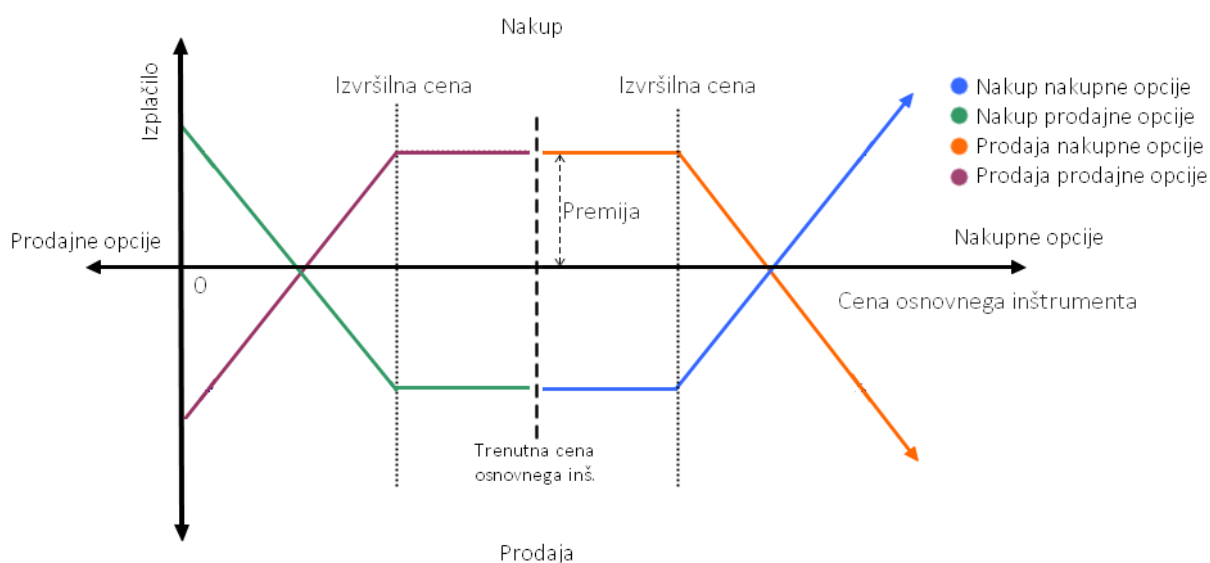
centov. Čeprav pri opcijah ni napisanega pravila za kakšen osnoven inštrument gre, pa je na ETS osnovni inštrument vedno terminska pogodba, ki zapade decembra leta navedenega v ročnosti opcije. Opcije se kupuje v lotih velikosti 1000 emisijskih kuponov / lot (Intercontinental Exchange, brez datuma a).

2.1.1 Tipi in transakcijske smeri opcij

Če lastnik opcije zakupi pravico odkupa osnovnega inštrumenta na dan zapadlosti, se opcija imenuje nakupna opcija (angl. call option). Če kupec lahko ob izteku pogodbe inštrument proda po izvršilni ceni, je zakupil prodajno opcijo (angl. put option) .

Vedno je možno zavzeti obe smeri transakcije. Opcijo je možno kupiti ali prodati. Če opcijo kupimo, zavzamemo pozicijo na dolgo (angl. long). V nasprotnem primeru opcijo prodamo in zavzamemo pozicijo na kratko (angl. short). V primeru nakupa kupec plača strošek premije, nato pa računa na dobiček zaradi spremembe tečaja v smeri, na katero je stavil. V primeru prodaje prodajalec premijo prejme, stavi pa, da se tečaj ne bo spremenil v smeri, ki bi zanj pomenila izgubo. Obe lastnosti lahko strnemo v štiri primere, ki so prikazani na sliki 7 in opisani v nadaljevanju (Garner & Brittain, 2009).

Slika 7: Izplačilo opcij



Vir: lastno delo.

a) Nakup nakupne opcije (angl. Long Call)

Kupec plača premijo, da lahko ob ročnosti inštrument kupi po izvršilni ceni. Če je tečaj inštrumenta na trgu ob zapadlosti višji od izvršilne cene, je dobiček kupca enak razliki med tržno in izvršilno ceno, od katere se odšteje plačana premija. Dobitek izhaja iz dejstva, da je kupec po pogodbi inštrument odkupil po nižji ceni od tiste, po kateri ga lahko ob ročnosti

proda na trgu. Dobiček za kupca navzgor ni omejen, izguba pa je kvečjemu tako visoka kot skupna vplačana premija (Garner & Brittain, 2009).

b) Nakup prodajne opcije (angl. Long Put)

V tem primeru kupec opcije inštrument proda po izvršilni ceni. Tokrat mora biti tečaj na trgu nižji od izvršilne cene, da se kupcu opcijo splača izkoristiti. V tem primeru inštrument sprva proda po izvršilni ceni, nato pa ga na trgu lahko odkupi nazaj po nižji tržni ceni, s čimer realizira dobiček zaradi razlike v ceni brez stroška plačane premije. Izguba je tudi v tem primeru kvečjemu tako visoka kot skupna vplačana premija, dobiček pa je navzgor omejen s padcem vrednosti osnovnega inštrumenta na nič (Garner & Brittain, 2009).

c) Prodaja nakupne opcije (angl. Short Call)

Za vsakega kupca opcije obstaja tudi prodajalec opcije, ki zavzema nasprotno stran stave. Če je kupec nakupne opcije verjel, da se bo tečaj na trgu do ročnosti zvišal nad izvršilno ceno, je prodajalec stavil nasprotno. Prodajalec prejme premijo, ki mu jo plača kupec. Prodajalec je v tem primeru primoran prodati osnovni inštrument kupcu po izvršilni ceni, če se ta ob ročnosti odloči za nakup. Če se tečaj ob ročnosti dvigne nad izvršilno ceno, prodajalec utrpí izgubo v velikosti razlike med tržno in izvršilno ceno, zmanjšano za znesek prejete provizije. Prodajalec ima dobiček največ v višini prodajne premije, izguba pa je lahko neomejena (Garner & Brittain, 2009).

d) Prodaja prodajne opcije (angl. Short Put)

Prodaja prodajne opcije pomeni, da mora prodajalec ob ročnosti odkupiti od kupca inštrument po izvršilni ceni, če se kupec odloči, da bo opcijo izkoristil. Dobiček, ki ga kupec ob tem ima, pomeni izgubo za prodajalca. Tudi v drugem prodajnem primeru ima prodajalec dobiček največ v višini prodajne premije, izguba pa je navzdol omejena s padcem vrednosti osnovnega inštrumenta na nič (Garner & Brittain, 2009).

Primer navedb štirih tipov opcij na borzah je prikazan v tabeli 1.

Tabela 1: Primer navedb opcij

<i>Navedba</i> <i>B/S – buy/sell</i> <i>C/P – call/put</i>	<i>Smer</i>	<i>Osnovni</i> <i>inštrument</i>	<i>Tip</i>	<i>Ročnost</i>	<i>Izvršilna</i> <i>cena</i>
<i>B Jun20 C 30</i>	Nakup	Dec20 futures	Nakupna	Junij 2020	30
<i>S Dec20 P 25.5</i>	Prodaja	Dec20 futures	Prodajna	December 2020	25,5
<i>B Sep21 P 19</i>	Nakup	Dec21 futures	Prodajna	September 2021	19
<i>S Mar22 C 34.5</i>	Prodaja	Dec22 futures	Nakupna	Marec 2022	34,5

Vir: lastno delo.

Vrednost opcije je odvisna od tečaja osnovnega inštrumenta na trgu. Če bi bilo opcijo v danem trenutku možno izkoristiti, potem ima t. i. notranjo vrednost (angl. intrinsic value) in zanjo rečemo, da je sprejemljiva (angl. in the money). Če je izvršilna cena enaka tečaju na trgu, je opcija na meji in ne prinaša ne dobička ne izgube, torej nima notranje vrednosti, če odmislimo strošek premije (angl. at the money). V primeru, ko bi izkoristek opcije za kupca pomenil izgubo, ima opcija negativno notranjo vrednost in je nesprejemljiva (angl. out of the money) (Jagerson, brez datuma).

2.1.2 Cena opcij

Premijo, ki jo kupec plača prodajalcu v zameno za pravico do nakupa ali prodaje osnovnega inštrumenta, določa več dejavnikov. Premija je cena opcije in se na borzah s kuponi računa po metodi Black-Scholes. Cena je rešitev parcialne diferencialne enačbe, ki opisuje spremembo cene opcije skozi čas (Veisdal, 2019):

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + rS \frac{\partial V}{\partial S} - rV = 0 \quad (1)$$

V enačbi (1) je S tečaj osnovnega inštrumenta, V cena opcije, σ standardni odklon letnih donosov, navadno naveden kot volatilitnost, in r netvegana obrestna mera.

Za reševanje enačbe so upoštevane naslednje predpostavke (Najvirt, 2020, str. 25):

- a) dividend in transakcijskih stroškov ni;
- b) opcija je evropskega tipa in se lahko izkoristi zgolj ob datumu zapadlosti;
- c) premiki na trgu so nepredvidljivi;
- d) netvegana obrestna mera in volatilitnost osnovnega inštrumenta sta znani in konstantni;
- e) donosi osnovnega inštrumenta so normalno porazdeljeni.

Brez izpeljave zapišemo rešitev parcialne diferencialne enačbe za nakupno opcijo C in prodajno opcijo P (Nielsen, 1992):

$$C = SN(d_1) - Ke^{-r\tau}N(d_2) \quad (2)$$

$$P = Ke^{-r\tau}N(-d_2) - SN(-d_1) \quad (3)$$

kjer velja:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \quad (4)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} = d_1 - \sigma\sqrt{\tau} \quad (5)$$

pri katerih je K izvršilna cena, τ pa čas do zapadlosti opcije v letih. $N(\cdot)$ je kumulativna distribucijska funkcija normalne (Gaussove) porazdelitve².

Intuitivno bi $SN(d_1)$ lahko razumeli kot tečaj osnovnega inštrumenta, ki je utežen z verjetnostjo, da bo kupec opcijo izkoristil, $Ke^{-r\tau}N(d_2)$ pa kot znižano izvršilno ceno zaradi časovne vrednosti denarja, uteženo z verjetnostjo, da bo opcija sprejemljiva.

2.1.3 Izpostavljenost tveganjem

Vrednost opcije se odraža neposredno v njeni ceni kot kombinacija notranje in časovne vrednosti opcije. Notranja vrednost je odvisna zgolj od trenutnega tečaja osnovnega inštrumenta na trgu, časovna vrednost pa na ceno vpliva skladno s približevanjem datumu zapadlosti. Vrednost opcije je kompleksna metrika, odvisna od več spremenljivk in prinaša vlagatelju priložnost za špekulacije, a tudi visoko tveganje (Wadhawan & Singh, 2015, str. 4).

Občutljivost opcij merimo z odvodi gibanj spremenljivk, ki jih označujemo z grškimi črkami, zato se ti kazalniki za obvladovanje tveganj v žargonu imenujejo »*The Greeks*«. Kazalniki prikazujejo spremembo cene opcije pri majhni spremembi izbrane spremenljivke. Izračunani so kot parcialni odvodi po spremenljivkah modela za vrednotenje opcij. Tako si vlagatelj lahko uravnoteži portfelj glede na želeno izpostavljenost (Mikluš, 2011). Raziskava se osredotoča na tri kazalnike, ki so predstavljeni v nadaljevanju.

2.1.3.1 Delta

Delta (Δ) meri stopnjo spremembe cene opcije glede na spremembo tečaja osnovnega inštrumenta in je izračunana kot prvi parcialni odvod cene opcije po S . Za nakupne opcije se delta giblje med 0 in 1, za prodajne med 0 in -1, in se meri v eni denarni enoti. Delta pokaže, za kakšen delež enote se bo spremenila cena opcije, če se tečaj osnovnega inštrumenta spremeni za eno enoto. Nesprejemljive opcije imajo delto bližje 0, sprejemljive pa blizu 1

² Več o normalni Gaussovi porazdelitvi v poglavju 3.4.1

(ali -1 za prodajne). Bolj ko se delta bliža 1 (oziroma -1), bolj se opcija obnaša kot osnovni inštrument na trgu (Bhaumik, brez datuma).

Delta v višini 0.4 bi pomenila povišanje cene opcije za 40 centov, če se cena osnovnega inštrumenta zviša za 1 evro. Poenostavljeno bi jo hkrati lahko razumeli tudi kot 40 % verjetnost, da bo opcija lahko izkoriščena.

$$\Delta = \frac{\partial V}{\partial S} = \begin{cases} N(d_1), & C \\ N(d_1) - 1, & P \end{cases} \quad (6)$$

2.1.3.2 Gama

Gama (Γ) meri stopnjo spremembe delte glede na spremembo tečaja osnovnega inštrumenta in je izračunana kot drugi parcialni odvod cene po S . Enostavneje bi jo lahko izračunali kot razliko delte izračunane pri $S + 1$ in delte izračunane pri S . Visoka gama pomeni nestabilno spreminjanje vrednosti delte in kaže na možno visoko tveganje, medtem ko gama blizu nič kaže na bolj predvidljivo spremembo cene. Gama torej prikazuje stabilnost verjetnosti sprejemljivosti opcije (Wadhawan & Singh, 2015, str. 5).

Gama je enaka za nakupne in prodajne opcije z enako ročnostjo in izvršilno ceno, saj predstavlja smer v katero se bo premaknila delta. Razlikuje se zgolj pri smeri transakcije in je pozitivna ob nakupu in negativna ob prodaji. Tako bi gama denimo pri zvišanju tečaja osnovnega inštrumenta delto nakupnih opcij zvišala proti 1, delto prodajnih pa zvišala proti 0 (oziroma odmaknila stran od -1) (Craig, 2012).

$$\Gamma = \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} = \frac{N'(d_1)}{S\sigma\sqrt{\tau}} \quad (7)$$

kjer velja:

$$N'(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \quad (8)$$

2.1.3.3 Theta

Theta (Θ) meri spremembo cene skozi čas. Izražena je kot negativna vrednost in prikazuje časovno razkrajanje cene (angl. time decay). Ko se opcija bliža datumu zapadlosti, se povečuje zanesljivost izida ob zapadlosti, s tem pa izgublja tisti del njene vrednosti, ki je odvisen od negotovosti časovnega razpleta. Theta je izračunana kot prvi parcialni odvod po τ . Izražena je v denarni enoti, natančneje v izgubljeni vrednosti na letni ravni, izraženi v evrih. Za izračun dnevnega razkroja cene je theta deljena s številom dni v letu. Theta je ob nakupu vedno negativna, ob prodaji pa pozitivna (Wadhawan & Singh, 2015, str. 5).

$$\Theta = -\frac{\partial V}{\partial \tau} = \begin{cases} -\frac{SN'(d_1)\sigma}{2\sqrt{\tau}} - rKe^{-r\tau}N(d_2), & C \\ -\frac{SN'(d_1)\sigma}{2\sqrt{\tau}} + rKe^{-r\tau}N(-d_2), & P \end{cases} \quad (9)$$

2.2 Obvladovanje tveganj portfelja

Varovanje pred tveganji ali hedganje (angl. hedging) je tehnika, s katero vlagatelj doseže zaželeno raven tveganja tako, da zavzame negativno korelirano pozicijo v primerjavi z začetno pozicijo inštrumenta v portfelju (Heckinger & Ruffini, 2015, str. 40). To lahko doseže z eno ali več dodatnimi pozicijami, s katerimi se čimbolj približa izpostavljenosti, ki je primerna za njegov profil nagnjenosti k tveganju.

Hedganje je v prvi vrsti namenjeno zmanjševanju potencialnih izgub in deluje kot varnostna mreža za nepredvidljive spremembe na trgu, še posebej za inštrumente, ki so visoko volatilni. Dodatna pozicija je za vlagatelja sicer dodatni strošek, a zagotavlja večjo varnost pred izgubami, zato je hedganje zelo priljubljena metoda za maksimiranje razmerja med tveganjem in dobičkom (Chiamruchikun, Klongprateepchol, Pongpala & Suntayodom, 2008).

Pri portfelju, katerega opcije temeljijo na enakem osnovnem inštrumentu, je izpostavljenost preprosto preračunati. Ker so opcije med seboj korelirane (pri vseh opcijah gre za enak osnovni inštrument), je izpostavljenost portfelja kar vsota izpostavljenosti posameznih opcij. Tako lahko z različnimi količinami različnih opcij neposredno vplivamo na skupne vrednosti delte, game, thete in drugih kazalnikov tveganja.

2.2.1 Gama nevtralnost

Gama nevtralnost je stanje portfelja, v katerem je hitrost spreminjanja delte enaka 0, oziroma v praksi, blizu 0. Gre za taktiko, ki portfelj varuje pred premiki v tečaju osnovnega inštrumenta. Gama prikazuje volatilnost portfelja, ki jo je s primerno sestavo moč zmanjšati in s tem znižati tveganje, ki nastane kot posledica spremembe v ceni (Kenton, 2018).

Da bi zagotovili gama nevtralnost portfelja z gamo Γ , moramo zadostiti naslednji enačbi (Sudkahar, 2012, str. 58):

$$-\Gamma = \sum_{i=1}^n \alpha_i \Gamma_i \quad (10)$$

kjer je i število različnih opcij, α_i količina i -te opcije, Γ_i pa gama i -te opcije.

2.2.2 Pozitivna theta

Čeprav se pri hedganju najpogosteje govori o theta nevtralnosti, pa se za namen raziskave strategije trgovanja v nadaljevanju uporablja pozitivna theta kot metoda za doseganje dobička. Medtem ko se pri theta nevtralnem portfelju skuša le obvladovati tveganje zaradi izgubljanja vrednosti portfelja skozi čas, se pri portfelju s pozitivno theto, metodo, ki je izpeljana iz theta nevtralnosti, skuša doseči, da portfelj v časovnem obdobju pridobiva na vrednosti (Payne, 2011).

Pozitivno theto zagotavljajo prodane opcije in prikazuje oceno dobička v časovni enoti, če tečaj osnovnega inštrumenta in volatilitnost ostaneta enaka. Theta se sicer hitro spreminja, a če dodamo obvladovanje tveganj zaradi spreminjanja cene ali volatilitnosti, lahko ohranimo pozitivne lastnosti, ki jih prinaša prodajna stran časovnega razkroja vrednosti opcije (Wolfinger, 2020).

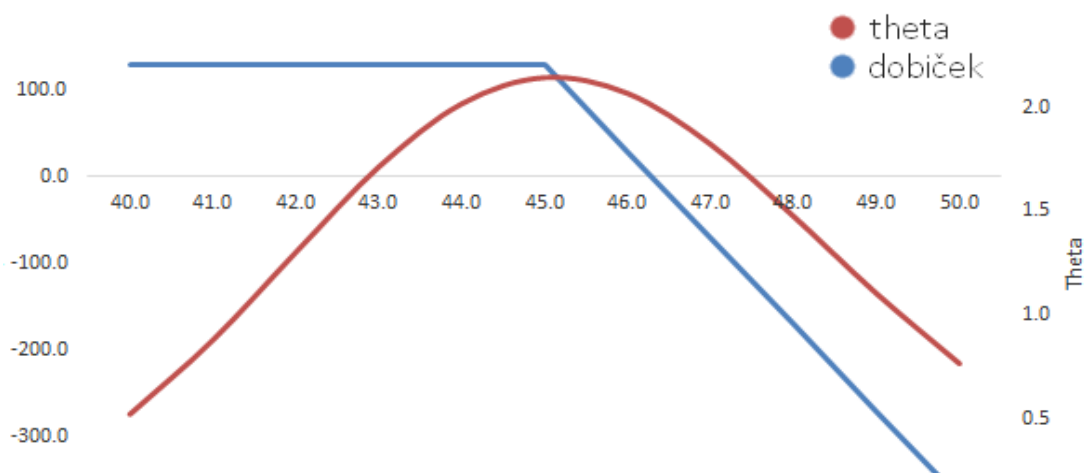
Za portfelj s theto Θ mora veljati:

$$-\Theta \ll \sum_{i=1}^n \alpha_i \Theta_i \quad (11)$$

kjer je n število različnih opcij, α_i količina i -te opcije, Θ_i pa theta i -te opcije.

Slika 8 prikazuje obnašanje thete nakupne opcije z izvršilno ceno 45 glede na spremembo v ceni osnovnega inštrumenta. Razvidno je, da je theta opcije pozitivna, če se cena osnovnega inštrumenta giblje med 43 in 48 EUR.

Slika 8: Theta pri prodaji nakupne opcije z izvršilno ceno 45, 30 dni pred zapadlostjo



Prirejeno po *Option trading tips* (brez datuma).

3 ANALIZA TRGOVALNE STRATEGIJE

3.1 Trgovalna strategija

Trgovalna strategija je metoda kupovanja in prodajanja inštrumentov na trgu določena z naborom pravil, ki služijo kot oporne točke pri odločanju (Chen, 2019). V nadaljevanju raziskana strategija temelji na teoriji obnašanja opcij na trgu in optimizaciji odločanja s pomočjo računalnika. Strategija ne bo predstavljena zgolj v teoriji, pač pa bo izpeljana in prediskutirana po vseh korakih, obrazloženi pa bodo tudi razmisleki, ki so se porodili ob raziskavi. Tak pristop omogoča celostno razumevanje obnašanja opcij, hkrati pa ponuja priložnost za izboljšave in nadaljnji razvoj na več točkah v procesu.

Cilja strategije sta dva. Prvi cilj je obdržati kazalnike portfelja na zastavljeni optimalni ravni skozi čas, drugi pa ustvarjanje dobička. Idealno bi bilo, da bi bila dosežena oba cilja. Z združevanjem teoretično dobičkonosnih strategij in izvedbe s pomočjo računske moči računalnika želimo doseči prednost portfelja pred trgom na način, ki bo z dovoljšno verjetnostjo prinesel pozitiven izid.

3.2 Optimalen portfelj opcij

Po pravilih strategije se zasnove abstrakten portfelj opcij, za katerega bomo trdili, da je optimalen. Pravila narekujejo, da je optimalen portfelj gama nevtralen in s tem čimbolj odporen na premike v tečaju. Z gama nevtralnostjo zagotavlja nizko volatiliteto in je stabilen. Portfelj je tudi theta pozitiven, kar pomeni, da s časom ustvarja dobiček. Cilj strategije je portfelj držati čim bližje zarisane optimalnosti, nato pa zaradi rasti vrednosti opcij skozi čas ustvarjati dobiček. Optimalen portfelj ima torej nevtralno gamo in najvišjo theto, ki jo je možno doseči z inštrumenti, ki so na voljo na trgu. Optimalen portfelj je rešitev optimizacijskega problema.

Da bi se optimalnosti portfelja lahko čimbolj približali, bomo s pomočjo računalnika prostor vseh možnih opcij konstantno prečesavali. Tako bo za doseganje optimalnosti vedno na voljo najboljša opcija oziroma najboljša kombinacija opcij, ki se bo z gamo in theto najbolj učinkovito približala želenima vrednostima teh dveh kazalnikov. Portfelj bo po potrebi uravnotežen, ko bodo kazalniki prešli zastavljene meje optimalnosti.

Poudariti je treba, da portfelj v praksi ne bo nikoli optimalen, saj je prostor možnih opcij, ki bi jih lahko dodali v portfelj za njegovo izboljšanje, prevelik. Ker je poleg tipa, transakcijske smeri in izvršilne cene pomembna tudi količina dodane opcije in ker je rešitev optimizacijskega problema lahko tudi kombinacija opcij, je prostor možnosti neskončen. Zato bomo prostor možnosti že na začetku omejili, naknadno pa se bomo zadovoljili s katerokoli od sub-optimalnih možnosti, ki je še vedno v okviru zastavljenih meja, s katerimi bi strategija še lahko bila uspešna. Tak pristop je nujno potreben za zmanjšanje časovne

obsežnosti problema, za katerega v praksi ne obstaja polinomsko časovno omejen algoritem. Za tak problem tečemo, da je NP težek (angl. nondeterministic polynomial time).

Uspešnost strategije v abstraktnem popolnem matematičnem svetu je neizpodbitna, vendar pa ima v praksi precej ovir. Pomemben aspekt je dobra definicija optimalnosti, ki je ključna za doseganje pravih ocen pri kalkulaciji. Na rezultat vpliva več dejavnikov, kot so nepopolnost trga, napake pri računanju in kakovost iskalnega procesa. Uspešnost strategije je tako na več ravneh odvisna od zunanjih dejavnikov in se lahko hitro spreminja glede na način in natančnost izvedbe.

3.3 Optimizacijski problem

Da bi ustvarili t. i. optimalen portfelj moramo začetnemu portfelju P_z s skupno gamo Γ_z in skupno theto Θ_z dodati tako kombinacijo opcij O_i , da bosta kazalnika novega portfelja čimbolj zadostila prej opredeljenim ciljem. Ker za vsako opcijo O_i poznamo doprinos thete in game na en lot, je rešitev problema tak vektor količin $[\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n]$ vseh na trgu dostopnih opcij O_i , da bo izbrana kombinacija opcij, dodana k osnovnemu portfelju, hkrati maksimirala theto in nevtralizirala gamo novega sestavljenega portfelja P_k .

$$\begin{aligned} \alpha_0 O_0 + \alpha_1 O_1 + \alpha_2 O_2 + \alpha_3 O_3 + \dots + \alpha_n O_n \\ = \alpha_0 [\Gamma_0, \Theta_0] + \alpha_1 [\Gamma_1, \Theta_1] + \dots + \alpha_n [\Gamma_n, \Theta_n] \end{aligned} \quad (12)$$

Za gamo Γ_k in theto Θ_k novega portfelja tako velja:

$$\Gamma_k = \Gamma_z + \sum_{i=0}^n \alpha_i \Gamma_i \quad \text{in} \quad \Theta_k = \Theta_z + \sum_{i=0}^n \alpha_i \Theta_i \quad (13)$$

kjer želimo:

$$\Gamma_k \approx 0 \quad \text{in} \quad \max \Theta_k \quad (14)$$

Količine opcij $[\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n]$ so izražene v lotih in so pozitivne ob nakupu opcije in negativne ob prodaji.

Optimizacijski problem omejimo z robnimi pogoji, zato da zmanjšamo velikost prostora vseh možnih rešitev. Dodatni pogoji v optimizacijskem problemu so naslednji:

- a) kombinacija opcij, dodana k osnovnemu portfelju, ne sme vsebovati več kot dve različni opciji,

$$I_0 + I_1 + \dots + I_n \leq 2, \quad I_i = \begin{cases} 1, & \alpha_i \neq 0 \\ 0, & \alpha_i = 0 \end{cases} \quad (15)$$

b) sprememba skupne pozicije je omejena na 1000 lotov absolutno,

$$-1000 \text{ lotov} \leq \alpha_0 + \alpha_1 + \dots + \alpha_n \leq 1000 \text{ lotov} \quad (16)$$

c) sprememba pozicije je večkratnik 25.

$$\alpha_i \in \{-1000, -975, \dots, -25, 0, 25, 50, \dots, 975, 1000\} \quad (17)$$

Vektor količin $[\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n]$ ima tako največ dva neničelna elementa, katerih seštevek je absolutno manjši ali enak 1000. Elementi so večkratniki števila 25, saj se v praksi redko trguje z manj kot 25 loti, doprinos pa se ob večji natančnosti bistveno ne spremeni. Enako velja tudi za opcije, ki za izvršilno ceno nimajo celega števila, zato nabor možnih opcij lahko takoj omejimo zgolj na opcije s celoštevilskimi izvršilnimi cenami.

Optimizacijski problem je diskreten, celoštevilski in je vprašanje kombinatorike. Kombinatorične možnosti vključujejo kombinacije ene ali dveh opcij, pri katerih količine opcij lahko zasedejo 80 različnih vrednosti. Če je opcij 100, to za rešitev z eno opcijo predstavlja 8000 različnih možnosti, za rešitev z dvema opcijama pa skoraj 31,7 milijonov različnih možnosti. Če bi dopustili kombinacijo treh opcij, bi bilo možnosti že slabih 82,8 milijard. Če bi denimo program lahko preveril 100 možnosti na sekundo, bi to v prvem primeru pomenilo 1,3 minute procesiranja, v drugem 88 ur in v tretjem nekaj več kot 26,2 leti. Prostor možnih rešitev se sicer zmanjša z dodatnimi pogoji, vendar je še vedno precej preobsežen, da bi bil v celoti prečesan.

Omejitev na največ dve različni opciji znotraj rezultata je intuitivna. Kazalnike optimiziramo abstraktno, saj ne poznamo točnih optimalnih vrednosti. Kazalniki se spreminjajo na dnevni bazi, zato je velika natančnost rezultatov nepotrebna. Kombinacija treh opcij bi sicer ustvarila natančnejši dnevni rezultat, a bi hkrati obremenila izračunavanje z napihnjanim prostorom vseh možnosti.

Za reševanje optimizacijskega problema je tako potreben algoritem, ki prečesava prostor možnih rešitev in vsako od njih kvantitativno oceni v skladu z zastavljenimi cilji. Tiste z najvišjim rezultatom shranjuje. V tej nalogi bodo rešitve iz množice rešitev izbrane naključno, zgolj kot predlog za izboljšavo algoritma pa navajam optimizacijo s pomočjo genetskega algoritma, ki ga v tem sklopu sama nisem uporabljala, saj bi kompleksnost algoritma presejala obseg raziskave.

3.4 Pregled in priprava podatkov

Za izračunavanje vseh potrebnih podatkov, ki jih potrebujemo za testiranje trgovalne strategije, moramo poznati spremenljivke, vključene v izračun θ in γ . Za vsako posamično opcijo so to izvršilna cena, število dni do zapadlosti, implicitna volatilitnost in tečaj osnovnega inštrumenta.

Čeprav smo sprva navedli, da se θ razlikuje za nakupno in prodajno opcijo pri enakih drugih spremenljivkah, pa v praksi to razliko lahko zanemarimo. Razlika namreč izhaja iz komponente enačbe, ki je pomnožena z netvegano obrestno mero, za katero se pogosto uporablja vrednost 1 %. Razlika je potemtakem tako majhna, da je v vsakodnevem trgovanju ne upoštevamo. Iz tega sledi, da sta tako θ kot γ neodvisni od tipa opcije, kar omeji prostor možnih rešitev za polovico. Odločitev, za kateri tip opcije v rešitvi gre, prepustimo drugim zastavljenim pogojem, ki se bodo porodili ob interpretaciji rešitve.

Borza ICE dnevno objavlja omenjene podatke za vse opcije dostopne na trgu, preračunane na končni tečaj osnovnega inštrumenta prejšnjega dne. Primer takih podatkov je razviden v tabeli 2. Tako na vsak trgovalni dan poznamo volatilitnost opcij po vseh izvršilnih cenah, tečaj osnovnega inštrumenta, hkrati pa poznamo tudi dan zapadlosti, ki ostaja enak. Pridobimo tudi podatke o cenah opcij, ki pa se po nakupnih in prodajnih opcijah razlikujejo in jih bomo potrebovali za izračun dobička ali izgube (angl. Profit and Loss).

Tabela 2: Primer podatkov opcij z dne 23.7.2020

Inštrument	Izv. cena	Vol.	Tečaj	Cena	Dni do porav.
EUAopcijaSep20C6	6	117,30	26,63	20,65	62
EUAopcijaSep20C7	7	111,90	26,63	19,65	62
EUAopcijaSep20C8	8	106,50	26,63	18,65	62
...
EUAopcijaDec20P19	19	61,16	26,63	0,86	139
EUAopcijaDec20P20	20	59,69	26,63	1,06	139
EUAopcijaDec20P21	21	58,30	26,63	1,30	139
...
EUAopcijaDec20C90	90	67,62	26,63	0,01	139
EUAopcijaDec20C95	95	68,89	26,63	0,01	139

Vir: lastno delo

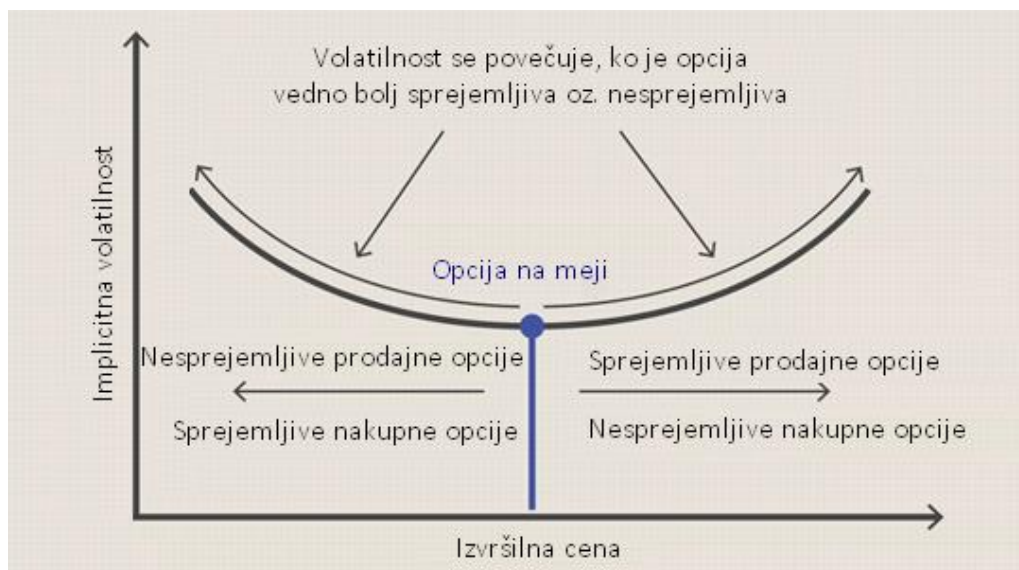
Na dnevni ravni z vsemi potrebnimi podatki za vse opcije preračunamo θ in γ na podlagi enačb (7) in (9), ter ju pomnožimo s tisoč. Tako poznamo prispevek, ki bi ga en lot določene opcije doprinesel k skupnemu portfelju pri trenutnih razmerah. To sta trenutna γ in trenutna θ .

Treba je upoštevati, da je gibanje thete in game zelo odvisno od premika tečaja osnovnega inštrumenta in se zelo dinamično odziva na trg, s tem pa se hitro podre tudi optimalnost portfelja. To občutljivost strategija poskuša zajeti v izračun tako, da upošteva še večji nabor možnih izidov. Prostoru rešitev povečamo dimenzionalnost tako, da v njem upoštevamo tudi razmere, ki bi se na trgu lahko zgodile v bližnji prihodnosti.

Namesto da bi v kalkulaciji upoštevali zgolj trenutno stanje, izračun utežimo z več možnostmi. Za vsako opcijo preračunamo theto in game pri tečajih osnovnega inštrumenta, ki so do 5 evrov oddaljeni od trenutnega tečaja na trgu. Za vsako opcijo tako poleg trenutne thete in game poznamo še pogojne thete in game v širini 5 evrov od izhodiščnega tečaja osnovnega inštrumenta v obe smeri.

Izračun za theto in game je v primeru premika tečaja podoben, vendar pa moramo pomisliti na razmere na trgu, ki bi se udejanjile, če bi se tečaj tudi dejansko premaknil. Volatilnosti opcij iste ročnosti se na trgu po izvršilnih cenah obnašajo kot graf v obliki črke U, ki se v žargonu imenuje tudi nasmeh volatilnosti (angl. volatility smile) in je prikazan na sliki 9. Volatilnost je najnižja ob izvršilni ceni, ki je najbližje tečaju osnovnega inštrumenta, nato pa se viša v obe smeri, ki se po izvršilnih cenah oddaljujeta od sredine (Fornari & Mele, 2001). To pomeni, da bi se v primeru premika tečaja osnovnega inštrumenta z njim premaknil tudi nasmeh volatilnosti in sicer skupaj s tečajem v enako smer.

Slika 9: Nasmeh volatilnosti



Prirjeno po Mitchell (2019).

Pogojne thete in game preračunamo s premaknjenim tečajem in premaknjenim nasmehom volatilnosti. Preračunanih imamo trenutno in deset pogojnih stanj, ki pa jih moramo združiti v skupno oceno in s tem sploščiti večdimenzionalnost izidov. Konstruiramo game in theto, ki sta sestavljeni iz vseh enajstih stanj in uteženi z njihovimi verjetnostmi. Slednje izhajajo neposredno iz verjetnosti, da se bo tečaj v časovni enoti spremenil za opisano razliko.

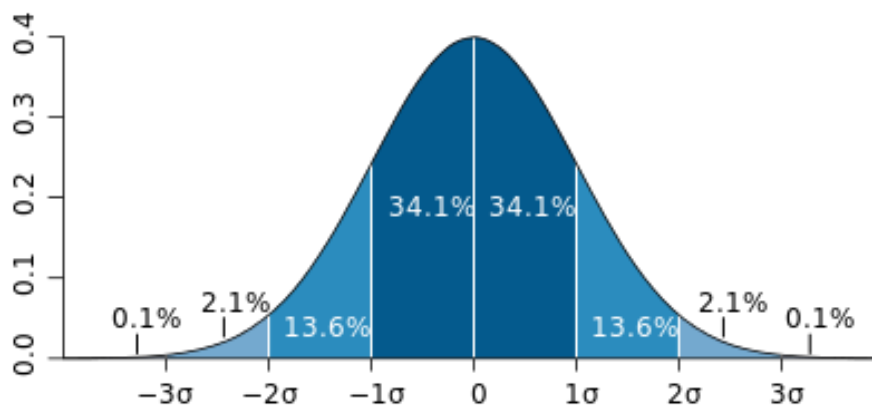
Razlika med tečajema osnovnega inštrumenta v časovni enoti se obnaša kot zvezna naključna in neodvisna spremenljivka ter lahko zavzame zvezno množico vrednosti. Če predvidevamo, da ima normalno porazdelitev, je normalna slučajna spremenljivka parametrizirana s povprečjem (aritmetično sredino) μ in standardnim odklonom σ . Za normalno spremenljivko $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ je funkcija verjetnostne gostote naslednja (Monroe, 2017):

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (18)$$

Pri normalni porazdelitvi približno dve tretjini primerov pade v eno standardno deviacijo od povprečja, 95 % pa jih leži znotraj dveh.

Da bi pretvorili normalno porazdelitev v diskretne uteži, situacijo posplošimo v binomsko porazdelitev. Razliko med tečajema v časovni enoti združimo v intervale po evrih. Tako v resnici opazujemo verjetnost diskretne spremenljivke, ki absolutno gledano zavzame vrednosti 0 – 1 €, 1 – 2 €, 2 – 3 €, 3 – 4 €, 4 – 5 € ali 5+ €. Verjetnosti sedaj lahko poiščemo s teoretičnim parceliranjem, povzetim po verjetnostih normalne porazdelitve, ki je prikazana na sliki 10, ali pa dejanske verjetnosti preračunamo iz podatkov s trga, tako da število primerov v vsakem intervalu delimo s številom vseh primerov, kot je prikazano v tabeli 3.

Slika 10: Diagram standardne deviacije pri normalni porazdelitvi



Vir: Toews (2007).

Za eksperiment so bili uporabljeni dnevni podatki od 18. 6. 2018 do 22. 7. 2020

Tabela 3: Verjetnosti alternativnih stanj trga

Časovno okno	Stand. odklon	0-1 €	1-2 €	2-3 €	3-4 €	4-5 €	5+ €
		w_0	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
1 dan	0,6871	0,8647	0,123	0,0087	0,00176	0,00176	0
30 dni	3,1046	0,2556	0,2315	0,1686	0,1352	0,09445	0,1149

Vir: lastno delo.

V tabeli 3 w_i predstavlja utež oziroma verjetnost posameznega dogodka. Iz tabele 3 je razvidno, da časovno okno močno vpliva na rezultat, saj v daljšem časovnem oknu lahko pride do večjih odstopanj od osnovnega tečaja. V raziskavi je uporabljeno časovno okno 30 dni, saj gre pri portfelju opcij za dolgoročno trgovanje, kjer nas zanima premik tečaja v daljšem časovnem obdobju. Tako so alternative tudi močneje utežene, s čimer je v zakup vzet tudi morebitni robni ekstrem kazalnikov ob močnem porastu ali znižanju tečaja.

Vseh enajst stanj gam in thet z utežmi preračunamo v uteženi gamo in theto.

$$\Gamma_u = w_0\Gamma_S + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 w_i(\Gamma_{S+i} + \Gamma_{S-i}) \quad (19)$$

kjer je w_i utež iz tabele 3, Γ_S gama izračunana pri trenutnem tečaju, Γ_{S+i} pa gama preračunana pri tečaju povišanem za i evrov. Enak princip velja za theto θ_u .

Končni rezultat vseh izračunov je tabela opcij na trgu z informacijami o trenutni theti in gami ter uteženi theti in gami.

Theta vrednosti so v tabeli vedno negativne, gama vrednosti pa vedno pozitivne za vse opcije. Ali bosta kazalnika doprinesla pozitivno ali negativno vrednost v portfelj, je odvisno od transakcijske smeri. Ob nakupu opcije theto in gamo »pridobimo« v portfelj, zato predznak ostane isti, če pa opcijo prodamo, se predznak obrne. Ob zapisih je prodaja tako označena kot negativna transakcija, nakup pa kot pozitivna, predznak pa neposredno vpliva tudi na theto in gamo.

3.5 Algoritem

3.5.1 Začetni portfelj

Algoritem za optimiziranje portfelja potrebuje začetni portfelj P_z . To je portfelj v začetnem času t_0 , ki ga ima vlagatelj vzpostavljenega za trgovanje pred optimizacijo. Algoritem portfelj optimizira, nato pa ob velikih odmikih od zaželenih kazalnikov optimizacijo ponavlja. Optimizacija ne sme biti prepogosta, saj je časovno zahtevna, hkrati pa je sprememba portfelja lahko tudi cenovno breme.

Začetni portfelj P_z bi lahko bil samostojni predmet raziskovanja. Idealen portfelj P_z bi bil že sam po sebi optimiziran, algoritem pa bi nato optimalnost samo ohranjal. Vendar pa je idealen portfelj neskončno kompleksen optimizacijski problem, saj lahko vsebuje poljubno količino vseh razpoložljivih opcij. Zato predvidevamo zgolj, da začetni portfelj obstaja, da je v praksi vzpostavljen ročno in da ni optimalen. Tak portfelj, ki se skozi čas ne bo

spreminjal, bo služil za vzporednico in primerjavo pri analizi uspešnosti. Za poskus bo ustvarjen naključno.

Začetni portfelj vsebuje n opcij. Za vsako od opcij imamo podano količino, torej število lotov opcije v portfelju, kjer negativna količina pomeni prodajo, pozitivna pa nakup opcije. Za vse opcije poznamo trenutni gamo in theto na lot opcije, kar pomnožimo s količinami posameznih opcij. Skupna gama Γ_z začetnega portfelja je seštevek vseh s količinami pomnoženih gam, podobno pa velja tudi za skupno theto Θ_z . Gre za trenutni skupni gamo in theto.

Po zgledu postopka, ki je opisan v podpoglavju 3.4.1, tudi za začetni portfelj izračunamo pogojne thete in game v širini 0 – 5 evrov od trenutnega tečaja na trgu. Skupno uteženo gamo Γ_{zu} in skupno uteženo theto Θ_{zu} preračunamo kot seštevek količin, pomnoženih z uteženimi gamami in thetami. Skupni uteženi gama in theta sta nekakšni pričakovani vrednosti skupne game in skupne thete in ju bomo uporabljali za referenčni vrednosti ob optimizaciji, Γ_z in Θ_z pa bosta služili kot vpogled v trenutno stanje portfelja.

Cilj algoritma je izboljšati pridobljene kazalnike Γ_{zu} in Θ_{zu} (glede na Γ_z in Θ_z) po zgledu iz poglavja 3.3.

3.5.2 Možne rešitve

Algoritem v množici možnih rešitev naključno izbira kombinacije opcij, ki bi jih lahko dodal v portfelj in ga s tem izboljšal. Za zmanjšanje časovne zahtevnosti smo množico možnih rešitev omejili na kombinacijo največ dveh opcij v količinah med -1000 in 1000 loti v razdaljah po 25 lotov. Za enostavnejšo kalkulacijo vrednosti okrajšamo s 25 in si možne količine posamične opcije predstavljamo v množici $\{x; -40 \leq x \leq 40\}$.

Vsaka možnost, ki jo najde v množici možnih rešitev, je pravzaprav majhen portfelj P_n , sestavljen iz ene ali dveh opcij v poljubnih količinah, za katere lahko po principu začetnega portfelja izračuna $\Gamma_n, \Theta_n, \Gamma_{nu}, \Theta_{nu}$. Portfelj P_n nato združi z začetnim portfeljem P_z v končni portfelj P_k , tako da sešteje kazalnike.

$$\Gamma_k = \Gamma_z + \Gamma_n \quad in \quad \Theta_k = \Theta_z + \Theta_n \quad (20)$$

Za vsako možnost mora algoritem kvantitativno presoditi, ali je boljša ali slabša od prejšnje, ki jo je preračunal, in na podlagi rezultata možnosti razvrstiti po velikosti.

3.5.3 Funkcija vrednotenja

Funkcija vrednotenja (angl. Fitness function ali Evaluation strategy) ocenjuje, kako blizu je

ocenjevana rešitev optimumu zastavljenega problema. Kvantitativno oceni ustreznost rešitve in boljšim rešitvam dodeli višje ocene kot slabšim. Funkcija vrednotenja mora biti čimbolj jasno opredeljena in učinkovita, saj je najpomembnejša pri reševanju problema. Vsak problem ima svojo unikatno funkcijo vrednotenja, ki je osrednji del dobro zastavljene rešitve (Mallawaarachchi, 2017; Mandal in drugi, 2020).

Pri generiranju funkcije vrednotenja v preučevanem algoritmu je treba upoštevati dve spremenljivki, γ in θ . Za γ je optimum znan, saj je γ najbolj nevtralna, ko je enaka nič. Funkcija vrednotenja pri γ je enostavna in vrednoti oddaljenost game končnega portfelja od vrednosti nič. Nasprotno pa za θ želimo, da je čim višja, kar pomeni, da maksimuma oziroma referenčne vrednosti nima. Tako težko napovemo, kako blizu optimumu je θ končnega portfelja. Na koncu je treba obe funkciji vrednotenja združiti v skupni rezultat tako, da razmerje odraža pomembnost obeh spremenljivk.

Kombinacija opcij v vrednotenju bo izboljšala začetni portfelj, če bosta γ , θ ali oba kazalnika končnega portfelja boljša od začetnih vrednosti. Tako za referenčno vrednost potrebujemo vrednosti kazalnikov začetnega portfelja (Γ_{zu} in Θ_{zu}), ki ju bomo vedno opazovali uteženi.

γ in θ ne delujeta v istem redu velikosti, zato ju ne moremo ocenjevati direktno. Da bi uspešno združili oba kazalnika na skupni imenovalac, uporabimo preslikavo, ki γ in θ preslika v število točk. Preslikava je opisana v nadaljevanju.

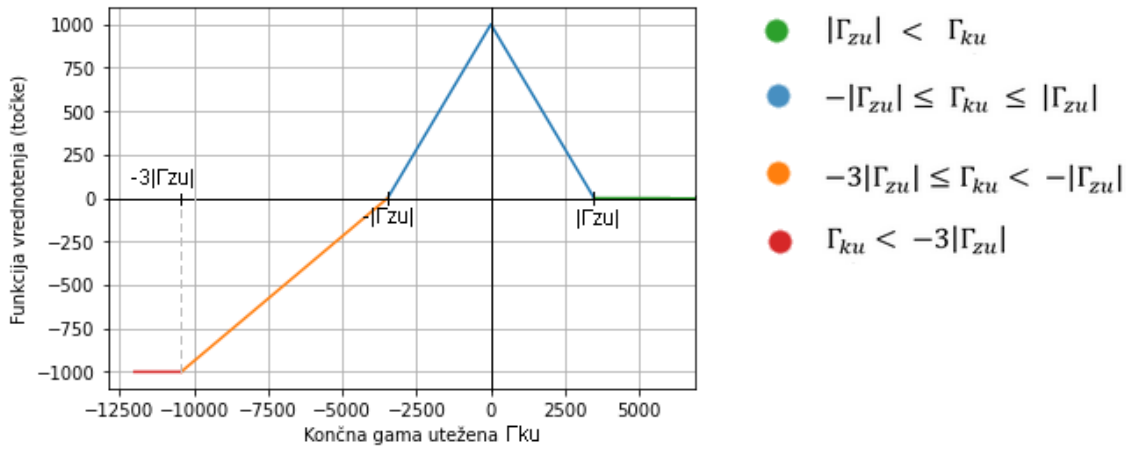
3.5.3.1 Gama funkcija vrednotenja

γ končnega portfelja je boljša od začetnega portfelja, če se v absolutnem smislu pomika proti nič. γ začetnega portfelja bomo opredelili kot en odklon od nič. Funkcija vrednotenja končni γ za izboljšanje linearno dodeli do 1000 točk, kjer nič pomeni, da je γ končnega portfelja enaka γ začetnega portfelja (velja v absolutnem). Da bi se izognili rešitvam z izrazito slabšimi γ ami, linearno do -1000 točk penaliziramo rešitve, ki so še za dva odklona slabše od γ začetnega portfelja v negativno stran. Pri odklonu v pozitivno stran te penalizacije ne potrebujemo, saj bo v tem primeru θ portfelja negativna, kar pa nasprotuje cilju strategije in rešitev tako ne bo ustrezna. Rezultat γ funkcije vrednotenja (ψ_{Γ}) je naslednji:

$$\psi_{\Gamma} = \begin{cases} -\left| \frac{1000 \Gamma_{ku}}{\Gamma_{zu}} \right| + 1000, & -|\Gamma_{zu}| \leq \Gamma_{ku} \leq |\Gamma_{zu}| \\ \frac{1000(\Gamma_{ku} + |\Gamma_{zu}|)}{2|\Gamma_{zu}|}, & -3|\Gamma_{zu}| \leq \Gamma_{ku} < -|\Gamma_{zu}| \\ -1000, & \Gamma_{ku} < -3|\Gamma_{zu}| \\ 0, & \text{sicer} \end{cases} \quad (21)$$

Gama funkcija vrednotenja je na sliki 11 predstavljena grafično.

Slika 11: Gama funkcija vrednotenja



Vir: lastno delo.

3.5.3.2 Theta funkcija vrednotenja

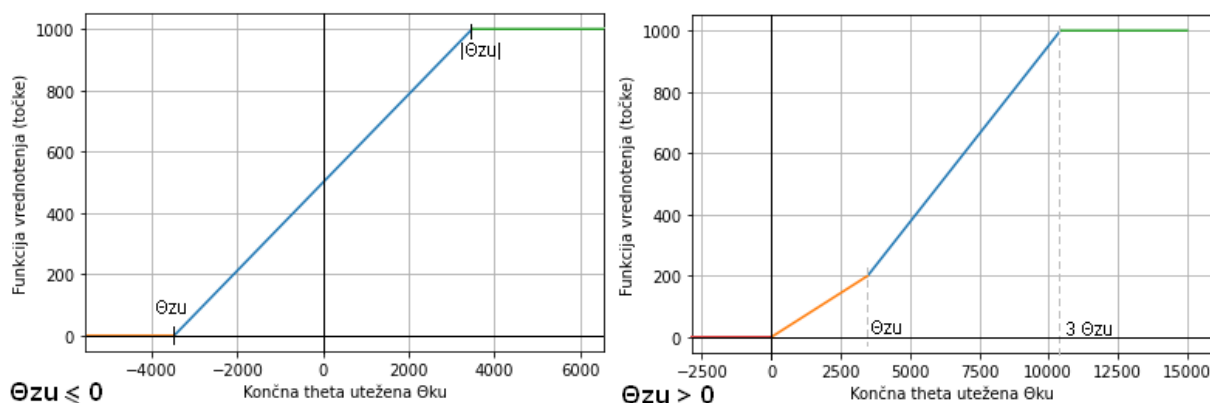
Theto začetnega portfelja bomo opredelili kot en odklon od nič. Če je theta začetnega portfelja negativna, pridobiva točke od 0 do 1000 v širini dveh odklonov v pozitivno smer, za tem je število točk enako 1000. Če je theta začetnega portfelja pozitivna, velja podobno, a z majhno spremembo. Tokrat pridobiva točke od 200 do 1000 v širini dveh odklonov v pozitivno smer, točke med 0 in 200 pa pridobi med theto končnega portfelja z vrednostjo 0 in prvim odklonom, s čimer se nagradi še vedno pozitivno theta, če bi se ta morala zmanjšati zaradi izboljšanja game. Rezultat theta funkcije vrednotenja (ψ_{Θ}) je naslednji:

$$\text{Za: } \begin{matrix} \Theta_{zu} > 0 \\ \Theta_{zu} > 0 \end{matrix} \quad \psi_{\Theta} = \begin{cases} \frac{1000(\Theta_{ku} - \Theta_{zu})}{2.5|\Theta_{zu}|} + 200, & \Theta_{zu} \leq \Theta_{ku} \leq 3\Theta_{zu} \\ \frac{200 \Theta_{ku}}{\Theta_{zu}}, & 0 \leq \Theta_{ku} < \Theta_{zu} \\ 1000, & \Theta_{ku} > 3\Theta_{zu} \\ 0, & \text{sicer} \end{cases} \quad (22)$$

$$\text{Za: } \begin{matrix} \Theta_{zu} \leq 0 \\ \Theta_{zu} \leq 0 \end{matrix} \quad \psi_{\Theta} = \begin{cases} \frac{1000(\Theta_{ku} - \Theta_{zu})}{2|\Theta_{zu}|}, & \Theta_{zu} \leq \Theta_{ku} \leq |\Theta_{zu}| \\ 1000, & \Theta_{ku} > |\Theta_{zu}| \\ 0, & \text{sicer} \end{cases} \quad (23)$$

Theta funkcija vrednotenja je na sliki 12 predstavljena grafično.

Slika 12: Theta funkcija vrednotenja



Vir: lastno delo.

3.5.3.3 Skupna funkcija vrednotenja

Skupna funkcija vrednotenja je seštevek funkcij vrednotenja game in thete.

Po seštevanju funkcij vrednotenja naknadno lahko penaliziramo slabe rešitve in nagradimo dobre. Tako je v strategiji s 50 dodatnimi točkami nagrajena rešitev, ki ima pozitivno tako pogojno uteženo gamo, kot pogojno uteženo theto, s 100 točkami pa penalizirana rešitev, ki ima trenutno theto negativno. 150 točk dobi tudi rešitev, ki ima theto v vseh pogojnih stanjih višjo od 0.

Funkcija vrednotenja ima najpomembnejšo vlogo za kvalitetno delovanje algoritma. Za nadaljnji razvoj in izboljšanje strategije so ključne predvsem izboljšave funkcije vrednotenja. Strategija bi lahko dala tudi povsem drugačne rezultate ob drugače zasnovani funkciji vrednotenja.

3.5.4 Širjenje portfelja in cena končne rešitve

Po vrednotenju vseh preiskanih rešitev algoritem izbere rešitev z najvišjo oceno. Rešitev vsebuje eno ali dve opciji. Za opcije iz rešitve je znana ročnost, izvršilna cena ter količina in posledično transakcijska smer. Kot omenjeno, sta theta in gama za opcije z enakimi drugimi spremenljivkami enaki, ne glede na tip opcije. Tako v rešitvi lahko poljubno interpretiramo, ali gre za nakupno ali prodajno opcijo glede na razmere na trgu.

Za opcije, katerih izvršilna cena je znotraj intervala enega evra okrog tečaja osnovnega inštrumenta, lahko rečemo, da so sprejemljive, ne glede na tip opcije. V tem intervalu bomo tako izbrali tip, ki minimizira stroške. Če opcijo kupujemo, bomo izbrali tip z manjšo ceno, če opcijo prodajamo pa tip z višjo ceno. Za opcije zunaj intervala enega evra okrog tečaja osnovnega inštrumenta moramo poskrbeti, da je izbira še vedno logična. Tako za opcije z

izvršilnimi cenami pod trenutnim tečajem izberemo prodajni tip, za opcije z izvršilnimi cenami nad njim pa nakupni tip. Če bi denimo pri trenutnem tečaju 25 EUR/EUA izbirali tip opcije z izvršilno ceno 28 evrov, bi izbrali nakupno opcijo, saj bi bila prodajna že pregloboko in the money.

Rešitev je po izbiri tipa opcije enolična in zanjo lahko izračunamo ceno. V ceni upoštevamo tudi cenovni razpon 6 centov, ki izhaja iz povprečnega razpona na ICE borzi. Razpon v praksi pomeni, da ob vsaki transakciji izgubimo tri cente na opcijo. Tako ob nakupu plačamo 3 cente več, ob prodaji pa prejmemo 3 cente manj. Končna cena rešitve je seštevek vseh cen, ki upoštevajo cenovni razpon.

Cena rešitve ni zajeta v optimizacijo, saj izhajamo s stališča, da si vsako spremembo pozicije lahko privoščimo. Optimizacijski problem omejuje velikost dodane pozicije na 1000 lotov, kar pa v praksi lahko zmanjšamo za poljubni faktor v skladu s finančno zmogljivostjo. Cena je le informativna, oziroma bo v simulaciji služila za izračun dobička ali izgube.

V praksi za spremembo pozicije potrebujemo toliko denarja, kolikor od nas s politiko zahteva borza, kar je še ena od metrik, ki jih bomo informativno preučili med simulacijo algoritma.

4 SIMULACIJA

4.1 Potek simulacije

Namen simulacije je na realnih podatkih preveriti potek odločanja algoritma skozi čas. Portfelj, ki ga algoritem označi za optimalnega, mora v časovnem okvirju kazalnike zadrževati na zahtevanih ravneh, hkrati pa ustvariti dobiček. Algoritem skozi čas lahko popravlja portfelj k optimalnosti in s tem zagotavlja zaželene cilje.

Algoritem za delovanje potrebuje začetni portfelj P_z . Kot je omenjeno v podpoglavju 3.5.1, začetni portfelj ni predmet optimizacije, zato je za simulacijo uporabljen naključen začetni portfelj, sestavljen iz desetih opcij v poljubnih količinah, ki ne presegajo 1000 lotov absolutno. Portfelj je naključno generiran ob vsaki ponovitvi simulacije. Naključni portfelj P_z ima znani uteženi (Γ_{zu} in Θ_{zu}) in trenutni gamo ter theto (Γ_z in Θ_z).

Simulacija je izvedena v več korakih, kjer v vsakem koraku po času napredujemo za štiri tedne. V začetnem času t_0 začetni portfelj najprej optimiziramo. V vsakem nadaljnjem koraku ob času $t_n = t_0 + n * 28 \text{ dni}$ portfelj ponovno ovrednotimo. Preračunamo Γ_{nu} , Θ_{nu} , Γ_n in Θ_n in za portfelj na podlagi novih kazalnikov poiščemo najboljšo možno izboljšavo s pomočjo algoritma. Če rešitev izboljša vsaj enega od kazalnikov za 20 %, rešitev sprejmemo, sicer portfelj pustimo nespremenjen.

V vsakem koraku n za opcijo i preračunamo kumulativni dobiček oziroma izgubo portfelja (PL) od časa t_0 na nasledni način:

$$\text{za nezapadle} \quad PL = \alpha(V_n - V_0) - C \quad (24)$$

opcije

$$\text{za zapadle} \quad PL = \begin{cases} \alpha(S_z - K - V_0) - C, & S_z > K \\ -\alpha V_0 - C, & K \leq S \end{cases} \quad (25)$$

nakupne
opcije

$$\text{za zapadle} \quad PL = \begin{cases} \alpha(K - S_z - V_0) - C, & S_z < K \\ -\alpha V_0 - C, & K \geq S \end{cases} \quad (26)$$

prodajne
opcije

kjer je α količina i -te opcije, V_n cena opcije v času n , K izvršilna cena, S_z tečaj osnovnega inštrumenta ob času zapadlosti opcije in C strošek transakcije oziroma zaprtja pozicije. Za strošek upoštevamo cenovni razpon 6 centov in velja $C = 0,06\alpha$.

Formula predvideva, da ob zapadlosti vse osnovne inštrumente prodamo oziroma kupimo po tečaju osnovnega inštrumenta na dan zapadlosti in s tem takoj realiziramo dobiček oziroma izgubo iz naslova unovčenih opcij.

Za simulacijo izračunamo še Sharpovo razmerje po naslednji formuli (Sharpe, 1994):

$$SR = \frac{\overline{R_p - r}}{\sigma_p} \quad (27)$$

kjer je $\overline{R_p - r}$ povprečje donosov portfelja v obdobjih, zmanjšanih za netvegano obrestno mero in σ_p njihov odklon. Ker smo netvegano obrestno mero pri računanju thete zanemarili, jo zanemarimo tudi pri računanju SR .

Sharpovo razmerje primerja donos investicije z njeno tveganostjo. Višje kot je razmerje, bolj je investicija privlačna. Sharpovo razmerje nad 1 navadno pomeni, da je naložba vredna vložka, negativno razmerje pa ponazarja naložbo, za katero je pričakovan negativen donos (Hergrave, 2020).

Za boljšo predstavo o vrednosti portfelja izračunamo tudi hipotetično varnostno rezervo (angl. initial margin). To je delež celotnega nakupa, za katerega vlagatelj jamči z denarjem (Chen, 2019a). Varnostno rezervo sicer ocenjuje borza, ki pri izračunu upošteva tudi korelacije opcij v istem portfelju, kar potrebno rezervo lahko ob dodanih opcijah v portfelj

občutno zmanjša. Ker informacij o korelacijah ni na voljo, varnostno rezervo v vsakem času n izračunamo kot najslabši možni scenarij na naslednji način:

$$M = \begin{cases} -4\alpha - PL, & \alpha < 0 \\ \alpha V_n - PL, & \alpha > 0 \end{cases} \quad (28)$$

kjer je α količina i -te opcije, V_n cena opcije v času n in PL dobiček ali izguba z naslova opcije.

Borza ob prodaji opcije določi varnostno rezervo, ki v letu 2020 znaša 4000 evrov na lot opcije, kar izhaja iz približne ocene pričakovane izgube pri njeni prodaji. Varnostna rezerva se lahko tudi spremeni, če opciji začne cena nekontrolirano padati.

Poleg game, thete in dobička oziroma izgube tako spremljamo še varnostno rezervo skozi čas, opazujemo pa tudi upad (angl. drawdown), ki ga izračunamo kot razliko najvišjega dobička do časa t_n in dobička oziroma izgube v času t_n . Maksimalni upad (angl. maximum drawdown) je največja od takih izgub.

Algoritem bomo ocenili za uspešnega, če bosta skupni gama in theta portfelja ustrezali našim zahtevam, hkrati pa bo ustvarjal dobiček brez izrazitih vmesnih upadov.

4.2 Primer rešitve

Primer prikazuje eno od več simulacij izvedenih za ocenjevanje algoritma. Namen primera je pokazati potek simulacije in izračun kazalnikov, ki bodo v večji populaciji takih simulacij služili za analizo učinkovitosti.

Začetni portfelj simulacije je ustvarjen naključno na dan 31. 8. 2018 in je predstavljen v tabeli 4.

Tabela 4: Naključni začetni portfelj

Inštrument	Enote	Izv. c.	Zapadlost	C/P	Gama	Theta
Sep18C21	-950.000	21	2018-09-19	C	-147.224	23.957
Sep18P16	-150.000	16	2018-09-19	P	-1.863	692
Dec18P16	50.000	16	2018-12-12	P	1.556	-290
Mar19P9	825.000	9	2019-03-20	P	3.012	-943
Mar19P19	-350.000	19	2019-03-20	P	-15.896	2.365
Mar19P10	-900.000	10	2019-03-20	P	-4.935	1.355

Se nadaljuje

Tabela 4: Naključni začetni portfelj (nad.)

Inštrument	Enote	Izv. c.	Zapadlost	C/P	Gama	Theta
Jun19P7	450.000	7	2019-06-19	P	794	-267
Jun19C23	525.000	23	2019-06-19	C	23.150	-3.272
Dec19C34	-450.000	34	2019-12-11	C	-13.219	1.912
SKUPAJ					-154.625	25.509

Vir: lastno delo.

Kot je razvidno iz tabele 4, začetni portfelj vsebuje 10 opcij, ima skupno gamo -154.625 in skupno theto 25.509. Začetni portfelj v času t_0 optimiziramo. Portfelj ima tako že pred začetkom simulacije ustrezne kazalnike, kar je razvidno v tabeli 5.

Tabela 5: Optimizacija začetnega portfelja

Inštrument	Enote	Izv. c.	Zapadlost	C/P	Gama	Theta
Začetni portfelj					-154.625	25.509
Sep18P21	1.000.000	21	2018-09-19	P	154.972	-25.218
Sep18P11	-675.000	11	2018-09-19	P	-99	269
SKUPAJ					248	560

Vir: lastno delo.

Z izbranimi dvema opcijama začetni portfelj sedaj šteje 12 opcij in ima skupno gamo 248 ter skupno theto 560.

Algoritem se nato premakne na naslednji čas $t_1 = t_0 + 28 \text{ dni}$, kjer ponovno preračuna kazalnika gama in theta skupnega portfelja v novem času. V portfelj na podlagi nove optimizacije doda še eno ali dve opciji, lahko pa tudi nobene, če so kazalniki še vedno na primerni ravni. V vsakem novem koraku $t_n = t_0 + n * 28 \text{ dni}$ se postopek ponovi.

Po korakih je algoritem dodajal opcije, ki so po datumu dopolnitve predstavljene v tabeli 6. Algoritem je v korakih 4, 8, 9 in 11 izbral po eno optimalno opcijo, v drugih korakih pa po dve. Na vsakem koraku so za opcijo preračunani kumulativni dobiček oziroma izguba, varnostna rezerva, gama in theta.

Tabela 6: Optimizacija portfelja po korakih

Inštrument	Enote	Izv. c.	Zapadlost	C/P	Korak	Datum dopolnitve
Jun19P21	625.000	21	2019-06-19	P	1	2018-09-28
Dec18P12	-975.000	12	2018-12-12	P	1	2018-09-28
Dec19C19	850.000	19	2019-12-11	C	2	2018-10-26
Dec18P12	-825.000	12	2018-12-12	P	2	2018-10-26

se nadaljuje

Tabela 6: Optimizacija portfelja po korakih (nad.)

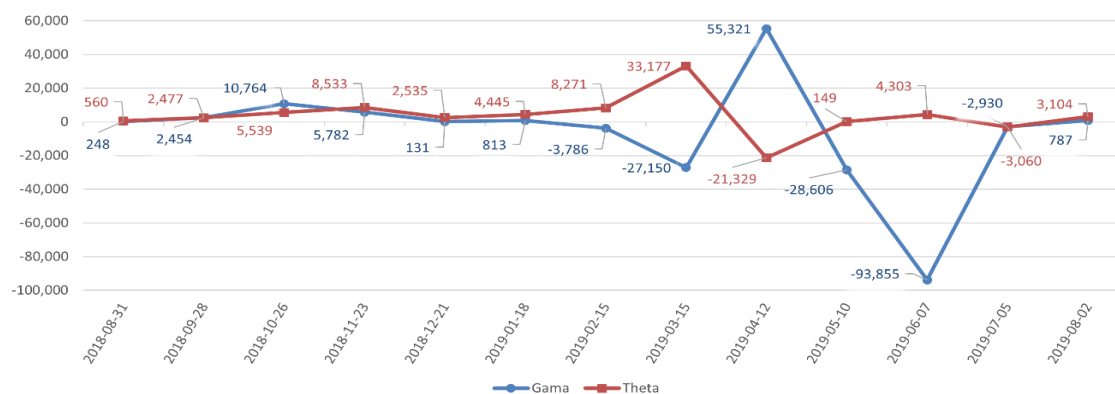
Inštrument	Enote	Izv. c.	Zapadlost	C/P	Korak	Datum dopolnitve
Dec19C24	825.000	24	2019-12-11	C	3	2018-11-23
Mar19C22	-950.000	22	2019-03-20	C	3	2018-11-23
Sep19P22	-425.000	22	2019-09-25	P	4	2018-12-21
Mar19P14	-975.000	14	2019-03-20	P	5	2019-01-18
Dec20C27	675.000	27	2020-12-09	C	5	2019-01-18
Sep19P12	-900.000	12	2019-09-25	P	6	2019-02-15
Jun19C21	800.000	21	2019-06-19	C	6	2019-02-15
Mar20C30	950.000	30	2020-03-25	C	7	2019-03-15
Mar19P17	-625.000	17	2019-03-20	P	7	2019-03-15
Jun19P27	-1.000.000	27	2019-06-19	P	8	2019-04-12
Jun19P26	-1.000.000	26	2019-06-19	P	9	2019-05-10
Jun19P21	-1.000.000	21	2019-06-19	P	10	2019-06-07
Jun19C29	1.000.000	29	2019-06-19	C	10	2019-06-07
Sep19P27	-1.000.000	27	2019-09-25	P	11	2019-07-05
Sep19P21	-925.000	21	2019-09-25	P	12	2019-08-02
Jun20P29	750.000	29	2020-06-24	P	12	2019-08-02

Vir: lastno delo.

Dodane opcije so aktualne v portfelju, dokler ne zapadejo. Po zapadlosti kumulativni dobiček ostaja enak, varnostnih rezerv ter kazalnikov gama in theta pa za zapadle opcije ni. Skupni kazalniki so preračunani na vsakem koraku kot vsota vseh aktivnih opcij.

Za boljšo predstavbo algoritmske izbire opcij za optimizacijo kazalnikov je na sliki 13 predstavljena skupna gama in skupna theta sestavljenega portfelja v času.

Slika 13: Gama in theta simulacije

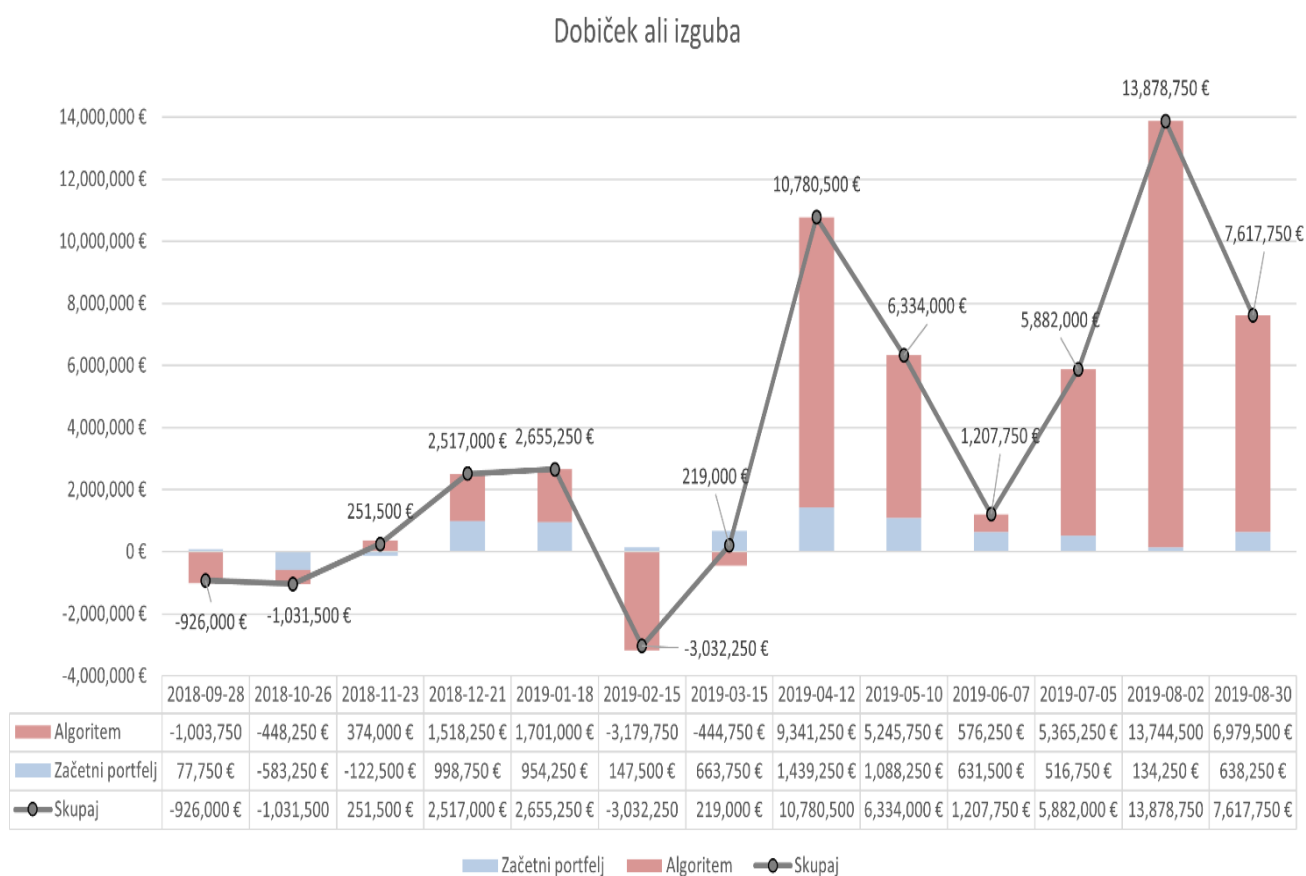


Vir: lastno delo.

Iz slike 13 je razvidno, da je algoritem deloval precej uspešno do začetka leta 2019. V tem času je tečaj osnovnega inštrumenta stalno počasi naraščal in je bil nevolatilen. Aprila je theta padla globoko pod nič. Iz tabele 6 je razvidno, da je algoritem izbral ekstremno vrednost -1.000 lotov opcije z visoko theto, da bi theto skupnega portfelja dvignil nad nič, a mu zaradi omejitev to ni uspelo. Uspešen je bil šele v naslednjem koraku. Povprečna theta je tako znašala 3.746, povprečna gama pa -6.156.

Dobiček poteka simulacije je ločen na dva dela. Prvi del je dobiček začetnega portfelja, drugi del pa dobiček zaradi delovanja algoritma. Skupaj predstavljata celotni dobiček ali izgubo na časovni osi. Rezultat je predstavljen na sliki 14.

Slika 14: Dobiček ali izguba simulacije

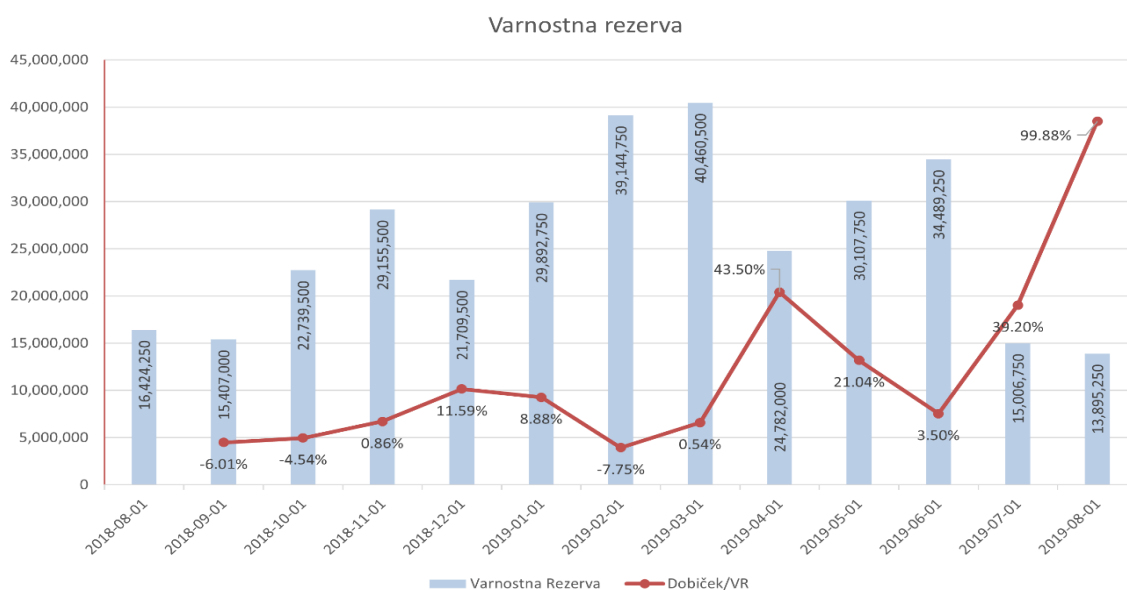


Vir: lastno delo.

Iz slike 14 je razvidno, da je v opazovanem obdobju algoritem dosegel skoraj 14 milijonov evrov dobička, vendar pa je v šestem koraku utrpel tudi 3 milijonsko izgubo, od osmega do desetega koraka pa kar 9,5 milijonski upad. Razvidno je, da del dobička, ki izhaja iz začetnega portfelja, za celoten potek algoritma ni bistven.

Na sliki 15 je razvidna varnostna rezerva, ki bi jo potrebovali, da bi lahko scenarij algoritma uresničili. Za boljše razumevanje stanja portfelja je z rdečimi točkami označeno še razmerje med dobičkom in varnostno rezervo.

Slika 15: Varnostna rezerva



Vir: lastno delo.

Varnostna rezerva, ki je v povprečju znašala 25,6 milijona, je v točki pred prvim višjim vzponom dobička dosegala 40,4 milijona. Maksimalni dobiček tako predstavlja 34,4 % maksimalne rezerve.

Sharpovo razmerje za simulacijo znaša 0,453, kar prav tako dokazuje, da so dobički morda dobri, a je tveganje precej visoko.

Simulacija sicer na prvi pogled prinaša dobre rezultate, a bi v praksi imela precej težav. Ne le, da bi zahtevala visoko varnostno rezervno na računu, lahko bi prinesla negotovost ob visokem upadu, kar bi lahko povzročilo predčasno zaprtje celotne pozicije in s tem slabšo izvedbo ali celo izgubo.

4.3 Analiza simulacij

Za simulacije je bilo izbranih šest različnih začetnih datumov, simulacija pa je vsakič preverjala časovno obdobje približno enega leta, s koraki po 28 dni. Za vsak začetni datum je bilo izvedenih 20 simulacij. Posamezna simulacija je na vsakem koraku iskala optimalno rešitev zgolj nekaj sekund, kar je čas celotne simulacije zmanjšalo na 5 - 10 minut, odvisno od zmogljivosti računalnika. Tako je na vsakem koraku algoritem našel le najboljšo od približno 10.000 možnosti, ki jih je izbral naključno.

Vsaka simulacija ima posebne značilnosti, ki jih je težko združiti na isti imenovalec z drugimi simulacijami. Prav tako bi za bolj realno sliko morali poznati premikanje kazalnikov vsak dan, ne le na 28 dni, kar pa bi zahtevalo precej več časa in procesorske moči. Rezultate tako opazujemo poenostavljene, zgolj kot oris realne situacije.

Za kazalnike uspešnosti posamezne simulacije izberemo naslednje agregate:

- a) povprečna gama,
- b) povprečna theta,
- c) Sharpovo razmerje,
- d) najmanjši dobiček oz. izguba,
- e) največji dobiček oz. izguba,
- f) povprečen dobiček oz. izguba in
- g) največji upad.

Vsaka simulacija je predstavljena v svoji vrsti z navedenimi agregati za pregleden povzetek njenega delovanja. V tabeli 7 je predstavljenih vseh 20 simulacij prvega obdobja, z začetkom dne 2. 7. 2018.

Tabela 7: Agregati simulacij z začetkom dne 2. 7. 2018

	<i>Pov. Gama</i>	<i>Pov. Theta</i>	<i>Sharp. r.</i>	<i>Maks PL (mio.)</i>	<i>Min PL (mio.)</i>	<i>Pov. PL (mio.)</i>	<i>Maks. Varn. Rez. (mio.)</i>	<i>Maks. upad (mio.)</i>
1	10.603	2.587	-0,132	5,551	-8,884	-0,988	57,959	-14,436
2	6.782	1.765	0,21	5,633	-2,004	0,556	26,934	-5,342
3	5.548	1.964	0,685	12,206	0,159	4,438	32,260	-6,981
4	20.553	-725	0,852	11,899	0,671	6,400	32,740	-8,774
5	5.048	1.887	0,339	2,427	-1,485	0,732	15,714	-0,819
6	4.072	3.117	0,668	6,803	-1,729	2,419	45,761	-8,532
7	8.962	635	0,953	5,990	-1,009	2,897	19,068	-4,196
8	6.220	515	0,741	7,870	0,388	3,672	29,426	-6,951
9	11.203	206	0,315	6,786	-1,766	1,457	33,872	-7,106
10	9.636	769	0,763	11,210	0,414	5,443	28,844	-8,884
11	3.452	2.977	0,922	5,447	0,465	2,978	33,752	-2,568
12	-2.228	2.681	1,135	11,232	0,761	5,875	39,405	-8,089
13	-7.944	2.111	0,945	21,985	0,451	8,822	19,866	-5,136
14	-2.112	1.825	0,586	10,739	-1,820	3,302	26,719	-5,067
15	1.108	3.583	-0,053	4,107	-3,392	-0,649	31,450	-6,711
16	-25.073	5.357	0,659	5,843	-0,530	2,597	30,298	-5,678
17	5.535	1.262	1,326	8,419	0,720	5,373	23,765	-3,910
18	-3.499	5.049	0,273	5,263	-3,061	1,236	34,890	-8,324

se nadaljuje

Tabela 7: Agregati simulacij z začetkom dne 2. 7. 2018 (nad.)

	<i>Pov. Gama</i>	<i>Pov. Theta</i>	<i>Sharp. r.</i>	<i>Maks PL (mio.)</i>	<i>Min PL (mio.)</i>	<i>Pov. PL (mio.)</i>	<i>Maks. Varn. (mio.)</i>	<i>Maks. Rez. upad (mio.)</i>
19	-12.858	4.972	-0,596	0,702	-8,528	-2,878	46,636	-9,230
20	5.708	3.098	0,288	6,558	-2,242	1,333	36,825	-4,260
\bar{x}	2.536	2.282	0,544	7,834	-1,621	2,751	32,309	-6,550

\bar{x} – povprečne vrednosti, PL – Profit and Loss oz. dobiček ali izguba

Vir: lastno delo.

Prvi od ciljev algoritma je ustvarjanje dobička. Pri simulaciji je algoritem prepuščen sam sebi, njegove odločitve pa skozi čas ustvarjajo dobiček ali izgubo.

Najosnovnejša ocena deli simulacije na dobre, slabe in povprečne glede na obdobja. Dobra simulacija je tista, kjer je povprečen dobiček pozitiven, največji dobiček izrazito višji od največje izgube v absolutnem smislu in največji upad manjši od največjega dobička. Slaba simulacija je tista, kjer je največja izguba v absolutnem smislu izrazito višja od največjega dobička, kjer dobička sploh ni ali kjer je največji upad izrazito prevelik. Med povprečne sodijo simulacije, ki so sicer v povprečju delale z dobičkom, a so med delovanjem utrpeli upad, višji od največjega pridelanega dobička. Ocene so ustvarjene na podlagi izoliranega dela algoritma, torej simulacije, od katere je odštet vpliv začetnega portfelja. Delitev je v tabeli 7 označena po barvah - zelena za dobro, rdeča za slabo in črna za povprečno simulacijo. V tabeli 8 so združeni seštevki ocen za simulacije.

Tabela 8: Število simulacij v posamezni kategoriji

Začetni datum	Dobra	Slaba	Povprečna
2018-07-02	16	2	2
2018-08-31	5	10	5
2019-01-03	2	11	7
2019-03-04	0	17	3
2019-07-01	3	17	0
2019-09-03	13	5	2

Vir: lastno delo.

Iz tabele 8 je razvidno, da izstopata predvsem dve obdobji, kjer se je simulacija nadpovprečno dobro odzvala. To sta obdobji z začetkom v juliju 2018 in z začetkom v septembru 2019. Druga obdobja so v povprečju prinašala izgubo. Med dobrimi primeri je razviden vzorec v obliki črke U, kjer se uspešnost algoritma z zelo visoke do sredine leta 2019 spusti na izredno nizko, nato pa se do konca leta spet izboljša.

Razloge za uspešnost v določenih obdobjih bi lahko iskali intuitivno ali s pomočjo drugih kazalnikov. Obdobje v začetku septembra 2019 se po večini izkaže za dobro zaradi razmer, ki se na trgu pojavijo v letu 2020 med padcem vrednosti osnovnega tečaja zaradi Covid-19. V času izrednih razmer se algoritem dobro odziva. V tem času je implicitna volatilitet precej skokovita in v kratkem času hitro naraste, kar napoveduje zvišanje cen opcij zaradi višjega tveganja. Obnašanje implicitne volatilitete je predstavljeno na sliki 16.

Slika 16: Implicitna volatilitet



Vir: lastno delo.

S slike 16 lahko razberemo, da je v obdobjih, ko so simulacije prinašale dobre rezultate, implicitna volatilitet hitro naraščala. Med prvim obdobjem, ki je bilo najbolj uspešno, je implicitna volatilitet naglo poskočila in dolgo vztrajala na visoki ravni. Simulacije so pokazale najslabše rezultate v obdobjih, v katerih je implicitna volatilitet večinoma padala.

Drugi cilj algoritma je doseganje nevtralne game in pozitivne in čim višje thete za portfelj na vsakem koraku. Ta cilj je v algoritem tudi zapisan, medtem ko je ustvarjanje dobička zgolj želeni stranski učinek.

Zahteve za nevtralno gamo in visoko theto so stroge. Za opcije velja, da prinašajo pozitiven en kazalnik, drugega pa negativnega, pri čemer je gama navadno absolutno višja od thete. Tako je nevtralnost game v resnici možno doseči le, kadar je theta skoraj nevtralna. Da bi dosegli ob nevtralni gami hkrati še zelo visoko theto, je v praksi tako rekoč nemogoče.

Če si v tabeli 9 ogledamo povprečja skupnih gam in thet po obdobjih, lahko opazimo, da se je algoritem odlično izkazal glede na dane omejitve in zahteve. Ne le, da je v vseh obdobjih dosegel cilj pozitivne thete, hkrati je v večini obdobj poiskal kombinacije opcij, ki so gamo obdržale na pozitivni strani in nedaleč stran od nevtralnosti. Taka kombinacija v teoriji ne samo, da prinaša dobiček zaradi časovnega razkroja, pač pa dobiček tudi pospešuje

(negativna gama bi pomenila pospeševanje izgube). Pri doseganju ciljnih vrednosti obeh kazalnikov se je algoritem izkazal za izjemno uspešnega.

Tabela 9: Povprečje simulacij po obdobjih

<i>Začetni datum</i>	<i>Gama</i>	<i>Theta</i>	<i>Sharp. R.</i>	<i>Maks. P&L (mio.)</i>	<i>Min. P&L (mio.)</i>	<i>Maks. upad (milijonov)</i>
2018-07-02	2.536	2.282	0,544	7,834	-1,621	-6,550
2018-08-31	2.472	2.620	-0,249	4,605	-4,236	-6,900
2019-01-03	567	5.092	-0,198	2,241	-3,745	-5,001
2019-03-04	5.207	4.624	-0,378	2,062	-6,627	-8,688
2019-07-01	1.338	6.202	-0,615	1,912	-5,618	-5,975
2019-09-03	-7.022	7.658	0,066	7,680	-6,590	-6,899

Vir: lastno delo.

Za algoritem lahko trdimo, da prinaša precej tveganja, kar lahko sklepamo na podlagi nizkih Sharpovih razmerij in visokih najvišjih upadov dobička. Odkloni dobičkov so izrazito volatilni, prinašajo pa tako visoke izgube kot visoke dobičke. Varnostna rezerva je v povprečju znašala skoraj 29 milijonov evrov.

4.4 Ocena algoritma

Jasno je, da noben algoritem ni pripravljen na vse scenarije, ki se lahko odvijajo na trgu. Obdobje med letoma 2018 in 2020 je bilo zelo spremenljivo in je vsebovalo tri izrazite vzorce. V obdobju konec leta 2018 sta tako tečaj osnovnega inštrumenta kot volatilitnost naraščala. V letu 2019 je volatilitnost sicer padala, a je tečaj ves čas močno nihal. V letu 2020 se je zgodil še črni scenarij, kjer je tečaj padel za skoraj polovico svoje vrednosti, s padcem pa se je v nebo dvignila tudi volatilitnost. Dejansko ni bilo pričakovati, da bo algoritem ustvarjal dobiček v vseh obdobjih.

Da bi dobro preučili v katerih obdobjih lahko algoritem ustvarja dobiček, bi potrebovali veliko širši nabor podatkov iz še več različnih scenarijev gibanja trga. Preiskati bi bilo treba tudi več različnih tipov simulacij, različne dolžine simulacij in špekulativne vstopa na trg ob določenih razmerah na njem. Idealno bi bilo preučiti algoritem tudi v nepoznanih razmerah, vendar pa takih razmer ne moremo umetno ustvarjati, saj bi vse potrebne podatke za uspešnost delovanja algoritma tako izračunavali brez trdne podlage namesto z dejanskimi podatki z borze. V tem trenutku je težko trditi, da je tako preprosta simulacija dovolj dobra za ocenjevanje delovanja tako kompleksnega algoritma. Do točke, ko bi algoritem samostojno ustvarjal zanesljiv dobiček, bi bilo potrebnih še veliko testiranj, kar pa presega obseg te raziskave.

Raziskava je pokazala tudi, da je idealne razmere v portfelju zelo težko doseči, saj se trg hitro spreminja, hkrati pa je en kazalnik praktično nemogoče izboljšati, ne da bi hkrati poslabšali drugega. Visoka theta je tako z zahtevo o nevtralni gami postala nevtralna theta, kar onemogoča, da bi portfelj služil tako idealno, kot je zasnovano v teoriji. V tako strogih pogojih je portfelj v najboljšem primeru dosegel le pozitivno nevtralnost obeh tveganj.

Vseeno lahko trdimo, da je algoritem dosegel cilj ohranjanja vrednosti kazalnikov v največji meri, za kar je bil tudi ustvarjen. Tveganja portfelja so bila skozi čas uspešno optimizirana v danih mejah, kar nakazuje, da je tovrstni način priprave portfelja primeren. Podoben pristop bi lahko deloval tudi za morebitne drugačno zastavljene cilje, kar odpira nadaljnje možnosti raziskav.

Algoritem je uporaben za vlagatelje, ki dobro poznajo tržne razmere, obnašanje opcij in imajo dovolj izkušenj. Z njegovo pomočjo bi uspešno lahko nadzirali portfelj in ga usmerjali po lastni presoji. Algoritem ni pripravljen za avtomatsko trgovanje, ima pa močan potencial za nadaljnjo nadgradnjo in je dober temelj za razvoj samostojno delujočega algoritma.

Kot pomembno dognanje raziskave lahko izpostavimo tudi učinkovitost računalniške pomoči pri doseganju rezultatov. Opcijam, ki so zelo kompleksen finančni instrument, človek s svojimi izračuni v realnem času ne bi bil kos. Računalnik nam tako lahko pomaga do strateško pomembnih informacij in poveča potencial opcij na trgu.

SKLEP

Pandemija Covid-19, ki je v letu 2020 pretresla ekonomijo, je zamajala tudi stebre Evropske trgovalne sheme. Vrstile so se pobude tako za začasno ukinitve EU ETS kot za odstop od evropskega zelenega dogovora. Evropska ekonomija je pod visokim pritiskom, za okrevanje pa bo potrebovala vse finančne vire. Ekonomska kriza se zrcali tako v skeptičnosti do izvajanja podnebne politike v času recesije, kot v trgovalnem sistemu samem, kjer so cene kuponov v marcu 2020 utrpele hud udarec. Evropski zeleni dogovor je tako zaradi kriznih razmer v javnem zdravstvu občutil začasno upočasnitev (Elkerbout in drugi, 2020).

Kljub boju proti pandemiji pa podnebna politika vendarle ni bila potisnjena popolnoma na stranski tir. Trajnostno gospodarstvo je eden najpomembnejših dolgoročnih ciljev evropskega prostora. Izredne razmere so tako vzbudile le še večjo potrebo po nadaljnjem spodbujanju in krepitvi evropskega ogljičnega trga, ki bo odporen na gospodarske krize, hkrati pa bo dosledno prispeval k zelenemu okrevanju Evrope. Cilji tako ostajajo enaki, podnebna politika pa bo deležna še večje pozornosti in usklajevanja.

V skladu z evropskim zelenim dogovorom bo EU ETS v prihodnje z vključevanjem novih sektorjev in z zaostrovanjem pogojev prevzela vlogo ključnega akterja za doseganje čedalje višjih okoljevarstvenih ambicij Evrope. Evropska komisija si bo prizadevala za globalno

poenotenje, ki bi ga lahko dosegla tako, da bi manjše podobne projekte na državnih ravneh pridružila EU ETS ter shemo razširila na večji, globalni prostor (EFET, 2020).

Trg emisijskih kuponov bo aktualen najmanj do leta 2050, do katerega segajo načrti za ogljično nevtralizacijo. Razvite države, ki bodo do cilja morda prišle prej, bodo sistemsko morale pomagati slabše razvitim članicam, za katere bo prehod težji in bo trajal dlje. Čeprav ni jasno, kaj bo sledilo po letu 2050, pa se bo sistem zagotovo moral ohranjati tudi po izteku predpisanih ukrepov. Hkrati iniciativa napoveduje širjenje sistema izven meja evropskega kontinenta, kar nakazuje na znatno krepitev trga in z njim povezanih politik, ki vplivajo na ceno kuponov. Če bi se shema uspela razširiti globalno, bi za trg emisijskih kuponov to pomenilo še dodatnih nekaj desetletij aktivnega delovanja.

Cene na trgu se bodo še naprej odzivale na izvajano politiko, ki bo z vsemi močmi preprečevala razvrednotenje. Gibanje cen v prihodnosti je seveda nepredvidljivo, zlasti zaradi neznanj, kakršne so ekonomske krize ali revolucionarna odkritja, kar pa je relevantno zgolj za uspešnost politike, ne pa za trgovanje samo (Košir, 2018). Ker vlagatelji lahko stavijo na katerokoli smer v premiku cene, je za trgovalno shemo pomembno le, da je dovolj likvidna, relativno volatilna in vlagateljem privlačna. Trg bo posledično mogočen in likviden dokler bo Evropska komisija brezkompromisno vztrajala pri doseganju zadanih ciljev in najmanj do leta 2050.

Poleg korelacije z nekaterimi drugimi trgi je trg občutljiv tudi na dejavnike, kot so sprememba regulacij, zakonov in smernic, kar je poglavitni razlog za njegov velik vlagateljski potencial. Brez negotovosti bi bil trg premalo volatilen za ustvarjanje relevantnih donosov. Prav takšno obnašanje trga se še posebej odraža v obdobju, ki je bilo v raziskavi uporabljeno za testiranje trgovalne strategije. V pičlih dveh letih je trg doživel veliko različnih razmer, ki bi vsakemu algoritmu prišle do živega. Tako volatilen trg ponuja zanimive pogoje za testiranje različnih strategij, saj je dovolj kritičen, da lahko izpostavi morebitne ekstremne prednosti in slabosti posamezne strategije.

Opisana trgovalna strategija, razvita za testiranje na trgu emisijskih kuponov, je pokazala številne obetajoče rezultate. Vlagatelji se v večini intuitivno zanašajo na obvladovanje tveganj na tovrsten način, s pomočjo računalniškega procesiranja pa bi lahko imeli še jasnejši vpogled v kompleksen prostor opcij. Univerzalne rešitve, ki bi neprestano generirala dobiček, sicer ni, a iz raziskave je razvidno, da je algoritem na nekaterih vzorcih uspešnejši kot na drugih, kar potrjuje, da njegova uspešnost ni naključna. Taka analiza razkriva, da je s pomočjo algoritmičnega optimiziranja tveganj možno ustvarjati dobiček, odpira pa tudi veliko novih vprašanj in smeri raziskav.

Trgovanje z opcijami zahteva ogromno znanja, zato le manjši delež vlagateljev trguje z njimi. Vložek v podatkovno znanost na področju vlaganja v opcije bi lahko razširil splošno poznavanje opcij, s tem pa privabil širšo populacijo vlagateljev k trgovanju. Hkrati bi napredovala tudi podatkovna znanost v finančnem sektorju in s tem dodatno povečevala konkurenco. Povečana aktivnost bi blagodejno vplivala na trge, kar še zlasti velja za trg emisijskih kuponov, pri katerem sta aktivnost in likvidnost ključnega pomena za ohranjanje

interesa na trgu, katerega cilj je s tržno optimizacijo cene doseči največji možni učinek na zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov v Evropi in širše.

LITERATURA IN VIRI

1. Agencija za trg vrednostnih papirjev. (brez datuma). *Izvedeni finančni inštrumenti*. Pridobljeno 8. julija 2020 iz <https://vlagatelj.atvp.si/Default.aspx?id=32>
2. Anger, N., Veenendaal, P., Alexeeva-Talebi, V., Boeters, S., Leeuwen, N., Mennel, T., Oberndorfer, U. & Rojas-Romagoza, H. (2007, avgust). *Competitiveness Effects of Trading Emissions and Fostering Technologies to Meet the EU Kyoto Targets: A Quantitative Economic Assessment*. Pridobljeno 12. januarja 2021 iz <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/1925/attachments/1/translations/en/renditions/native>
3. Appunn, K. & Sherman, L. (2018, 21. avgust). *Understanding the European Union's Emissions Trading System*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/understanding-european-unions-emissions-trading-system>
4. Belektron. (brez datuma). *Evropski trg emisijskih kuponov*. Pridobljeno 30. junija 2020 iz <https://belektron.eu/sl/storitve/trading-environmental-products/>
5. Betz, R. & Sato, M. (2006). Emissions trading: lessons learnt from the 1st phase of the EU ETS and prospects for the 2nd phase. *Climate Policy*, 6(4), 351 – 359.
6. Bhaumik, S. (brez datuma). *Options & Greeks*. Pridobljeno 12. januarja 2021 iz https://www.sumonbhaumik.net/Options_and_Greeks.pdf
7. Carbon Expert. (brez datuma). *Carbon Allowances*. Pridobljeno 23. oktobra 2020 iz <https://carbonexpert.ro/en/co2-emissions/what-are-co2-emissions-allowances/>
8. Chandreyee, B. & Velten, E. (2014). *The EU Emissions Trading System: Regulating the Environment in the EU*. Pridobljeno 30. junija 2020 iz: <https://climatepolicyinfohub.eu/eu-emissions-trading-system-introduction#21-phase-1-2005-2007>
9. Chen, J. (2019, 30. april). *Trading Strategy*. Pridobljeno 23. oktobra 2020 iz <https://www.investopedia.com/terms/t/trading-strategy.asp>
10. Chen, J. (2019a, 28. december). *Initial Margin*. Pridobljeno 21. oktobra 2020 iz <https://www.investopedia.com/terms/i/initialmargin.asp>
11. Chiamruchikun, B., Klongprateephol, C., Pongpala, A. & Suntayodom, T. (2008, 6. oktober). *Hedging with Options*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <http://janroman.dhis.org/stud/I2008/Hedging/Hedging.pdf>
12. Chune, Y. C., Minkyu, J. & Jason, Y. (2018, 1. november). The Price Determinants of the EU Allowance in the EU Emissions Trading Scheme. *Sustainability* 2018, 10(11). MDPI, Open Access Journal.

13. Convery, F. J. (2009). Origins and Development of the EU ETS. *Environmental and Resource Economics*, 43, 391 – 412.
14. Craig, T. (2012, 20. april). *3 Keys to Understanding Gamma*. Pridobljeno 21. oktobra 2020 iz <https://investorplace.com/2012/04/3-keys-to-understanding-gamma/>
15. De Clara, S. & Mayr, K. (2018, september). *The EU ETS phase IV reform: implications for system functioning and for the carbon price signal*. Pridobljeno 12. januarja 2021 iz <https://www.oxfordenergy.org/publications/eu-ets-phase-iv-reform-implications-system-functioning-carbon-price-signal/>
16. Dorsman, A., Gök, T. & Karan, M. B. (2014). *Perspectives on Energy Risk*. Berlin: Springer.
17. EFET. (2020, 19. junij). *Future role of the EU ETS in achieving Europe's decarbonisation targets*. Pridobljeno 22. oktobra 2020 iz https://efet.org/Files/Documents/Emissions%20and%20RES/Emissions%20trading/2020/EFET_discussion%20paper_future%20role%20of%20the%20EU%20ETS_final.pdf
18. Elkerbout, M., Egenhofer, C., Núñez Ferrer, J., Cătuți, M., Kustova, I. & Rizos, V. (2020, marec). *The European Green Deal after Corona: Implications for EU climate policy*. Pridobljeno 12. januar 2021 iz https://www.ceps.eu/wp-content/uploads/2020/03/PI2020-06_European-Green-Deal-after-Corona.pdf
19. Ellerman, D., Valero, V. & Zaklan, A. (2015). *An analysis of allowance banking in the EU ETS*. RSCAS Working Papers 2015/29. European University Institute.
20. Emissions-EUETS. (2019, 4. januar). *Phases (trading periods) of the EU ETS*. Pridobljeno 30. junij 2020 iz <https://www.emissions-euets.com/carbon-market-glossary/878-phases-trading-periods-eu-ets>
21. European Commission. (2012). *Phases 1 and 2 (2005-2012)*. Pridobljeno 30. junija 2020 iz https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/pre2013_en#tab-0-0
22. European Commission. (2015). *EU ETS Handbook*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets_handbook_en.pdf
23. European Commission. (2016). *System (EU ETS) Factsheet*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/factsheet_ets_en.pdf
24. European Commission. (2017). *How are emissions of greenhouse gases by the EU evolving?*. Pridobljeno 19. junija 2020 iz <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-4a.html>
25. European Commission. (2020). *2020 climate & energy package*. Pridobljeno 19. junija 2020 iz https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en#:~:text=The%202020%20package%20is%20a,of%20EU%20energy%20from%20renewables
26. Evropska komisija. (2019). *Evropski zeleni dogovor*. Pridobljeno 22. oktobra 2020 iz https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sl
27. Fjellheim, H. (2018, 12. december). *Will high European carbon prices last?* Pridobljeno 13. julija 2020 iz <https://www.refinitiv.com/perspectives/market-insights/will-high-european-carbon-prices-last/>

28. Fornari, F. & Mele, A. (2001). Volatility Smiles and the Information Content of News. *Applied Financial Economics*, 11(2), 179 – 186.
29. Frank, S. (2020, 23. junij). *The EU Emission Trading System – carbon pricing as an important tool to achieve the objectives of the Green Deal*. Pridobljeno 22. oktobra 2020 iz <https://carbonmarketwatch.org/2020/06/23/the-eu-emission-trading-system-carbon-pricing-as-an-important-tool-to-achieve-the-objectives-of-the-green-deal/>
30. Frankel, J. (2009, februar). *Environmental Effects of International Trade*. Pridobljeno 12. januarja 2021 iz <https://www.government.se/contentassets/006470cc2f544bd793924f11cad8f068/environmental-effects-of-international-trade>
31. Friedrich, M., Fries, S., Pahle, M. & Edenhofer, O. (2020, marec). *Understanding the explosive trend in EU ETS prices -fundamentals or speculation?*. Pridobljeno 22. oktobra 2020 iz <https://arxiv.org/pdf/1906.10572.pdf>
32. Füllenbach, J. (1981). *European Environmental Policy*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
33. Futurestradingpedia. (brez datuma). *Futures Daily Settlement*. Pridobljeno 12. januarja 2021 iz http://www.futurestradingpedia.com/futures_daily_settlement.htm
34. Garner, C. & Brittain, P. (2009). *Option Basics: A Crash Course in Option Mechanics*. Pridobljeno 22. oktobra 2020 iz <https://www.pearsonhighered.com/assets/samplechapter/0/1/3/7/0137142862.pdf>
35. Heckinger, R. & Ruffini, I. (2015). *Understanding Derivatives: Markets and Infrastructure*. Pridobljeno 14. januarja 2021 iz <https://www.chicagofed.org/~media/publications/understanding-derivatives/understanding-derivatives-chapter-1-derivatives-overview-pdf.pdf?la=en>
36. Hergrave, M. (2020, 28. december). *Sharpe Ratio*. Pridobljeno 20. oktobra 2020 iz <https://www.investopedia.com/terms/s/sharperatio.asp>
37. Intercontinental Exchange. (brez datuma a). *EUA Futures Options*. Pridobljeno 14. julija 2020 iz <https://www.theice.com/products/196/EUA-Futures-Options>
38. Intercontinental Exchange. (brez datuma b). *EUA Futures*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://www.theice.com/products/197/EUA-Futures>
39. Intercontinental Exchange. (brez datuma c). *EUA Phase 3 Daily Futures*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://www.theice.com/products/18709519/EUA-Phase-3-Daily-Futures>
40. Investopedia. (2010). *Options Basics Tutorial*. Pridobljeno 13. julija 2020 iz http://i.investopedia.com/inv/pdf/tutorials/options_basics.pdf
41. Jagerson, J. (brez datuma). *Choosing At-the-Money, In-the-Money or Out-of-the-Money Options*. Pridobljeno 23. oktobra 2020 iz <https://www.learningmarkets.com/choosing-at-the-money-in-the-money-or-out-of-the-money-options/>
42. Kenton, W. (2018). *Gamma Neutral*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://www.investopedia.com/terms/g/gammaneutral.asp>

43. Koch, N., Fuss S., Grosjean, G. & Edenhofer, O. (2014). Causes of the EU ETS price drop: Recession, CDM, renewable policies or a bit of everything?—New evidence. *Energy Policy*, 73, 676 – 685.
44. Korošec, P. (2012). *Evropska shema trgovanja z emisijskimi kuponi CO2*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz http://www.cek.ef.uni-lj.si/u_diplome/korosec4730.pdf
45. Košir, K. (2018, 13. september). *Emisijski kuponi – novi bitcoini?* Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://svetkapitala.delo.si/ikonomija/emisijski-kuponi-novi-bitcoini-131538>
46. Kutney, G. (2014). *Carbon Politics and the Failure of the Kyoto Protocol*. Abingdon: Routledge.
47. Lazibat, T. & Baković, T. (2007). *Options hedging as a mean of price risk elimination*. Pridobljeno 14 januarja 2021 iz <https://hrcak.srce.hr/file/24336>
48. Leal-Arcas, R. (2013, februar). *Climate Change and International Trade*. Pridobljeno 12. januarja 2021 iz https://www.researchgate.net/publication/256047415_Climate_Change_and_International_Trade
49. Leggett, J. (2020). *The United Nations Framework Convention on Climate Change, the Kyoto Protocol, and the Paris Agreement: A Summary*. Washington: Congressional Research Service.
50. Lucia, J., Bataller, M. & Pardo, A. (2012, junij). *Evolution of the Speculative Activity in the European Carbon Market*. SSRN Electronic Journal. Pridobljeno 12. januarja 2021 iz <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1086.1677&rep=rep1&type=pdf>
51. Majaski, C. (2019, 16. maj). *American vs. European Options: What's the Difference?* Pridobljeno 12. januarja 2021 iz <https://www.investopedia.com/articles/optioninvestor/08/american-european-options.asp>
52. Mallawaarachchi, V. (2017, 21. julij). *How to define a Fitness Function in a Genetic Algorithm?* Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://towardsdatascience.com/how-to-define-a-fitness-function-in-a-genetic-algorithm-be572b9ea3b4>
53. Mandal, S., Anderson, T. A., Turek, J. S., Gottschlich, J., Zhou, S. & Muzahid, A. (2020, 17. december). *Learning Fitness Functions for Genetic Algorithms*. Pridobljeno 2. septembra 2020 iz <https://arxiv.org/pdf/1908.08783.pdf>
54. McCormick, J. (2001). *Environmental Policy in the European Union*. New York: Palgrave.
55. Mikluš, M. (2011). *Obvladovanje tveganj z uporabo opcij*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=19748>
56. Mitchell, C. (2019). *Volatility Smile Definition and Uses*. Pridobljeno 24. julija 2020 iz <https://www.investopedia.com/terms/v/volatilitysmile.asp>

57. Monroe, W. (2017, julij). *The Normal Distribution*. Pridobljeno 24. julija 2020 iz <https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs109/cs109.1178/lectureHandouts/110-normal-distribution.pdf>
58. Najvirt, D. (2010). *Black-scholesov model vrednotenja opcij*. Pridobljeno 14. julija 2020 iz <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=15070>
59. Nielsen, L.T. (1992). *Understanding $N(d1)$ and $N(d2)$: Risk-Adjusted Probabilities in the Black-Scholes Model*. Fontainebleau: Insead.
60. Obermayer, J. (brez datuma). *An analysis of the fundamental price drivers of EU ETS carbon credits*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://www.math.kth.se/matstat/seminarier/reports/M-exjobb09/090907b.pdf>
61. Option trading tips. (brez datuma). *Short Call Options aka Naked Call*. Pridobljeno 22. julija 2020 iz <https://www.optiontradingtips.com/strategies/short-call-option.html>
62. Pavlič, J. (2006). *Meje kapitalističnega razvoja z vidika naravnega okolja*. Pridobljeno 17. junija 2020 iz http://www.cek.ef.uni-lj.si/u_diplome/pavlic2396.pdf
63. Payne, J. (2011). *Using options to profit from time decay*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://www.danielstrading.com/2011/07/20/using-options-to-profit-from-time-decay>
64. Przybylinski, E. & Leonberger, G.J. (2010). *Introduction to Futures Contracts*. Pridobljeno 17. junija 2020 iz <https://www.marquetteassociates.com/wp-content/uploads/2017/02/FuturesContractsFINAL.pdf>
65. Redshaw Advisors Ltd. (brez datuma). *COVID-19: Implications for the EU ETS*. Pridobljeno 12. januarja 2021 iz <https://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/8460-COVID-19-v2.pdf>
66. Sandle, P., Szabo, M. & Bryan, V. (2010, 30. april). *ICE buys Climate Exchange*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://www.reuters.com/article/us-jlc-ice-climate-exchange/ice-buys-climate-exchange-idUSTRE63T3FG20100430>
67. Sharpe, W. F. (1994). The Sharpe Ratio. *The Journal of Portfolio Management Fall*, 21(1), 49 – 58.
68. Sudkhar, R. (2012). Delta Gamma Hedging and the Black-Scholes Partial Differential Equation (PDE). *Journal of Economics and Finance Education*, 11(2), 51 – 62.
69. Szabo, M. (2020, 22. januar). *World's carbon markets grow 34% in value to \$215 billion in 2019 - report*. Pridobljeno 27. maja 2020 iz <https://carbon-pulse.com/90631/>
70. Teixidó, J., Verde, S. F. & Nicolli, F. (2019). The impact of the EU Emissions Trading System on low-carbon technological change: The empirical evidence. *Ecological Economics*, 164.
71. Toews, M. W. (2007). *Standard deviation diagram*. Pridobljeno 24. julija 2020 iz https://sl.wikipedia.org/wiki/Slika:Standard_deviation_diagram.svg
72. Veisdal, J. (2019). *The Black-Scholes formula, explained*. Pridobljeno 15. julija 2020 iz <https://medium.com/cantors-paradise/the-black-scholes-formula-explained-9e05b7865d8a>
73. Wadhawan, D. & Singh, H. (2015, 15. oktober). *Hedging Option Greeks: Risk Management Tool for Portfolio of Futures and Option*. Pridobljeno 14. januarja 2021

iz

https://www.researchgate.net/publication/337213576_Hedging_Option_Greeks_Risk_Management_Tool_for_Portfolio_of_Futures_Options

74. Wolfinger, M. (2020, 26. december). *Using Positive Theta Strategies When Bullish or Bearish*. Pridobljeno 12. januarja 2021 iz <https://www.thebalance.com/using-positive-theta-strategies-when-bullish-or-bearish-2536660>