

UDC: 339.74:004.94

Info M str. 31-39

**SISTEM ZA ANALIZU I SIMULACIJU TRIANGULARNIH ARBITRAŽNIH
STRATEGIJA NA MEĐUNARODNOM DEVIZNOM TRŽIŠTU
A SYSTEM FOR ANALYSIS AND SIMULATION OF TRIANGULAR
ARBITRAGE STRATEGIES IN THE FOREIGN EXCHANGE MARKET**

Srdan Jelinek, Aleksandar Rakičević, Pavle Milošević
Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka

REZIME: U ovom radu se analiziraju deskriptivne karakteristike arbitražnih prilika koje se javljaju nad valutnim parovima, i ispituju mogućnosti praktične realizacije triangularnih arbitražnih strategija na međunarodnom deviznom tržištu. Cilj rada je da se odgovori na pitanje da li je moguće, i pod kojim uslovima, iskoristiti triangularnu arbitražu na tržištu. U tu svrhu razvijen je automatizovani sistem za trgovanje. Predloženi sistem je sastavljen iz više komponenti pri čemu je svaka karakteristika arbitraže opisana pomoću jedne komponente sistema. Nakon prikaza predloženog sistema, u radu su objašnjene i testirane različite strategije za trgovanje. Rezultati simulacija prikazani su zajedno sa analizom isplativosti navedenih strategija i uslovima pod kojima bi one mogle da ostvare profit. Za potrebe testiranja korišćeni su podaci o kretanju deviznog kursa za odabrane valutne parove u toku 2012. i 2013. godine.

KLJUČNE REČI: arbitražna prilika, karakteristike arbitraže, triangularna arbitraža, strategija za trgovanje, međunarodno devizno tržište.

ABSTRACT: The aim of this paper is to examine whether it is possible to seize the triangular arbitrage opportunities in the foreign exchange market, and under what conditions. First the descriptive characteristics of arbitrage opportunities that occur between the currency pairs are analyzed, and further the profitability of the triangular arbitrage strategies is investigated. For that purpose, an automated trading system is developed. The proposed system is composed of several components where each one provides analysis for a specific arbitrage characteristic. After the system structure is given, a set of trading strategies is described and further tested. The simulation results are presented along with the analysis of profitability for the tested strategies and conditions under which they might make a profit. The arbitrage strategies are simulated for the selected currency pairs based on their exchange rate movement in the year 2012 and 2013.

KEY WORDS: arbitrage opportunity, arbitrage characteristics, triangular arbitrage, trading strategy, foreign exchange market.

1. UVOD

Predmet istraživanja ovog rada je analiza triangularne arbitraže i karakteristike valutnih parova na međunarodnom deviznom tržištu sa ciljem konstruisanja i testiranja sistema za automatizovano trgovanje zasnovanog na arbitražnim strategijama. Prema hipotezi o efikasnosti tržišta, sva tržišta su efikasna u većoj ili manjoj meri. U slabo efikasnim ili čak ne-efikasnim tržištima, pojavljuju se anomalije (arbitražne prilike) koje omogućavaju ostvarivanje profita bez ili sa malo preuzetog rizika. Arbitražne strategije su strategije za trgovanje osmišljene tako da iskoriste ovakve prilike (anomalije) na tržištu [1-4].

Međunarodno devizno tržište omogućava kupovinu i prodaju stranih valuta [5-7]. Zasnovano je na plivajućim (eng. floating) i na fiksiranim (eng. fixed) kursovima. U ovom radu ćemo se baviti isključivo plivajućim kursovima pošto je kroz fiksiranje kursa u velikoj meri onemogućena arbitraža. Sa druge strane, plivajuće kurseve određuje tržište, odnosno ponuda i potražnja za istim. Međunarodno devizno tržište je jedno od najvećih i najlikvidnijih finansijskih tržišta čiji su glavni učesnici centralne i velike komercijalne banke, finansijske institucije, vlade, investicione i osiguravajuće kompanije, kao i privatna lica. Tržište je otvoreno 24 sata dnevno, osim vikendom. Odlikuje ga veliki obim trgovanja (dnevni promet iznosi preko 6.5 triliona američkih dolara¹), velika likvidnost i veli-

ki broj različitih faktora koji utiču na promene cena valutnih parova, a koji su posledica globalne rasprostranjenosti ovog tržišta. Pored ponude i tražnje, devizni kursevi su osetljivi i na vesti iz ekonomije, društva, politike, kao i vesti o prirodnim ili drugim nepogodama/tragedijama. Iako su centralne banke učesnici ovog tržišta, samo tržište nije centralizovano i tako se onemogućava veći uticaj ovih banaka na formiranje cena valutnih parova. Promene u ceni valutnih parova su veoma male, i najčešće se mogu izraziti kao deseti ili stoti deo procenta. Zbog toga bi iznosi kojima se trguje trebalo da budu dovoljno veliki da bi se moglo zaraditi na ovako malim razlikama. Transakcije se najčešće odvijaju u standardizovanim veličinama za količinu (eng. lot) koje mere 100.000 ili 1.000.000 novčanih jedinica. Takođe, na tržištu je dozvoljeno trgovanje pomoću margine (eng. margin trading). To je trgovanje u kome je učesnik u mogućnosti da kupi/proda veću količinu novčanih jedinica nego što ih poseduje na svom računu za trgovanje. Ovakav vid trgovanja je posebno rizičan i može doneti u veoma kratkom roku velike dobitke i gubitke.

Algoritamsko trgovanje (eng. algorithmic trading, automated trading) je oblast koja se ubrzano razvija [8,9]. Ovaj vid trgovanje, za razliku od manuelnog, omogućava brzo i efikasno pretraživanje arbitražnih prilika na tržištu, kao i momentalno izvršavanje transakcija u cilju iskorišćenja tih prilika [10]. Termin algoritamsko trgovanje se odnosi na automatizovanu strategiju trgovanja koja je implementirana u nekom od programskih jezika. Po strukturi slična je kombinaciji eksper-

¹ Izvor - BIS: https://www.bis.org/statistics/d11_1.pdf

tnih sistema i softverskih agenata. Softver za automatizovano trgovanje ima mogućnost da samostalno odlučuje kada će se vršiti trgovanje, po kojim cenama i sa kojim iznosima. Softver dosledno sprovodi implementiranu strategiju trgovanja i time smanjuje uticaj ljudskih emocija na donošenje odluka, omogućavajući prevazilaženje problema koji mogu nastati usled nepažnje i nedostatka koncentracije. Pored toga, omogućava automatizovano praćenje i sublimiranje velikog broja faktora koji utiču na donošenje odluka u realnom vremenu.

Tehnike visoko frekventnog trgovanja (eng. high frequency trading) predstavljaju jednu od kategorija algoritamskog trgovanja [8,9]. Za ovakvu tehniku trgovanja karakteristično je da se trgovačke pozicije otvaraju na veoma kratak period (od nekoliko delova sekunde do nekoliko sati) i veoma često (ponekad se realizuje i više stotina ili hiljada transakcija tokom 1 dana). Uspešnost visoko frekventnog trgovanja se bazira na tome da je pomoću odgovarajućeg softvera moguće pratiti i obraditi veliku količinu informacija sa tržišta i time reagovati znatno brže nego što to mogu ljudi koji se bave trgovanjem. Ovakve tehnike trgovanja značajno poboljšavaju likvidnost tržišta. Mogu se koristiti pri trgovanju akcijama, na berzi stranog novca, kao i prilikom trgovanja drugim finansijskim instrumentima i derivatima kojima se može elektronski trgovati.

U ovom radu, pokazaćemo da na današnjem deviznom tržištu arbitražne prilike postoje, ali da su retke i kratkog trajanja. Odgovorićemo na pitanje da li je moguće napraviti profit koristeći ove anomalije na tržištu. Modelovaćemo okruženje i varijable koje se pojavljuju prilikom trgovanja koristeći sistem koji simulira trgovanje na međunarodnom tržištu i iskorišćenje arbitražnih prilika pod određenim uslovima. Prikazaćemo, objasniti i analizirati različite strategije trgovanja za iskorišćavanje arbitražnih prilika na međunarodnom deviznom tržištu.

Rad se sastoji iz tri celine. U prvom delu se analiziraju valutni trouglovi i arbitražne prilike da bi se stekao uvid u njihove karakteristike i mogućnosti iskorišćenja. U drugom delu se postavlja sistem koji omogućava simulaciju transakcija i eksploatacije arbitražnih prilika pod savršenim i realnim uslovima koji vladaju na tržištu. U trećem delu se testiraju strategije za trgovanje pod određenim uslovima kako bi se došlo do zaključka o optimalnom ponašanju na tržištu.

2. TRIANGULARNA ARBITRAŽA

Triangularna arbitražna je mogućnost za bezrizičan profit koristeći tri transakcije između tri valutna para u kratkom vremenskom period [11-17]. Mogućnost pojave arbitražnih prilika na potpuno efikasnim tržištima je mala, a vreme njihovog trajanja je približno jednako nuli. Ipak, većina tržišta nisu potpuno efikasna, a čak i ona koja jesu efikasnija od drugih imaju periode smanjene efikasnosti. Pad u efikasnosti tržišta najčešće je posledica pada likvidnosti, ali može nastati i usled drugih faktora. Triangularna arbitražna se može najlakše objasniti na sledeći način na primeru EUR-USD-CHF valutnog trougla: prvo se proda/kupi EUR za USD po EUR/USD kursu, zatim se proda/kupi USD za CHF po USD-CHF kursu, i na kraju se proda/kupi CHF za EUR po CHF/EUR kursu. Konačni saldo

nakon uspešno obavljene tri transakcije se dobija tako što se pomnože ova 3 valutna para. Ukoliko je proizvod veći od 1 arbitraža je uspešno iskorišćena.

3. STATISTIKE ARBITRAŽNIH PRILIKA

U ovom delu rada analiziramo karakteristike arbitražnih prilika koje ćemo kasnije koristiti prilikom pravljenja strategija za trgovanje. Podaci korišćeni za analizu i simulaciju su preuzeti od Švajcarske FOREX Banke Dukascopy. Skup podataka obuhvata sve cenovne promene (u pitanju su tzv. tick podaci (eng. tick data)) cena za 10 valutnih parova: EUR/USD, EUR/CHF, EUR/GBR, EUR/JPY, GBR/USD, GBR/CHF, GBR/JPY, USD/CHF, USD/JPY and CHF/JPY. Ovi valutni parovi spadaju u najčešće trgovane na međunarodnom deviznom tržištu. Valutni trouglovi su formiraju tako što se od gore navedenih pet valuta izaberu tri. Na taj način je dobijeno deset mogućih kombinacija: EUR-USD-CHF, EUR-GBR-USD, EUR-USD-JPY, EUR-GBR-CHF, EUR-GBR-JPY, EUR-CHF-JPY, GBR-CHF-USD, GBR-JPY-USD, GBR-CHF-JPY, USD-CHF,JPY. Vremenski period podataka je dve godine, od 01.01.2012. do 31.12.2013. Ukupan broj cenovnih promena (tikova) za sve valutne parove je malo manji od 339 miliona. Tokom dve godine, ukupno je detektovano 548.390 arbitražnih prilika koje su sumirane po valutnim trouglovima u Tabeli 1.

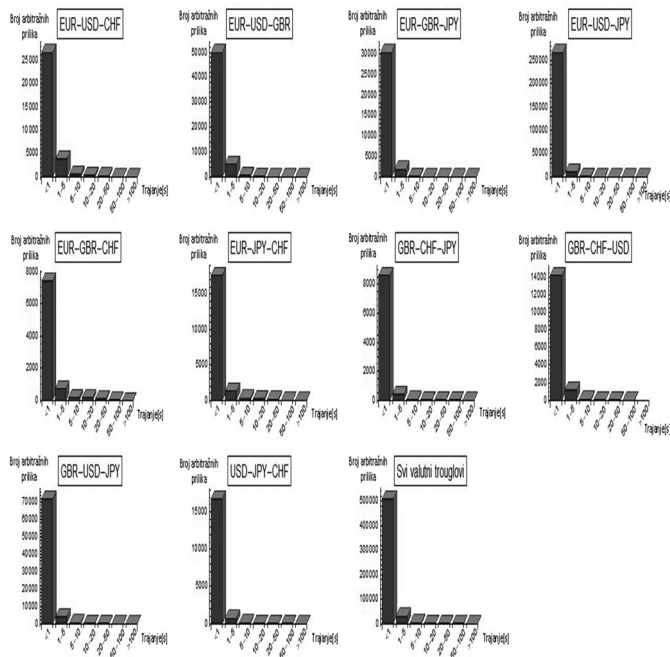
Tabela 1: Broj arbitražnih prilika za sve valutne trouglove

	Broj tikova	Broj arbitražnih prilika	Racio
EUR-USD-CHF	87.740.005	31.927	2.748,14
EUR-USD-GBR	99.366.008	56.417	1.761,28
EUR-GBR-JPY	120.237.163	32.617	3.686,33
EUR-USD-JPY	109.484.976	280.160	390,79
EUR-GBR-CHF	82.060.175	8.599	9.542,99
EUR-JPY-CHF	101.723.802	19.638	5.179,95
GBR-CHF-JPY	117.719.986	9.239	12.741,64
GBR-CHF-USD	98.264.400	15.568	6.311,95
GBR-USD-JPY	105.613.013	76.500	1.380,56
USD-JPY-CHF	94.759.449	17.725	5.346,09
Svi trouglovi	338.989.659	548.390	618,15

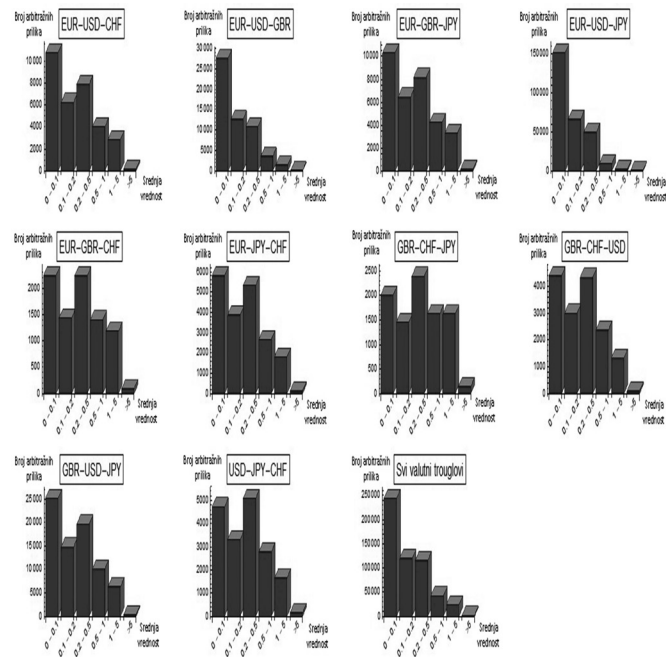
Analizirane su sledeće komponente arbitražnih prilika: trajanje, prosečna vrednost, vreme između arbitražnih prilika, broj tikova, i korelacije između ovih komponenti.

3.1. Vremensko trajanje arbitražnih prilika

Trajanje arbitražnih prilika je potencijalno najvažnija komponenta arbitražne prilike. Ovaj faktor direktno utiče na verovatnoću iskorišćenja arbitražne prilike. Što duže arbitražna prilika postoji, veća je šansa da će ona biti uspešno iskorišćena. U drugom delu ovog rada, ta veza će biti prikazana preko verovatnoće uspešnosti arbitraže (eng. successful arbitrage probability - SAP) funkcije. Vremensko trajanje uočenih arbitražnih prilika prikazano je na Slici 1. i u Tabeli 2.



Slika 1. Vremensko trajanje arbitražnih prilika



Slika 2. Prosečna vrednost valutnog proizvoda arbitražne prilike

Tabela 2: Vremensko trajanje arbitražnih prilika

	Trajanje (s)						
	<1	1 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 100	>100
EUR-USD-CHF	26.658	3.907	665	380	264	45	8
EUR-USD-GBR	50.015	5.227	692	314	134	27	8
EUR-GBR-JPY	30.357	1.865	212	85	73	21	4
EUR-USD-JPY	266.544	11.111	1604	632	204	38	27
EUR-GBR-CHF	7.412	721	183	155	108	16	4
EUR-JPY-CHF	17.594	1.291	305	229	166	32	21
GBR-CHF-JPY	8.608	426	66	57	50	23	9
GBR-CHF-USD	14.165	1.149	126	68	54	6	0
GBR-USD-JPY	71.994	3.833	422	147	79	17	8
USD-JPY-CHF	16.777	734	94	60	45	12	3
Svi trouglovi	510.124	30.264	4369	2127	1177	237	92

Sa Slike 1. i iz Tabele 2. se može videti da procenat arbitražnih prilika čija je dužina trajanja manja od jedne sekunde varira između 83 i 95 procenata. Ovako kratko vreme trajanja velike većine arbitražnih prilika predstavlja ozbiljno upozorenje za sve one koji pokušavaju da iskoriste arbitražne prilike kao bezrizične profitne prilike.

3.2. Prosečna vrednost valutnog proizvoda arbitražnih prilika

Sledeća statistika koju analiziramo je prosečna vrednost valutnog proizvoda. Statistika za prosečnu vrednost valutnog proizvoda prikazana na Slici 2. i u Tabeli 3.

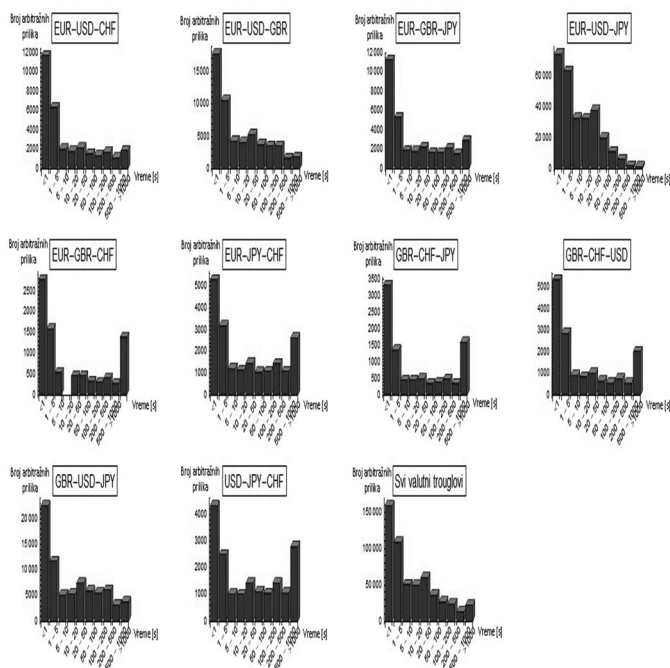
Tabela 3: Prosečna vrednost valutnog proizvoda arbitražnih prilika

	Prosečna vrednost valutnog proizvoda					
	1 - 1.00001	1.00001 - 1.00002	1.00002 - 1.00005	1.00005 - 1.0001	1.0001 - 1.0005	>1.0005
EUR-USD-CHF	10.721	6.247	7.899	4.014	2.860	186
EUR-USD-GBR	27.603	12.620	10.885	3.658	1.484	167
EUR-GBR-JPY	10.299	6.462	8.180	4.216	3.295	164
EUR-USD-JPY	151.472	66.588	49.632	9.449	2.308	693
EUR-GBR-CHF	2.242	1.441	2.240	1.403	1.182	91
EUR-JPY-CHF	5.812	3.879	5.339	2.668	1.807	132
GBR-CHF-JPY	2.009	1.450	2.390	1.623	1.622	145
GBR-CHF-USD	4.407	3.007	4.345	2.370	1.334	105
GBR-USD-JPY	25.222	14.838	19.690	10.120	6.319	309
USD-JPY-CHF	4.730	3.312	5.101	2.788	1.647	147
Svi trouglovi	244.517	119.844	115.701	42.309	23.858	2.139

Prikazani rezultati predstavljaju još jedno upozorenje, pošto u većini slučajeva transakcioni troškovi nadmašuju potencijalni profit prilikom pokušaja eksploatacije arbitražnih prilika. Iz tog razloga će, prilikom predlaganja strategije za trgovanje dalje u radu, jedan od uslova za izvršavanje transakcije biti da je prosečna vrednost arbitražne prilike dostigla određenu vrednost.

3.3. Vreme između arbitražnih prilika

U ovom delu analiziramo vreme koje je proteklo od završetka jedne do početka naredne arbitražne prilike. Drugim rečima, merimo vreme između dve uzastopne arbitražne prilike. Rezultati su prikazani na Slici 3. i u Tabeli 4.



Slika 3. Vreme između arbitražnih prilika

Tabela 4: Vreme između arbitražnih prilika

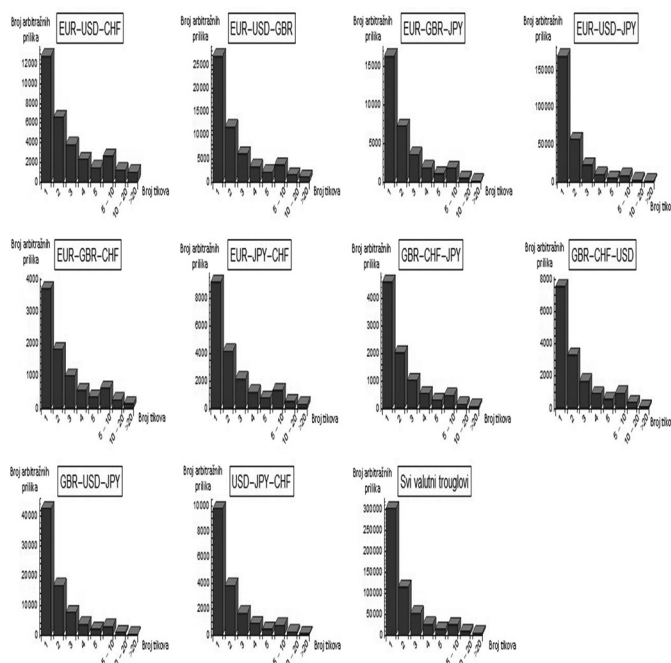
	Vreme do sledeće arbitraže (s)									
	<1	1 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 100	100 - 200	200 - 500	500 - 1000	> 1000
EUR-USD-CHF	11743	6370	2048	1848	2200	1574	1388	1712	1154	1890
EUR-USD-GBR	17764	10587	4313	4116	5329	3821	3498	3520	1648	1821
EUR-GBR-JPY	11292	5310	1922	1857	2273	1658	1652	2129	1575	2949
EUR-USD-JPY	74235	62918	32771	32347	37767	19729	11085	6092	1737	1479
EUR-GBR-CHF	2786	1598	538	466	472	343	303	410	290	1393
EUR-JPY-CHF	5310	3183	1225	1132	1483	1050	1090	1439	1089	2637
GBR-CHF-JPY	3323	1364	451	443	498	356	375	483	350	1596
GBR-CHF-USD	5352	2876	922	844	1010	666	566	759	555	2018
GBR-USD-JPY	22517	11699	5120	5276	7463	5897	5543	6045	3194	3746
USD-JPY-CHF	4319	2484	1021	1003	1439	1102	1046	1429	1076	2806
Svi trouglovi	158641	108389	50331	49332	59934	36196	26546	24018	12668	22335

Rezultati pokazuju da je neka arbitražna prilika vrlo često praćena novom prilikom u kratkom vremenskom periodu. Ovaj podatak može pomoći prilikom predviđanja kada će se arbitražna prilika dogoditi, što je značajan podatak imajući u vidu kratko trajanje arbitražnih prilika. Drugim rečima, ukoliko možemo proceniti verovatnoću da će se arbitražna prilika pojaviti u određenom trenutku, onda je veća i verovatnoća njenog iskorišćenja.

3.4. Broj tikova arbitražnih prilika

Drugi faktor koji određuje trajanje jedne arbitražne prilike je broj cenovnih promena (tikova) koje se dese za vreme arbi-

tražne prilike. Ovaj faktor govori koliko je transakcija trebalo da se desi da bi se arbitražna prilika iskoristila u potpunosti. Što više tikova arbitražna prilika ima, veća je šansa da će biti uspešno iskorišćena. Broj tikova je manje pouzdan metod za određivanje dužine trajanja od samog podatka o vremenskom trajanju, s obzirom da se može desiti da arbitražna prilika koja ima samo jedan tik traje duže od arbitražne prilike koja ima 10 tikova. Imajući ovo u vidu, koristimo isključivo trajanje prilikom određivanja da li arbitražna prilika može biti uhvaćena, dok će broj tikova biti korišćen prilikom određivanja devijacije valutnog proizvoda od njegove srednje vrednosti. Ukoliko arbitražna prilika poseduje veći broj tikova, veća je i njena devijacija. Statistika broja tikova je prikazana na Slici 4. i u Tabeli 5.



Slika 4. Broj tikova arbitražnih prilika

Tabela 5: Broj tikova arbitražnih prilika

	Broj tikova							
	1	2	3	4	5	6-10	11-20	>20
EUR-USD-CHF	12.842	6.566	3.823	2.328	1.479	2.631	1.236	1.022
EUR-USD-GBR	26.856	11.748	6.029	3.282	2.102	3.731	1.549	1.120
EUR-GBR-JPY	16.344	7.221	3.583	1.861	1.076	1.825	543	164
EUR-USD-JPY	169.539	57.488	23.440	10.692	5.557	8.797	2.870	1.777
EUR-GBR-CHF	3.726	1.847	1.002	580	373	643	278	150
EUR-JPY-CHF	9.181	4.171	2.163	1.197	756	1.324	523	323
GBR-CHF-JPY	4.606	2.036	1.019	537	311	486	157	87
GBR-CHF-USD	7.550	3.323	1.723	914	576	969	384	129
GBR-USD-JPY	42.596	16.606	7.605	3.702	1.944	2.963	846	238
USD-JPY-CHF	9.752	3.831	1.704	890	455	763	234	96
Svi trouglovi	302.992	114.837	52.091	25.983	14.629	24.132	8.620	5.106

Više od pola arbitražnih prilika nastane pri promeni samo jednog od tri valutna kursa koja čine valutni trougao i nestane već u narednoj promeni nekog od tri kursa iz trougla.

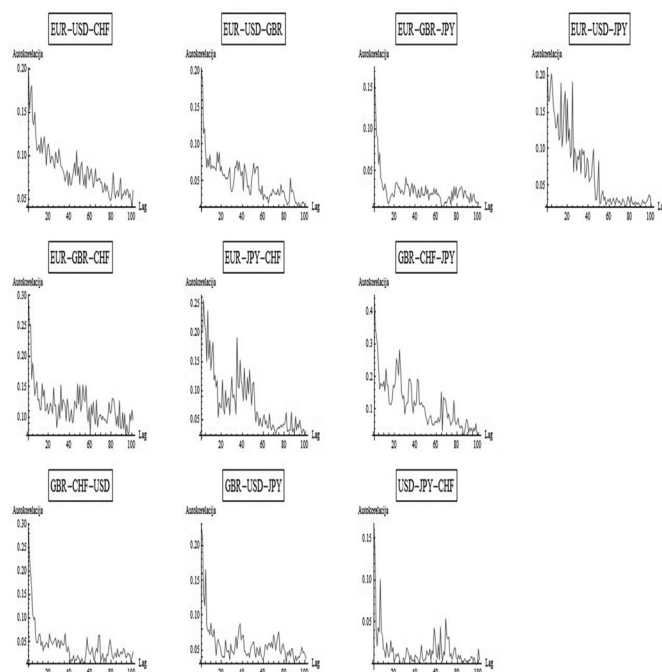
3.5. Korelacije i autokorelacija arbitražnih prilika

U ovom delu ispitujemo postojanje veza između broja tikova, trajanja i srednje vrednosti arbitražnih prilika. Drugim rečima, pokušavamo da korišćenjem korelacija utvrdimo da li je moguće formirati strategiju za trgovanje baziranu na korelaciji između gore navedenih karakteristika arbitražnih prilika. Dobijene korelacije prikazane su u Tabeli 6.

Tabela 6: Korelacije između karakteristika arbitražnih prilika

	Srednja vrednost	Trajanje	Broj tikova
Srednja vrednost	1	0,000437158	0,000207573
Trajanje		1	0,520967
Broj tikova			1

Iz Tabele 6 se može zaključiti da ne postoji korelacija između srednje vrednosti i trajanja arbitražnih prilika, niti između srednje vrednosti i broja tikova. Ovo je argument u prilog tome da se strategija za arbitražno trgovanje ne može definisati tako da iskorišćava samo arbitražne prilike dugog vremenskog trajanja, obzirom da one ne garantuju profit. Stoga, potrebno je obratiti pažnju i na alternativne strategije poput predviđanja trenutka kada će se arbitražna prilika desiti ili na izvršavanje transakcije samo ukoliko je arbitražna prilika dostigla određenu vrednost. Autokorelacije za vremenske serije trajanja sa zakašnjenjem serije do maksimalnih 100 trenutaka prikazane su na Slici 5.



Slika 5. Autokorelacija arbitražnih prilika

4. SISTEM ZA TESTIRANJE PROFITABILNOSTI

U ovom delu ćemo najpre su objašnjene pretpostavke i pojednostavljena vezana za sistem za testiranje arbitražnih strategije i procenu njihovu isplativost koji je uvedem u ovom radu. Nakon toga ćemo izvršena je simulacija trgovanja na istom skupu podataka na kome je izvršena gore prikazana analiza. Tokom eksperimenta menjane su pretpostavke sistema i njegovi parametri. Simulacija predstavlja prolazak kroz sve arbitražne prilike svakog valutnog trougla, beležeći pritom da li je na određenoj arbitražnoj prilici napravljen profit (uspešno iskorišćena arbitražna prilika), gubitak (neuspešno iskorišćena arbitražna prilika) ili je saldo na računu ostao nepromenjen (neuspešno obavljen proces transakcija). S obzirom da smo prilikom analize podataka za deset valutnih parova izdvojili sve arbitražne prilike koje su se pojavile, tokom simulacije nećemo ponovo prolaziti kroz sve tikove, već ćemo pretpostaviti da smo uspešno uočili svaku arbitražnu priliku. Iako su trajanje, srednja vrednost, broj tikova i ostali parametri arbitražnih prilika poznati, pri prolasku kroz njih pretpostavićemo da znamo samo da se arbitražna prilika desila. Tek nakon pokušaja da je iskoristimo uvodimo poznate parametre arbitražne prilike. Sve simulacije i grafici su urađeni u programskom jeziku Wolfram Mathematica 9.0.

4.1. Pretpostavke i parametri sistema

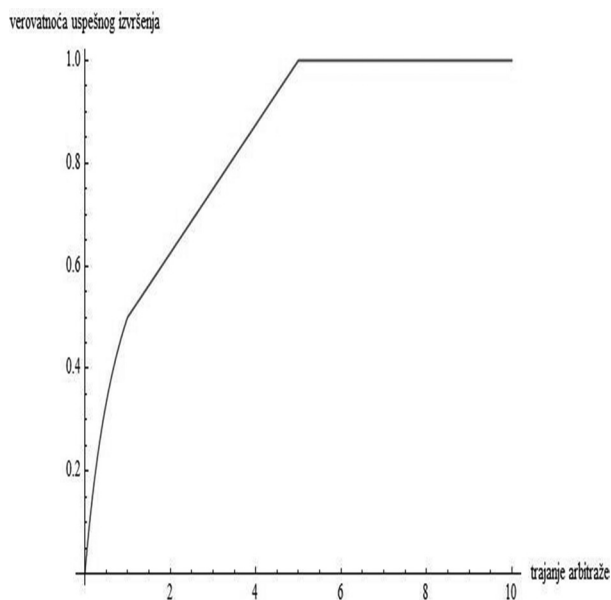
Sistem koji je predstavljen u ovom radu predstavlja pokušaj da se realno analiziraju arbitražne prilike i sve njihove karakteristike bitne za trgovca. U ovom delu rada biće predstavljen sistem, njegovi parametri i pretpostavke o trgovanju. Pretpostavke su bitne jer predstavljaju osnovu za definisanje arbitražnih strategija. Menjanjem tih pretpostavki i samih parametara sistema, pokušaćemo da pronađemo najbolju strategiju za trgovanje kao i granične vrednosti parametara sistema za koje je on profitabilan. Parametri sistema su određeni empirijski.

Početna pretpostavka je da treba iskoristiti svaku arbitražnu priliku koja se ukaže na tržištu. Zbog toga, u našoj analizi uzimamo u obzir sve arbitražne prilike koje smo uočili u posmatranom dvogodišnjem period na tržištu. Sistem je izgrađen na pretpostavci da ne možemo znati kupo-prodajnu cenu (eng. bid-ask price) valutnog kursa u trenutku pojavljivanja arbitražne prilike. Ovo je posledica toga što postoji velika verovatnoća promene neke od cena u posmatranom valutnom trouglu u toku pokušaja da se iskoristi arbitražna prilika. Zbog toga za potrebe simulacije trgovanja koristimo prosečnu cenu. Kasnije će biti uveden pojam odstupanja od srednje vrednosti valutnog proizvoda koje zavisi od broja tikova arbitražne prilike. Sve funkcije i konstante u nastavku teksta su empirijski određene.

4.2. SAP komponenta

SAP funkcija predstavlja verovatnoću uspeha iskorišćenja arbitražne prilike znajući samo njeno trajanje. SAP funkcija je monotono rastuća (do vrednosti od 1) i sadrži dve tačke pre-

giba čije su koordinate na x-osi i . Pretpostavka prilikom kreiranja SAP funkcije je da arbitražne prilike koje traju manje od sekundi imaju verovatnoću uspešnog iskorišćenja , gde je k unapred definisana konstanta. Arbitražne prilike koje traju između i sekundi imaju verovatnoću uspešnog iskorišćenja od do 1 (uz linearni rast). Konačno, arbitražne prilike koje traju duže od s₂ sekundi imaju verovatnoću uspešnog iskorišćenja 1. Primetno je da je SAP funkcija u prvih s₁ sekundi eksponencijalno rastuća, potom linearno rastuća u narednih sekundi, da bi na kraju, nakon sekundi postala konstantna. Razlog za ovakav oblik funkcije je što je u početku () svaki vremenski trenutak jako bitan i značajno povećava verovatnoću uspešnog izvršavanja. To je predstavljeno eksponencijalnim rastom. U vremenskom intervalu između i dodatni vremenski trenutak ne utiče na verovatnoću u istoj meri kao u intervalu . Zato rast iz eksponencijalnog prelazi u linearni. Početne vrednosti za ova tri parametra su , i , dajući SAP funkciji izgled prikazan na Slici 6.

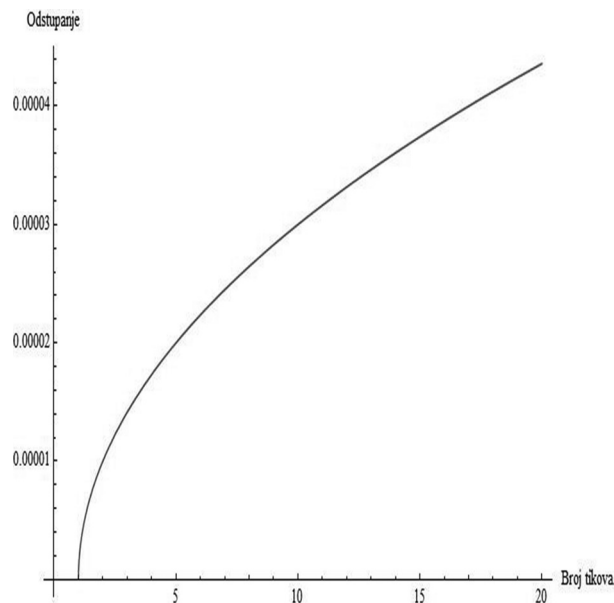


Slika 6. SAP funkcija

Nakon što se korišćenjem SAP funkcije dobije verovatnoća uspešnog izvršenja arbitražnih prilika preko SAP funkcije, izvlači se kvazi slučajan broj u intervalu od 0 do 1, i ukoliko je manji od verovatnoće dobijene pomoću SAP funkcije, transakcija će se smatrati uspešnom.

4.3. DEV komponenta

Neizvesnost po pitanju tačnog trenutka u kome se izvršavaju tri transakcije iskazana je korišćenjem DEV funkcije za izračunavanje odstupanja od srednje vrednosti valutnog proizvoda. Analitički oblik DEV funkcije je , gde je , a je broj tikova arbitražne prilike. Grafički izgled DEV funkcije je predstavljen na Slici 7.



Slika 7. DEV funkcija

Nakon što smo izračunali odstupanje, naredni korak je generisanje kvazi slučajnog realnog broja u rasponu: Devijacija predstavlja ograničena sa donje strane, obzirom da se radi o arbitražnim prilikama. Broj koji je dobijen na ovaj način predstavlja finalnu vrednost arbitraže nakon izvršenja tri transakcije.

4.4. Novčana vrednost transakcije

Novčana vrednost transakcije se izračunava po formuli , gde je procenat ukupne vrednosti novčanog računa koji se koristi za svake tri transakcije sa vrednošću od 0.01 a trenutna vrednost računa. Iz formule se može videti da se za svake tri transakcije odvajaju procenat vrednosti računa trgovca. Kasnije se potencijalni profit ili gubitak dodaje na celokupnu vrednost računa, tako da novac koji učestvuje varira od transakcije do transakcije iz razloga što se početna vrednost računa menja sa svakom transakcijom.

4.5. Tech komponenta - verovatnoća uspešnosti tehničke realizacije transakcije

Verovatnoća da će transakcije biti uspešne sa tehničke strane gledišta (mogući gubitak struje, problem sa vezom, i sl.) je modelovana kao konstanta i iznosi . Ako bilo koja od tri transakcije nije uspešna iz tehničkih razloga, računa se da arbitraža nije obavljena.

4.6. Loss komponenta

Funkcija gubitka (eng. loss), kada arbitražna prilika nije završena do kraja, zavisi od količine sredstava korišćenih u transakcijama () i kvazi slučajnog broja u opsegu od 0.0001 do 0.0005 (). Analitički oblik funkcije je .

4.7. TC komponenta - transakcioni troškovi

Transakcioni troškovi (eng. transaction costs) uspešno izvršenih transakcija, bilo da je arbitražna prilika uhvaćena ili ne, se računaju po formuli , gde je procenat za tri transakcije (eng. percenage on investment), a količina novca sa kojom se ulazi u transakcije. Radi pojednostavljenja sistema, transakcioni troškovi su računati zbirno za sve tri transakcije, umesto da važe za jednu transakciju.

5. TESTIRANJE PROFITABILNOSTI

Prva simulacija rada sistema izvršena pod sledećim pretpostavkama (savršenim uslovima):

- Svaka arbitražna prilika će biti uočena sa verovatnoćom od 100% (nema SAP dela sistema).
- Ne postoji devijacija od srednje vrednosti arbitražnog proizvoda (nema DEV dela sistema).
- Svaka transakcija će biti izvršena sa 100% verovatnoćom (nema Tech dela sistema).
- Ne postoji gubitak pri neuspešno uočenoj arbitražnoj prilici (nema Loss dela sistema).
- Transakcioni troškovi su zanemarljivi, odnosno 0 (nema TC dela sistema).

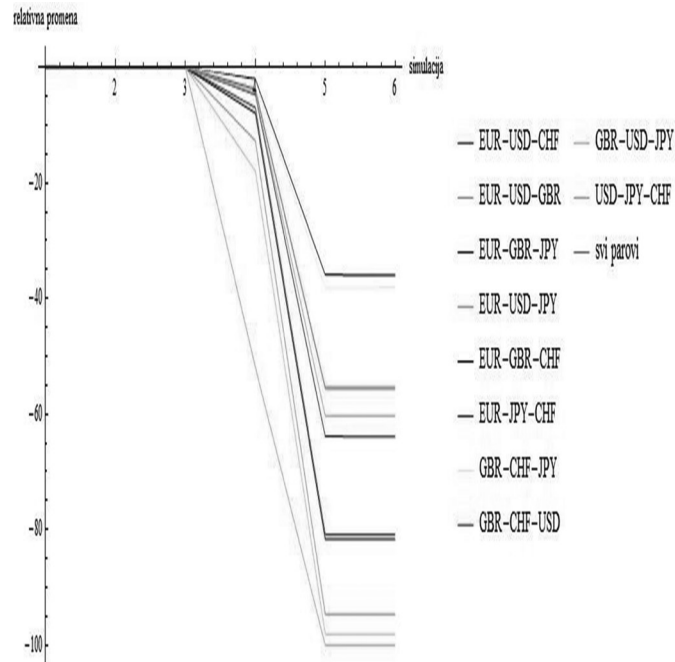
Rezultati simulacije pod savršenim uslovima su dati u Tabeli 7.

Tabela 7: Korelacije između karakteristika arbitražnih prilika

	Početni balans [\$]	Krajnji balans [\$]	Rel. promena [%]
EUR-USD-CHF	1.000.000	1.00032 x 10 ⁶	0.032
EUR-USD-GBR	1.000.000	1.00057 x 10 ⁶	0.057
EUR-GBR-JPY	1.000.000	1.00033 x 10 ⁶	0.033
EUR-USD-JPY	1.000.000	1.00281 x 10 ⁶	0.281
EUR-GBR-CHF	1.000.000	1.00009 x 10 ⁶	0.009
EUR-JPY-CHF	1.000.000	1.00020 x 10 ⁶	0.020
GBR-CHF-JPY	1.000.000	1.00009 x 10 ⁶	0.009
GBR-CHF-USD	1.000.000	1.00016 x 10 ⁶	0.016
GBR-USD-JPY	1.000.000	1.00077 x 10 ⁶	0.077
USD-JPY-CHF	1.000.000	1.00018 x 10 ⁶	0.018
Svi trouglovi	10.000.000	1.00055 x 10 ⁷	0.552

Nabrojani uslovi predstavljaju idealne uslove koji na tržištu koji često nisu ostvarivi. Zbog toga su postepeno uklanjane ove pretpostavke i dodavani delove sistema kako bi simulacija bila izvršena pod što realnijim uslovima. Pod realnim uslovima se smatra korišćenje sistema za simulaciju sa svim njegovim komponentama. Simulacija pod realnim uslovima je urađena tako što je svaka simulacija ponovljena 100 puta, i na kraju je uzeta srednja vrednost za svaku relativnu promenu, broj pozitivnih i negativnih transakcija. Prvo je ponovljena simulacija

pod savršenim uslovima, a nakon toga je dodavana jedna po jedna komponenta. U prvoj simulaciji je dodata SAP komponenta, u drugoj Tech komponenta, u trećoj Loss komponenta, u četvrtoj TC komponenta, a u petoj simulaciji DEV komponenta. Rezultati simulacije su prikazani na Slici 8.



Slika 8. Simulacija pod realnim uslovima

Nakon analiziranja svih šest koraka možemo zaključiti da jedino SAP funkcija utiče na broj pozitivnih i negativnih transakcija. Na stanje sredstava na računu utiču Loss funkcija i transakcioni troškovi, s tim što transakcioni troškovi utiču u mnogoj većoj meri nego Loss funkcija. DEV i Tech komponente ne utiču u dovoljnoj meri da bi ih smatrali relevantnim za krajnji ishod. Ipak, one doprinose vernijoj simulaciji realnih uslova trgovanja, pogotovu DEV funkcija, čiji se uticaj ne vidi ovde iz razloga što je broj transakcija veliki. Prilikom manjeg broja transakcija, DEV funkcija ima značajniju ulogu.

6. STRATEGIJE ZA TRGOVANJE

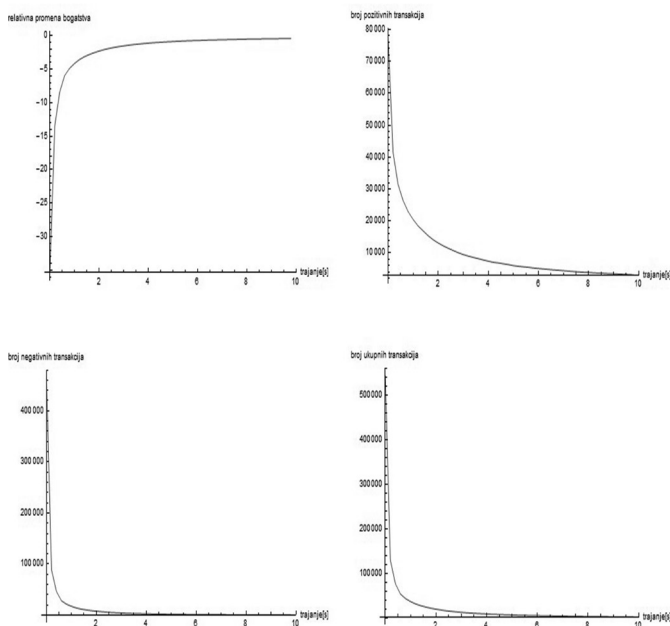
U ovom delu predložene i testirane su strategije za trgovanje. Pod strategijom se podrazumeva skup odluka u obliku “ako-onda” koje predhode početku trgovanja i koje imaju za cilj da povećaju profitabilnost trgovanja. U narednim sekcijama predložemo i testiramo tri različite strategije. Prva je strategija koja uslov za izvršavanje transakcije postavlja u vidu dužine trajanja arbitražne prilike. Druga strategija kao uslov postavlja vrednost valutnog proizvoda, a treća vremenski period u kome se arbitražna prilika desila.

6.1. Izvršavanje transakcija na osnovu dužine trajanja arbitražne prilike

Prva od strategija koja je testirana polaže na to da se transakcije ne izvršavaju ukoliko arbitražna prilika ne traje već

određeno vreme (uslovno trajanje), obzirom da postoji veliki broj arbitražnih prilika čije je trajanje ispod jedne sekunde, i samim tim je teško izvršiti tri potrebne transakcije pre nego što arbitražna prilika nestane. Prednost ove strategije je što ćemo ovim pristupom značajno umanjiti rizik od potencijalnog gubitka usled nedovršene arbitraže. S druge strane, mana je što takođe smanjujemo prostor za profit time što ćemo izbegavati sve arbitražne prilike koje traju manje od sekundi, i samim tim smanjiti profit koji bi napravili ukoliko bi učestvovali u nekim od tih transakcija. U slučaju izvršavanja transakcija kada arbitražne prilike traju duže od 1 sekunde, u proseku se ulazi u 3.827 transakcija po valutnom trouglu. Ukoliko arbitražne prilike traju duže od 5 (10) sekundi, u proseku se ulazi u 800 (363) transakcija. To je značajno manje od prosečnih 54.839 transakcija po valutnom trouglu u koje smo ulazili dok nismo stavili trajanje kao uslov za izvršavanje transakcije.

Sada ćemo testirati profitabilnost modela pod pretpostavkom da ćemo sačekati sekundi nakon što se arbitražna prilika pojavi, i tek onda ući u transakcije. će biti u rasponu od 0 do 9.8 sekundi sa korakom od 0.2. Prilikom testiranja beležimo relativnu promenu vrednosti računa, kao i broj pozitivnih i negativnih transakcija. Rezultati simulacije su prikazani na Slici 9.

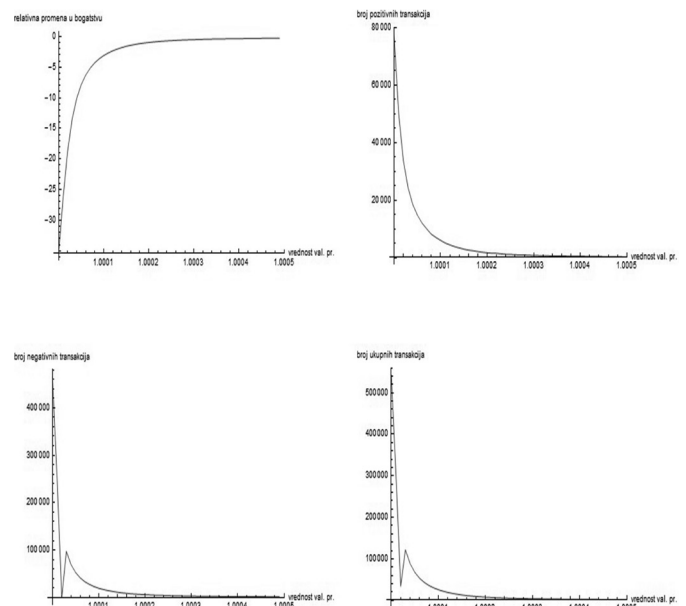


Slika 9. Simulacija izvršavanja transakcija na osnovu dužine trajanja arbitražne prilike

Sa slike zaključujemo da povećanje uslovnog trajanja arbitražnih prilika dovodi do smanjenja gubitka. Gubitak je smanjen sa početnih 35% na 4% sa povećanjem uslovnog trajanja sa 0 na 1 sekundu. Potom je smanjen na 1% u dodatnih 3 sekunde. Nakon toga, povećanje uslovnog trajanja prouzrokuje manje promene gubitka. U narednih 7 sekundi gubitak je smanjen za dodatnih 0.7%.

6.2. Izvršavanje transakcija na osnovu srednje vrednosti arbitražne prilike

Druga strategija polaze na to da se transakcije ne izvršavaju ukoliko arbitražna prilika ne dostigne određenu uslovnu vrednost. Logika iza ove strategije je pokušaj da se izbegne zaključavanje novca u transakcije koje neće doneti veliki profit. U poglavlju 3.6. je pokazano da korelacija između trajanja i srednje vrednosti arbitražnih prilika skoro da ne postoji. Ovo nam govori da ulaženjem u arbitražne prilike koje imaju visoku prosečnu vrednost ne znači da ćemo uspeti da ih uspešno iskoristimo pre nego što nestanu. Ipak, koristeći ovu strategiju želimo da proverimo da li možemo da uz smanjen broj transakcija poboljšamo učinak ili makar da postignemo isti rezultat kao i pri običnoj simulaciji pri realnim uslovima. Obzirom da mi za svaku arbitražnu priliku posedujemo njenu srednju vrednost, očigledno je da je problematično koristiti ovu vrednost kao okidač za izvršavanje transakcija jer ne znamo u kom trenutku je kritična vrednost dostignuta. S toga uvodimo sledeće uslove za izvršavanje transakcija: arbitražne prilike koje traju jedan tik i imaju srednju vrednost koja je veća ili jednaka uslovnoj vrednosti ćemo odmah pokušati da iskoristimo. Za arbitražne prilike koje imaju veći broj tikova uvodimo dva nova pravila: što je srednja vrednost arbitražne prilike bliža uslovnoj vrednosti sa leve strane, to je veća šansa da ćemo pokušati da iskoristimo arbitražnu priliku. Takođe, što je broj tikova arbitražne prilike veći, uzećemo veći deo njenog originalnog trajanja kao trajanje preko koga ćemo računati verovatnoću uspešnog iskorišćenja arbitražne prilike preko SAP funkcije. Uslovna vrednost koja predstavlja uslov za izvršavanje arbitražne prilike je u rasponu od 0 do 49×10^{-5} sa korakom od 1×10^{-5} . Rezultati simulacije su predstavljeni na Slici 10.



Slika 10. Simulacija izvršavanja transakcija na osnovu srednje vrednosti arbitražne prilike

Sa slike zaključujemo da povećanje uslovne vrednosti kao uslova za izvršavanje arbitražne prilike dovodi do smanjenja gubitka pri realnim uslovima. Gubitak je smanjen sa početnih 35% na 8% povećanjem uslovne vrednosti sa 1 na 1.00005 . Potom je smanjen na 3% uz dodatno povećanje od 5×10^{-5} . Nakon toga, povećanje uslovne vrednosti prouzrokuje manje promene gubitka. Sa narednim povećanjem uslovne vrednosti od 40×10^{-5} , gubitak je smanjen za dodatnih 2.7%.

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio da se otkrije da li se arbitražne prilike mogu iskoristiti na međunarodnom deviznom tržištu. Stoga, predstavljen je sistem koji simulira realizaciju arbitražnih prilika pod određenim uslovima koji vladaju na tržištu. Sistem se sastoji od više komponente koje za cilj imaju da simulacija trgovanja bude izvršena pod što realnijim uslovima. Performanse sistema zavise i od nekoliko parametara čije su vrednosti empirijske postavljene. U zavisnosti od vrednosti parametara i uključenosti komponenti, sistem može da prepozna arbitražne prilike, kao i da simulira njihovu realizaciju pod različitim uslovima. Predloženi sistem je najpre testiran pod savršenim uslovima, pri čemu je ustanovljen neznatan profit na svim valutnim parovima. U slučaju simulacije pod realnim uslovima, ustanovljen je značajan gubitak na svim valutnim parovima. Zaključeno je da je gubitak u najvećoj meri uzrokovan visinom transakcionih troškova.

Dalje u radu analizirane su dve strategije za trgovanja sa ciljem da se utvrdi pod kojim okolnostima se arbitražne prilike mogu uspešno realizovati. Prva strategija je zasnovana na trajanju arbitražnih prilika, dok druga izvršava transakcije na osnovu sredne vrednosti prilike. Predložene strategije omogućavaju dublje razumevanje problema i uslova na tržištu i posledično ostvaruju značajno bolje rezultate. U slučaju prve strategija, zaključeno je da se gubitak u velikoj meri smanjuje promenom uslova za izvršavanje transakcija na osnovu njenog trajanja. To je posebno izraženo u slučaju povećanja uslova za izvršavanje sa 0 na 1 sekundu trajanja. Slični zaključci su doneti i pri radu sa strategijom za izvršavanje transakcija na osnovu srednje vrednosti. Naime, pokazano je da se gubitak drastično smanjuje čak i za minimalna povećanja uslova za izvršavanje transakcija.

Na osnovu dobijenih rezultata može se konstatovati da arbitražne prilike postoje na međunarodnom deviznom tržištu. Ipak, njihovo postojanje nema većeg uticaja na efikasnost tržišta. Razlog za to je sto su arbitražne prilike kratkog trajanja i slabog intenziteta. Moguće ih je iskoristiti, ali imajući u vidu transakcione troškove i ostale činioce na tržištu, pri realnim uslovima, profit nije zabeležen. Glavni pravac daljeg rada je kombinovanje dve prikazane strategije kako bi se dalje unapredili rezultati. Takođe, u toku je rad na utvrđivanju sezonalnosti arbitražnih prilika.

8. REFERENCE

- [1] Callier, P. One Way Arbitrage, Foreign Exchange and Securities Markets: A Note, The Journal of Finance 36, 1177-1186, 1981
- [2] Deardorff, A. V., One-way arbitrage and its implications for the Foreign Exchange Markets, Journal of Political Economy 87, 351-364, 1979
- [3] Ghon Rhee, S., Chang, R. P., Intra-day arbitrage opportunities in Foreign Exchange and Eurocurrency Markets, The Journal of Finance 47,363-379,1992

- [4] Werner, J., Arbitrage, bubbles, and valuation, International Economic Review 38, 453-464, 1997
- [5] Akram, F., Rime, D., Sarno, L., Arbitrage in the foreign exchange market: Turning on the microscope, Journal of International Economics 76, 237-253, 2008
- [6] Ohira, T., Sazuka, N., Marumo, K., Shimizu, T., Takayasu, M., Takayasu, H., Predictability of currency market exchange, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 308, 368-374, 2002
- [7] Sato, A., Frequency analysis of tick quotes on foreign currency markets and the double-threshold agent model, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 369, 753-764, 2006
- [8] Hirata, Y., Aihara, K., Timing matters in foreign exchange markets, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 391, 760-766, 2012
- [9] Mizunoa T., Kuriharaa, S., Takayasub, M., Takayasuc H., Analysis of high-resolution foreign exchange data of USD-JPY for 13 years. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 324, 296-302, 2003
- [10] Kollias, C., Metaxas K., How efficient are FX markets? Empirical evidence of arbitrage opportunities using high-frequency data, Applied Financial Economics 11, 435-444, 2001
- [11] Aibaa, Y., Hatano, N., Triangular arbitrage in the foreign exchange market, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 344, 174-177, 2004
- [12] Aibaa, Y., Hatanoa, N., Takayasub, H., Marumoc, K., Shimizud, T., Triangular arbitrage as an interaction among foreign exchange rates, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 310, 467-479, 2002
- [13] Aibaa, Y., Hatanoa, N., Takayasub, H., Marumoc, K., Shimizud, T., Triangular arbitrage and negative auto-correlation of foreign exchange rates, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 324, 253-257, 2003
- [14] Choi, M. S., Momentary exchange rate locked in a triangular mechanism of international currency, Applied Economics 43, 2079-2087, 2009
- [15] Fenn, D. J., Howison, S. D., The Mirage of triangular arbitrage in the spot foreign exchange market. International Journal of Theoretical and Applied Finance 12, 1105-1123, 2009
- [16] Goldstein, H. N. The implications of triangular arbitrage for forward exchange policy, The Journal of Finance 19, 544-551, 1964
- [17] Grubel, H. G., Triangular arbitrage and forward exchange policy: reply, The Journal of Finance 19, 552-554, 1964



Jelinek Srđan, Quantitative Developer, Fidelity Information Services

Kontakt: srdjanjelinek@gmail.com

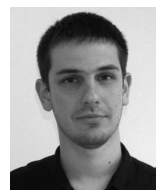
Oblasti interesovanja: kvantitativne finansije, upravljanje rizikom, algoritamsko trgovanje, mašinsko učenje



Rakićević Aleksandar, asistent, Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu

Kontakt: aleksandar.rakicevic@fon.bg.ac.rs

Oblasti interesovanja: računarska inteligencija, mašinsko učenje, dinamika i modelovanje sistema, finansijsko modelovanje



Milošević Pavle, asistent, Fakultet organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu

Kontakt: pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs

Oblasti interesovanja: računarska inteligencija, mašinsko učenje, heurističke metode optimizacije, analiza vremenskih serija