

MATEMATIKA IZVAN MATEMATIKE

Izračun rizične vrijednosti – VaR

DUŠAN MUNĐAR¹ I ANA ZEMLJAK²

Sažetak. Cilj rada je prikazati jedan model za kvantifikaciju rizika i tri metode za izračun rizične vrijednosti, kvantitativne mjere rizika. Metode izračuna rizične vrijednosti (eng. Value at Risk, skraćeno VaR) statističke su metode pomoću kojih se mjeri i upravlja razinom financijskog rizika investicijskog portfelja kroz određeni vremenski period. U radu ukratko opisujemo povijest kvantitativnog modeliranja rizika i pojam rizične vrijednosti. U nastavku prikazujemo tri metode kvantificiranja rizične vrijednosti: povijesnu metodu, parametarsku metodu (metoda varijance i kovarijance) i pojednostavljenu Monte Carlo simulaciju. Izračuni su prikazani na primjerima. Izračuni rizika gubitka vrijednosti provedeni su na portfelju od pet hrvatskih dionica na dnevnoj osnovi, uz razinu vjerojatnosti od 95 %. Rezultati triju metoda daju slične rezultate, ali svaki od pristupa ima prednosti i mane.

Ključne riječi. rizična vrijednost, VaR (Value at Risk), dobitci/gubitci, povijesna metoda, parametarska metoda, Monte Carlo simulacija

1. Uvod

Upoznavanje rizika kojima su organizacija ili pojedinac izloženi prvi je korak uspješnog upravljanja rizicima te smanjenju njihovih potencijalnih učinaka. Radi uspješnije komunikacije najvažnije komponente rizika, vjerojatnost nastajanja i potencijalni utjecaj na organizaciju, obično se prikazuju tablično. U situaciji gdje događaji nastaju često, ali događajima nije unaprijed poznat intenzitet, pokazala se potreba i mogućnost izrade modela za kvantificiranje rizika. Jedna od takvih situacija jest promjena cijena na tržištu. Tržišni rizik je rizik koji se manifestira uslijed promjena na tržištu, koje mogu dovesti do gubitka vrijednosti investicije (imovine) i samim time organizacija ima interes mjeriti izloženost tom riziku. Model rizične vrijednosti (eng. Value At Risk – VaR) i metode za mjerenje rizične vrijednosti nastali su prvenstveno za kvantifikaciju tržišnog rizika. Tijekom razvijanja sustava mjerenja rizične vrijednosti izdvojila su se tri glavna načina mjerenja rizične vrijednosti, a to su: povijesna metoda, parametarska metoda (metoda varijance i kovarijance) i Monte Carlo simulacija. Kvantifikacija rizične vrijednosti u financijskoj industriji iznimno je bitna za upravljanje portfeljem i izračunom adekvatnosti kapitala, tj. određivanje potrebnih financijskih pričuva za zaštitu od tržišnog rizika.

¹Dušan Munđar, Fakultet organizacije i informatike, Sveučilište u Zagrebu

²Ana Zemljak, Fakultet organizacije i informatike, Sveučilište u Zagrebu

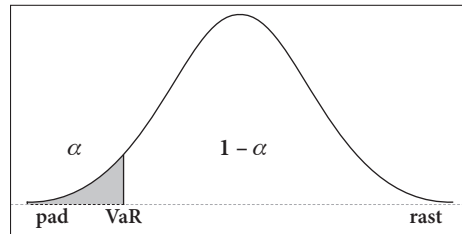
2. Povijest rizične vrijednosti

Početak analiziranja tržišnog rizika kreće razvojem teorije sastavljanja portfelja. Leavens je 1945. godine svojim radom objavio jedno od prvih kvantificiranja rizika. Daljnji razvoj kvantifikacije tržišnog rizika napravili su nezavisno Markowitz i Roy u pedesetima. Razvoju teorije kvantifikacije tržišnog rizika u narednim godinama pridonijeli su i drugi znanstvenici, od kojih su neki dobili i Nobelovu nagradu za ekonomiju. Neki od najpoznatijih su William Sharpe, Jack Treynor, John Lintner. Model rizične vrijednosti, u obliku prikazanom u ovom radu, začet je ranih osamdesetih godina prošlog stoljeća kada investicijska banka J. P. Morgan razvija mjerenje rizične vrijednosti unutar svoje kompanije. Tadašnji direktor J. P. Morgana (D. Weatherstone) zahtijeva od analitičara dnevni izračun izloženosti riziku. Jedan od arhitekata koncepta rizične vrijednosti koji se danas koristi bio je Till Guldemann koji je u to vrijeme bio zadužen za analizu imovine i obaveza. U ranim devedesetima model je prezentiran izvan kompanije. Od 1994. godine model pod nazivom RiskMetrics, koji se sastojao od detaljnih tehničkih dokumenata uz matricu kovarijance za nekoliko stotina ključnih faktora koji su se dnevno ažurirali, objavljen je na internetu te je pobudio značajan interes za metodu i njenu upotrebu. Na daljnju popularizaciju modela utječe Bazelski odbor za superviziju banaka koji je 1996. godine izdao direktivu o adekvatnosti kapitala te odredio bankama da moraju biti sposobne podnijeti gubitke na vlastitom tržišnom portfelju, a za što je primjena modela rizične vrijednosti vrlo prikladna. Više o povijesti metode može se između ostalog pročitati u [1].

3. Pojam rizične vrijednosti

Rizična vrijednost je fleksibilna mjera rizika koja je specificirana za razdoblje h (generalno između 1 dana i 1 mjeseca) i s razinom vjerojatnosti α (između 90 – 99 %), a može se izraziti kao postotak tržišne vrijednosti ili u apsolutnom iznosu (npr. kn). Ona je aproksimacija budućeg maksimalnog potencijalnog gubitka na portfelju s određenom vjerojatnošću, pri čemu se maksimalni gubitak iskazuje jednom brojkom. Dakle, radi se o jedinstvenoj, sažetoj statističkoj mjeri mogućih gubitaka vrijednosti portfelja koja određuje graničnu vrijednost za koju vrijedi da se rizični događaji s većim gubitkom događaju s manjom od unaprijed određene vjerojatnosti $1-\alpha$. Prema najpoznatijem edukativnom web portalu iz područja financija, *Investopedia* [2], rizična vrijednost je statistička metoda koja služi za mjerenje i upravljanje razinom financijskog rizika unutar tvrtke ili određenog investicijskog portfelja u određenom

Distribucija rasta/pada vrijednosti portfelja u promatranom vremenskom periodu



Rast/pad vrijednosti portfelja

Slika 1: Rizična vrijednost (VaR) i raspodjela distribucija rasta/pada vrijednosti portfelja

vremenskom razdoblju. Rizičnom vrijednosti može se utvrditi izloženost rizicima kao što su: valutni rizik, rizik od promjene kamatne stope, rizik promjene cijene, rizik likvidnosti i mnogi drugi rizici koji se pojavljuju na tržištu kapitalom.

4. Metode izračuna rizične vrijednosti

Razvojem sustava za mjerenje rizične vrijednosti izdvojile su se tri dominantne metode izračuna rizične vrijednosti, a to su: povijesna metoda, parametarska metoda (metoda varijance i kovarijance) te Monte Carlo simulacija. U nastavku, u pojednostavljenom obliku, prikazujemo teorijske osnove i primjer izračuna rizične vrijednosti tim metodama.

4.1. Povijesna metoda

Najjednostavnija metoda za izračun rizične vrijednosti je povijesna metoda. Povijesna metoda spada u skupinu neparametarskih metoda procjene rizične vrijednosti. Temelji se na pretpostavci da će prinosi u budućnosti biti vrlo slični prinosima iz nedavne prošlosti, tj. da će se moći prognozirati rizik u bliskoj budućnosti pomoću podataka iz prošlosti.

Neka se promatrani portfelj sastoji od N vrijednosnica. Za svaku vrijednosnicu i iz portfelja neka postoje opaženi prinosi $R_{i,t}$ za n razdoblja. Simulirani povrat portfelja za jedno razdoblje (t) tada je:

$$R_t = \sum_{i=1}^N \omega_i R_{i,t}$$

gdje je w_i udio imovine uložen u vrijednosnicu i , $R_{i,t}$ – povrat na vrijednosnicu i u razdoblju t .

Navedena formula daje povijesno simulirane scenarije povrata za sadašnji portfelj, te služi kao osnova za izračun rizične vrijednosti putem povijesne metode.

Rizična vrijednost na razini vjerojatnosti α % tada je $(100-\alpha)$ percentil, odnosno vrijednost ispod koje se nalazi $(100-\alpha)$ % vrijednosti. Vrijednost parametra α najčešće je 95.

4.2. Parametarska metoda (metoda varijance i kovarijance)

Parametarska metoda je najčešće korištena metoda za izračun rizične vrijednosti. Temelji se na pojednostavljenim pretpostavkama kretanja tržišnih cijena i karakteristika portfelja. Pri izračunu se pretpostavlja da distribucija povrata odgovara jednoj od teoretskih distribucija, poput normalne distribucije. Rizična vrijednost za tržišni rizik jedne dionice, primjenjujući pretpostavku o normalnosti dobitaka/gubitaka ili prinosa, izračunava se procjenom dvaju parametara:

- očekivane vrijednosti dobitaka/gubitaka ili stopa prinosa promatranog portfelja i
- standardne devijacije promatranih dobitaka/gubitaka ili stopa prinosa.

Rizična vrijednost može se izračunati za portfelj procjenjujući očekivane vrijednosti i standardne devijacije svake dionice (temeljem povijesnih podataka), ali pri tome uvažavajući korelaciju dobitaka ili povrata među dionicama procjenom matrice korelacije ili matrice varijanci/kovarijanci.

Metoda izračuna rizične vrijednosti za portfelj, uz pretpostavku da su opisani multivarijantnom normalnom distribucijom, započinje procjenom parametara:

- utvrđivanje očekivanih prinosa i standardnih devijacija prinosa,
- procjena matrice varijanci/kovarijanci prinosa.

Sljedeći korak je izračunavanje koeficijenta korelacije između standardiziranih pozicija. Koeficijent korelacije izračunava se kao odnos kovarijance prinosa dionica te umnoška standardnih devijacija prinosa promatranih dionica.

$$\rho(R_i, R_j) = \frac{\text{cov}(R_i, R_j)}{\sigma(R_i)\sigma(R_j)}$$

Kada su poznati udjeli pojedinih dionica u ukupnoj poziciji portfelja w_i standardne devijacije $\sigma_1, \dots, \sigma_n$ i korelacije ρ_{ij} ($i, j \in \{1, \dots, n\}$) standardiziranih pozicija, standardna devijacija portfelja izračunava se prema formuli teorije portfelja kao:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n \omega_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j<i}^n \rho_{i,j} \omega_i \omega_j \sigma_i \sigma_j}$$

Primjerice, izračun standardne devijacije portfelja koji se sastoji od dvije dionice prikazan je sljedećom formulom:

$$\sigma_p(R) = \sqrt{\omega_1^2 \sigma_1^2 + \omega_2^2 \sigma_2^2 + 2\omega_1 \omega_2 \rho_{1,2} \sigma_1 \sigma_2}$$

Mjera rizične vrijednosti tada se izračunava putem sljedeće formule:

$$\text{VaR} = (\mu - \sigma_p \alpha)P,$$

pri čemu je prosječni (očekivani) povrat portfelja μ za jedinično razdoblje, P inicijalna tržišna vrijednost portfelja, σ_p standardna devijacija portfelja, α vrijednost standardizirane normalne distribucije određene razine vjerojatnosti. Kako je prosječni (očekivani) povrat portfelja za mala razdoblja približno nula, nerijetko se izostavlja iz formula za rizičnu vrijednost.

4.3. Monte Carlo simulacija

Monte Carlo simulacija najpreciznija je metoda procjene maksimalnog gubitka, a poznata je još i kao metoda statističke simulacije, gdje se statistička simulacija definira kao bilo koja metoda koja koristi sekvence slučajnih brojeva za izvođenje simulacije.

Monte Carlo simulacija vrlo je slična povijesnoj metodi jer se kod izračuna koriste pretpostavke o budućem riziku dobivene na temelju povijesnih podataka. Razlika

je što se hipotetske promjene tržišnih faktora ne stvaraju na temelju prošlih opaženih promjena već se statističkom simulacijom na adekvatan način generiraju povrti slični onima iz prošlosti.

Također, nakon dobivene simulacije rizična se vrijednost određuje uz određenu razinu vjerojatnosti kao u povijesnoj metodi. Metoda dopušta upotrebljavanje procjene parametara teorijskih distribucija temeljem povijesnih podataka uz uvažavanje tržišnih očekivanja, čime može postati zahtjevnija i preciznija po potrebi. Za izračun u ovom radu koristimo jednostavnu verziju koja za polazište ima povijesnu metodu, a nadograđena je upotrebom simulacija.

5. Izračun rizične vrijednosti

Izračun rizične vrijednosti dionica, proveden prema povijesnoj i parametarskoj metodi te pojednostavljenoj metodi Monte Carlo simulacije, na dnevnoj je osnovi, uz razinu pouzdanosti od 95 %. Korišteni su podatci za razdoblje od 22. 8. 2012. do 31. 8. 2016. godine. Cijene dionica preuzete su s web stranice Zagrebačke burze [4], a odabirane dionice kotiraju na Zagrebačkoj burzi duže od pet godina i uvrštene su u indeks CROBEX na dan 31. 8. 2016. Odabrane dionice su: ADRS-P-A: Adris d.d.; ATGR-R-A: Atlantic Grupa d.d.; DDJH-R-A: Đuro Đaković Holding d.d.; ERNT-R-A: Ericsson Nikola Tesla d.d.; KRAS-R-A: Kraš prehrambena industrija d.d.

5.1. Analiza rezultata rizične vrijednosti primjenom povijesne metode

Izračun povijesnom metodom za portfelj od 5 odabranih dionica ($n = 5$) uz razinu vjerojatnosti od 95 % temelji se na dnevnim promjenama cijena u razdoblju od 23. 8. 2012. godine do 31. 8. 2016. godine. Povijesni podatci prikupljeni kroz navedeno razdoblje daju 1 000 dnevnih povrata (N). Izračun rizične vrijednosti provodimo za portfelj inicijalne vrijednosti 100 000.00 kn pri čemu je ulaganje u svaku dionicu 20 000.00 kn.

Portfelj		Iznos uloga (kn)	težinska vrijednost
Dionica 1	ADRS-P-A	20 000.00	0.20
Dionica 2	ATGR-R-A	20 000.00	0.20
Dionica 3	DDJH-R-A	20 000.00	0.20
Dionica 4	ERNT-R-A	20 000.00	0.20
Dionica 5	KRAS-R-A	20 000.00	0.20
Zbroj:		100 000.00	1.00

Tablica 1. Prikaz ulaganja u portfelj s pripadajućom težinskom vrijednošću

Datum	Cijene				
	Dionica 1 ADRS-P-A	Dionica 2 ATGR-R-A	Dionica 3 DDJH-R-A	Dionica 4 ERNT-R-A	Dionica 5 KRAS-R-A
31. 8. 2016.	406.00	822.00	51.00	1095.77	515.00
30. 8. 2016.	410.00	815.55	51.39	1067.06	510.00
.
24. 8. 2012.	215.50	468.00	70.40	1093.00	400.50
23. 8. 2012.	216.00	468.00	70.36	1102.97	375.06

Tablica 2. Prikaz povijesnih cijena dionica

Nakon prikupljanja povijesnih podataka, računajući relativnu promjenu vrijednosti dionica, određeni su dnevni povrati dionica

$$R_{t,i} = \frac{P_{t,i} - P_{t-1,i}}{P_{t-1,i}}$$

Dnevni povrati				
Dionica 1 ADRS-P-A	Dionica 2 ATGR-R-A	Dionica 3 DDJH-R-A	Dionica 4 ERNT-R-A	Dionica 5 KRAS-R-A
-0.0098	0.0079	-0.0076	0.0269	0.0098
0.0166	-0.0054	-0.0031	-0.0027	-0.0097
.
-0.0023	0.0000	0.0006	-0.0090	0.0678
0.0000	0.0263	-0.0034	-0.0119	-0.0130

Tablica 3. Prikaz dnevnih povrata dionica

Sljedeći korak je izračun povrata portfelja. Povrat portfelja je težinski prosjek povrata dionica, pri čemu su težine relativni udjeli pojedinih dionica u portfelju. U našem slučaju relativni udio svake dionice je 20%.

$$R_t = \sum_{i=1}^n \omega_i R_{t,i}$$

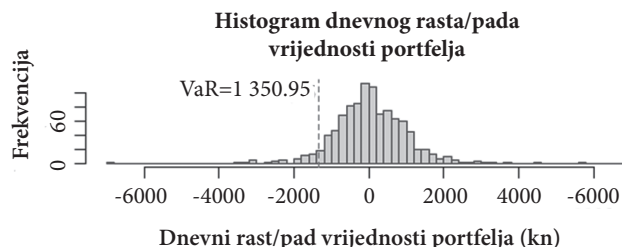
w_i – udio imovine trenutno uložen u vrijednosnicu (i)

$R_{i,t}$ – povrat na vrijednosnicu (i) u razdoblju (t)

Povrat portfelja	Sortirani povrati portfelja	Redni broj opažanja	Dnevni dobitak/gubitak
0.0055	-0.0686	1	-6 858.39
-0.0009	-0.0356	2	-3 557.12
.	.	.	.
0.0114	0.0563	999	5 633.09
0.0044	0.0563	1000	5 633.09

Tablica 4. Prikaz povrata portfelja i dobivenih dobitaka/gubitaka

Nakon dobivenih dnevnih povrata portfelja sortiramo povrate prema iznosu te izračunamo dnevni rast/pad vrijednost portfelja. Slika 1. prikazuje histogram i kumulativnu funkciju distribucije dnevnih dobitaka/gubitaka portfelja.



Slika 2. Histogram dnevnih dobitaka/gubitaka

Za promatrani portfelj postoji 0.1 % mogućnosti za gubitak veći od 6 858.39 kn i 0.1 % mogućnosti da će dobitak biti veći od 5 633.09 kn tijekom jednog trgovanja.

Rizična vrijednost daje odgovor na pitanje koliki je maksimalni mogući gubitak uz određenu razinu vjerojatnosti. U uzlazno sortiranom nizu vrijednosti očita se vrijednost na 50. mjestu ($1000 \cdot 0.05$). Prema izračunu za promatrani portfelj rizična vrijednost uz razinu vjerojatnosti od 95 % iznosi 1 350.95 kn, tj. postoji 5 % vjerojatnosti da se u jednom danu izgubi više od 1 350.95 kn.

5.2. Analiza rezultata rizične vrijednosti primjenom parametarske metode

Izračun rizične vrijednosti primjenom parametarske metode radimo na osnovi parametara: prosječnih povrata, standardnih devijacija povrata i koreliranosti povrata. Za procjenu koristimo podatke iz povijesnih podataka koje smo koristili u povijesnoj metodi. Prosječan povrat dionice računamo na način da uzmemo aritmetičku sredinu povrata dionica iz povijesne metode. Procjenu standardne devijacije povrata dobijemo formulom:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R_{t,i} - \bar{R}_i)^2}$$

	Dionice	Vrijednost dionice u portfelju	Prosječan povrat	Standardna devijacija
1	ADRS-R-A	20 000	0.072 %	1.370 %
2	ATGR-R-A	20 000	0.066 %	1.157 %
3	DDJH-R-A	20 000	0.033 %	3.614 %
4	ERNT-R-A	20 000	0.009 %	1.310 %
5	KRAS-R-A	20 000	0.041 %	1.496 %

Tablica 5. Prikaz podataka za izračun parametarske metode

Iz Tablice 5. vidljivo je da povrati treće dionice (DDJH-R-A) imaju najveću pojedinačnu varijabilnost dnevnog povrata.

U slučaju gdje se portfelj sastoji od više dionica, za izračun volatilitnosti koristi se matični račun. Matrica varijance-kovarijance uzima u obzir koreliranost povrata dionica. Težinska vrijednost dionica u portfelju pomnožena matricom varijance-kovarijance svih dionica množi se transponiranom težinskom vrijednošću svih dionica koje su u portfelju. Izračun varijance povrata portfelja može se jednostavnije provesti matičnim računom.

Neka je C matrica korelacija povrata dionica koje su u sastavu portfelja. U našem slučaju C matrica iznosi:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0.10 & 0.01 & 0.11 & 0.08 \\ 0.10 & 1 & 0.04 & 0.10 & 0.01 \\ 0.01 & 0.04 & 1 & 0.00 & 0.07 \\ 0.11 & 0.10 & 0.00 & 1 & 0.06 \\ 0.08 & 0.01 & 0.07 & 0.06 & 1 \end{pmatrix}$$

Neka je S matrica standardnih devijacija dnevnih povrata dionica koje su u sastavu portfelja. S matrica za naš portfelj iznosi:

$$S = \begin{pmatrix} 1.370 \% & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.157 \% & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3.614 \% & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.310 \% & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.496 \% \end{pmatrix}$$

Matričnim množenjem dolazi se do konačnog rezultata – procjene varijance iz koje je kvadratnim korjenovanjem moguće dobiti standardnu devijaciju povrata portfelja. Formula za izračun glasi:

$$\sigma_p^2(R) = \omega S C S \omega^t$$

Nakon provedenog matičnog računa dobijemo da varijanca i standardna devijacija povrata portfelja iznose: $\sigma_p^2(R) = \omega V C V \omega^t = 0.0000917$, $\sigma_p(R) = 0.958 \%$. Uzimajući u obzir očekivani povrat od 0.044 %, standardnu devijaciju povrata portfelja (0.958 %), vrijednost standardizirane normalne distribucije određene razine pouzdanosti α (1.645 za 95 %) te inicijalnu vrijednost portfelja, možemo pristupiti izračunu VaR-a portfelja.

$$\text{VaR} = 100\,000 (0.044 \% + 1.645 \cdot 0.958 \%) = -1\,530.88 \text{ kn}$$

Prema definiciji VaR-a, rizična vrijednost za portfelj uz razinu vjerojatnosti od 95 % iznosi 1 530.88 kn, tj. postoji 5 % vjerojatnosti da se u jednom danu izgubi više od 1 530.88 kn.

5.3. Izračun rizične vrijednosti primjenom Monte Carlo simulacije

Izračun rizične vrijednosti primjenom Monte Carlo simulacije vršimo na način da koristimo dnevni rast/pad vrijednosti portfelja koji smo izračunali u povijesnoj metodi, te od dobivenih vrijednosti generiramo 100 nasumičnih rezultata za 30 uzoraka.

	UZORAK 1	UZORAK 2	...	UZORAK 29	UZORAK 30
1	-3 080.19	-3 214.18	-6 858.39	-3 033.40
2	-1 846.12	-3 009.01	-3 214.18	-3 009.01

99	2 124.91	3 015.71	...	2 289.11	2 099.09
100	2 969.96	3 288.52	...	2 297.33	3 288.52
Var (p = 95 %)	1 350.96	1 603.36	...	1 116.29	1 514.64

Tablica 6. Prikaz simulacije nasumičnih vrijednosti dnevnih povrata portfelja

Nakon generiranja 100 dnevnih rasta/pada vrijednosti portfelja te sortiranja istih rizičnu vrijednost na razini vjerojatnosti 95 % dobijemo kao prosjek petih po vrijednosti dnevnih rasta/pada vrijednosti stvorenih uzoraka. Prema izračunu, rizična vrijednost za portfelj na razini vjerojatnosti 95 % iznosi 1 414.34 kn, tj. postoji 5 % vjerojatnosti da se u jednom danu može izgubiti više od navedenog iznosa.

6. Zaključak

Rizična vrijednost razvila se kao alat kojim banke i ostale financijske institucije mogu mjeriti rizik. Uvođenjem metoda mjerenja rizične vrijednosti došlo je do opće mjere financijskog gubitka, odnosno akumuliranog rizika u portfelju. Cilj korištenja rizične vrijednosti je procijeniti i iskazati rizik s obzirom na vremenski period i unaprijed određenu vjerojatnost jednim brojem. Svaka od navedenih metoda ima svoje prednosti i nedostatke. Uzevši u obzir sve prednosti i nedostatke, niti jedna metoda nije najbolja za sva tržišta i uvjete na tržištu. Model rizične vrijednosti vrlo je važan za utvrđivanje rizika jer omogućava konzistentan i integriran pristup upravljanju tržišnim rizicima, što za uzrok ima bolje i sigurnije poslovanje.

U ovom su radu provedeni izračuni na temelju povijesne i parametarske metode te pojednostavljene metode Monte Carlo simulacije za portfelj od 5 hrvatskih dionica s ulogom od 100 000.00 kn. Na temelju dobivenih rezultata primjećujemo da razmatrane metode daju sličnu procjenu rizične vrijednosti.

Literatura

1. Holton, A.A. *History of Value-at-Risk*. Dostupno na <http://stat.wharton.upenn.edu/~steele/Courses/434/434Context/RiskManagement/VaRHistory.pdf> (23. 9. 2016.)
2. Investopedia, dostupno na <http://www.investopedia.com/> (23. 9. 2016.)
3. J. P. Morgan/Reuters, *RiskMetrics – Technical document*, J. P. Morgan/Reuters, New York, 1996.
4. Zagrebačka burza, dostupno na www.zse.hr (23. 9. 2016)