

# Primena Monte Karlo simulacije pri proračunu rizika ulaganja u projekat prenosne mreže

Biljana Trivić\*, Goran Dobrić \*\*

\* Agencija za energetiku Republike Srbije, Elektrotehnički fakultet Beograd

\*\* Elektrotehnički fakultet Beograd

**Apstrakt** - U radu je prikazana primena Monte Karlo simulacije za procenu rizika ulaganja u jedan veliki infrastrukturni projekat za prenos električne energije – Transbalkanski koridor. Da bi se mogla uraditi Monte Karlo simulacija prethodno je bilo potrebno proračunati netovane ekonomske rezultate za ovaj projekat koji predstavljaju tok novca, odnosno prilive i odlive novca za ovaj projekat tokom njegovog ekonomskog životnog veka za koji je uzeto da iznosi 25 godina. To je urađeno pomoću analize troškova i dobiti. Na strani troškova korišćeni su troškovi izgradnje projekta i troškovi rada i održavanja. Na strani dobiti korišćeni su podaci za indikatore benefita koji su definisani prema ENTSO-E metodologiji za analizu troškova i koristi. Dobijeni netovani ekonomski rezultati koristili su se kao ulazni podatak za Monte Karlo simulaciju. Urađeno je 1000 iteracija, odnosno proračuna na osnovu kojih je dobijeno 1000 različitih vrednosti za neto sadašnju vrednost projekta. Rezultati su pokazali da ovaj projekat za većinu iteracija ima pozitivnu vrednost za neto sadašnju vrednost, dok se negativna vrednost dobija sa verovatnoćom manjom od 5%. Na osnovu ovakvih rezultata zaključeno je da ova investicija ima mali rizik i da je isplativa. Razlog za ovo je činjenica da su očekivani benefiti koje će ova investicija imati veliki i da i kada se u obzir uzme nesigurnost zbog povećanja troškova i zbog smanjenja benefita, investicija ipak ostaje isplativa. Iz tog razloga nije potrebno vršiti smanjenje troškova ove investicije.

**Ključne reči** - investicija, koristi, procena rizika, troškovi

**Abstract**- In the paper is presented application of the Monte Carlo simulation for assessing the risk of investing in a large infrastructure project for electricity transmission - the Trans - Balkan Corridor. In order to be able to do the Monte Carlo simulation, it was previously necessary to calculate the net economic results for this project, which represent the cash flow, i.e. cash inflows and cash outflows for this project during its economic life, which is taken to be 25 years. This was done through cost-benefit analysis. On the cost side, project construction costs as well as operating costs were used. On the benefit side, data for benefit indicators defined according to the ENTSO-E methodology for cost-benefit analysis were used. The obtained net economic results were used as input data for the Monte Carlo simulation. 1000 iterations were made based on which 1000 net present value of the project were obtained. The results showed that this project for most of the iteration has a

positive value for the net present value, while a negative value is obtained with a probability of less than 5%. Based on these results, it was concluded that this investment has little risk and is profitable. The reason for this is the fact that the expected benefits that this investment brings are significant and that even when the uncertainty due to increased costs and reduced benefits is taken into account, the investment still remains profitable. For this reason, it is not necessary to reduce the cost of this investment

**Keywords** – benefits, costs, investment, risk assessment

## I. UVOD

Planiranje razvoja prenosnog elektroenergetskog sistema je veoma kompleksan i dugotrajan proces u kojem investitor, koji je najčešće operator prenosnog sistema, mora da vodi računa o mnogobrojnim faktorima kada planira izgradnju nekog elementa svog prenosnog sistema. Pre svega, mora se voditi računa da se zadovolji sigurnost rada prenosnog sistema i sigurnost snabdevanja korisnika prenosnog sistema, a takođe i da se zadovolje svi tehnički uslovi rada prenosnog sistema [1,2]. Prilikom planiranja izgradnje ili rekonstrukcije nekog dela elektroenergetskog sistema pored prethodno navedenog mora se voditi računa i o troškovima izgradnje ili rekonstrukcije i to tako da se teži tome da troškovi budu što manji. Pošto su objekti prenosa koji se izgrađuju ili rekonstruišu uglavnom veoma skupi projekti javlja se potreba da se za ovakve projekte uradi analiza troškova i koristi koja daje odnos troškova i koristi za taj projekat, odnosno daje uvid u to da li se isplati izgradnja ili rekonstrukcija određenog projekta i to za period celog ekonomskog životnog veka tog projekta. Obzirom da su troškovi koji se koriste pri analizama veoma podložni promenama, a takođe i koristi koje se procenjuju, preporučuje se da se za svaki projekat za koji se radi analiza troškova i koristi uradi i analiza procene rizika jer se na taj način može predvideti da li su dobijeni rezultati čvrsti ili postoji potreba da se izvrše neke izmene na projektu tako što će se vršiti optimizacija, odnosno smanjenje troškova i povećanje benefita. U [3] opisano je kako se vrše proračuni idikatora koji figurišu u analizi troškova i koristi. Na internet stranici udruženja evropskih operatora prenosnih sistema (*European Network Transmission System Operators for Electricity - ENTSO-E*) [4] mogu se za svaki projekat koji je deo Pan-evropskog desetogodišnjeg plana razvoja [5], koji izrađuje *ENTSO-E*, videti podaci koji su dobijeni za indikatore troškova i koristi. Međutim, ovi podaci na način kako

su predstavljani u [5] nisu dovoljni da bi se procenio rizik ulaganja u taj infrastrukturni projekat. Zbog toga je potrebno proračunati neto sadašnju vrednost (*Net Present Value – NPV*) za ovaj projekat, a zatim na osnovu dobijene vrednosti za NPV izvršiti procenu rizika ulaganja u ovaj projekat., koja se u ovom radu vrši pomoću Monte Karlo simulacije. Dobijeni rezultati će pokazati da li ova investicija ima rizik ulaganja, odnosno da li je ona isplativa.

## II. OSNOVNI PODACI O PROJEKTU

U primeru koji će biti prikazan u ovom radu izvršeni su proračuni za procenu rizika ulaganja u jedan veliki infrastrukturni objekat razvoja prenosne mreže - Transbalkanski koridor za prenos električne energije. Ovaj projekat je podeljen u sledeće deonice:

- Sekcija 1 – izgradnja nove 400 kV interkonekcije između Republike Srbije i Rumunije (puštena pod napon 2017. godine samo do granice sa Rumunijom zbog kašnjenja u izgradnji sa rumunske strane);
- Sekcija 2 – izgradnja novog 400 kV dalekovoda TS Kragujevac 2 – TS Kraljevo 3, sa podizanjem naponskog nivoa u TS Kraljevo 3 na 400 kV;
- Sekcija 3 - podizanje prenosne mreže između TS Obrenovac i TS Bajina Bašta na 400 kV naponski nivo i
- Sekcija 4 - izgradnja nove 400 kV interkonekcije između Republike Srbije, Crne Gore i Bosne i Hercegovine.

Na slici 1. su prikazane deonice Transbalkanskog koridora.

ТБК – I фаза	km
Секција I	68
Секција II	60
Секција III	109
Секција IV	84
Укупно	321



Slika 1. Deonice Transbalkanskog koridora (preuzeto iz [6])

## III. OPIS PRIMENJENE METEODOLOGIJE ZA PRORAČUN

Kako je definisano u [8] ENTSO-E izrađuje metodologiju za izradu CBA analize. Važeća verzija ove metodologije objavljena je 2018. godine. To je metodologija koja je objašnjena u [3]. U ovom radu su od svih benefita koji su dati u metodologiji korišćeni

Prva deonica (Sekcija 1) je završena i zbog toga nije predmet ovih proračuna. Izgradnja ostale tri deonice je u toku.

Da bi se mogla uraditi procena rizika za projekat Transbalkanski prethodno je bilo potrebno uraditi analizu troškova i koristi (*Cost Benefit Analysis – CBA*) za ovaj projekat.

U ovom radu su kao ulazni podaci za izradu CBA analize korišćene vrednosti za indikatore troškova i koristi koje je ENTSO-E proračunao i objavio na svojoj internet stranici [5].

Za proračune koji su rađeni u ovom radu su uzeti u obzir sledeći benefiti (prihodi): socio-ekonomska dobrobit, smanjenje gubitaka električne energije, smanjenje emisije CO<sub>2</sub> i integracija obnovljivih izvora električne energije. Svi navedeni benefiti su monetizovani, odnosno prikazani su u novčanim jednicama da bi mogli da se porede sa troškovima. Pored ovih prihoda u obzir su uzeti još neki prihodi za koje se može pretpostaviti da će ovaj projekat da ima tokom svog životnog veka. To su prihodi od ITC mehanizma (*Inter-TSO compensation mechanism*) [7] i prihodi od alokacije prenosnih kapaciteta na granicama sa susednim državama.

Troškovi koji su korišćeni u primeru su kapitalni troškovi (*Capital Expenses – CAPEX*) koji predstavljaju troškove ulaganja u investiciju dok je ona u izgradnji i operativni troškovi (*Operating Expenses – OPEX*) koji predstavljaju troškove održavanja projekta nakon njegovog puštanja u rad.

Pored navedenih prihoda i troškova, za izradu CBA analize bilo je potrebno definisati i sledeće ulazne parametre:

- godinu početka radova – za ovaj projekat je to 2020. godina;
- godinu puštanja projekta u rad – za ovaj projekat je to 2024. godina;
- ekonomski životni vek projekta – za ove tipove projekata uzima se životni vek od 25 godina;
- preostalu vrednost - za ove tipove projekata uzima se da je prestala vrednost projekta nakon isteka ekonomskog životnog veka nula;
- diskontnu stopu – za ove tipove projekata uzima diskontna stopa od 4%;
- inflaciju – za ovaj primer korišćena je inflacija od 2% (godišnja stopa inflacije u Republici Srbiji je 1,9% predstavlja promenu cena u decembru 2019. godine u odnosu na decembar 2018. godine).

samo oni koji su bili od interesa za ovaj proračun, a koji su nabrojani u prethodnom poglavlju.

Rezultati CBA analize mogu da se prikažu pomoću sledećih parametara:

- neto sadašnja vrednost (NPV). NPV je ključni kriterijum za ocenu ulaganja u neki projekat. NPV je jednak zbiru diskontovanih novčanih priliva i odliva u ekonomskom veku projekta. NPV može da se definiše kao razlika troškova i koristi. Da bi investicija u neki projekat bila isplativa NPV mora da bude veći od nule (NPV>0);
- interna stopa povrata uloženi sredstava (*Internal Rate of Return* - IRR). IRR je jedan od glavnih kriterijuma za ulaganje u neki projekat. IRR je ona diskontna stopa gde je NPV=0. Ovo možemo i da definiše na sledeći način: IRR je prosečna godišnja „kamata“ u procentima na uloženi novac. IRR se izražava u procentima (15%, 22%...). Da bi investicija u osnovna sredstva bila isplativa poželjno je da IRR ima što veću vrednost.
- odnos troškova i koristi (*Benefits/Costs Ratio* - B/C). Ovo je jednostavan odnos troškova i koristi. Smatra se da je investicija isplativa ukoliko je ovaj odnos veći od 1,1 (B/C>1,1), a poželjno je da ovaj odnos bude što veći.

Nakon urađene CBA analize vršena je procena rizika ulaganja korišćenjem Monte Karlo simulacije. Monte Karlo simulacija spada u grupu savremenih statističkih optimizacionih metoda koja se često koristi prilikom procene rizika ulaganja u neku investiciju. Ova metoda se temelji na upotrebi slučajnih brojeva i statističke verovatnoće. Prilikom primene ove metode upotrebljavaju se nizovi slučajnih brojeva za izvršenje simulacija.

Osnovna ideja od koje se počinje u Monte Karlo simulaciji su već poznati podaci, koji uglavnom predstavljaju poznate funkcije gustine raspodele verovatnoće ulaznih promenljivih koje opisuju dati problem i koje se preko generatora slučajnih brojeva određuju i kao takvi ulaze u potrebne proračune.

Pošto postoji velika nesigurnost ulaznih podataka tokom godina za projekte razvoja prenosne mreže iz razloga što su ovi podaci podložni izmenama i zavise od mnogih spoljnih faktora (ekonomske situacije u državi, pa i u celom svetu, promene cena materijala, promena cena radne snage, promena predviđene inflacije i dr.) u ovom radu je izvršen je proračun multiplikativnog faktora troškova koji uzima u obzir sve ove nesigurnosti.

Da bi se razumeo način proračuna multiplikativnog faktora potrebno je definisati funkciju gustine normalne raspodele [10], koja je predstavljena pomoću sledeće formule:

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

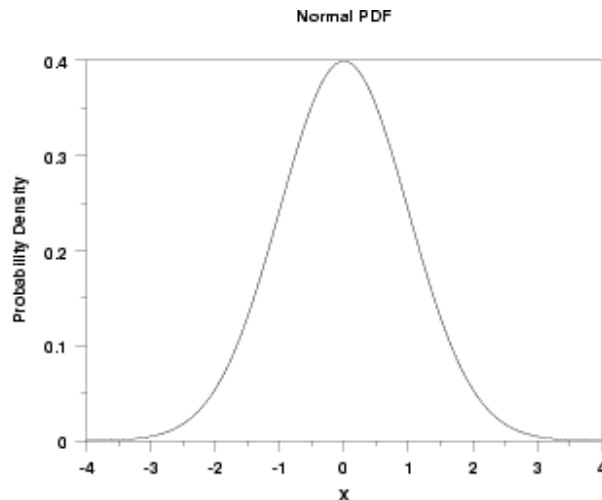
gde je:

- $\mu$  – srednja vrednost,
- $\sigma$  – standardna odstupanje,
- $x$  – nezavisna promenljiva za koju se računa funkcija, ima vrednost  $+\infty < x < -\infty$ .

Za slučaj kada je  $\mu = 0$  i  $\sigma = 1$  ova formula postaje:

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

Ova funkcija je prikazana na slici 2.

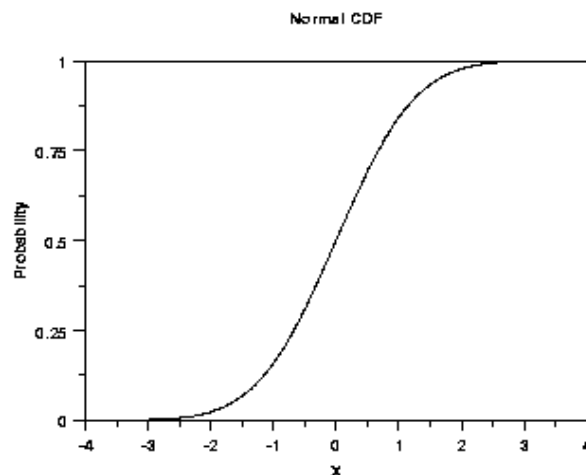


Slika 2. Funkcija gustine normalne raspodele

Za proračun kumulativne raspodele verovatnoće koristi se formula koja predstavlja integral normalne raspodele od  $-\infty$  do  $x$ . Za  $\mu = 0$  i  $\sigma = 1$  ova formula postaje:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \quad (3)$$

Ova funkcija je prikazana na slici 3.



Slika 2. Grafik kumulativne raspodele verovatnoće

Rezultati Monte Karlo simulacije mogu da se prestave pomoću analitičkih (statističkih) podataka i grafičkim putem. Neki od prikaza rezultata su [9]:

- *srednja vrednost* – prosečna vrednost svih dobijenih rezultata;
- *mod* – vrednost koja ima najveću frekvenciju (najčešća vrednost);
- *medijana* – broj koji razdvaja gornju polovinu dobijenih rezultata od donje. Ako je raspodela simetrična, srednja vrednost i medijana će biti identični;
- *standardna devijacija* – veličina koja prikazuje prosečnu udaljenost dobijenih vrednosti od srednje vrednosti;
- *standardna greška* – količnik standardne devijacije i kvadratnog korena izračunavanja;
- *maksimalna vrednost* – najveća vrednost dobijena u simulaciji;
- *minimalna vrednost* – najmanja vrednost dobijena u simulaciji;
- *interval* – broj koji se dobije oduzimanjem minimalne vrednosti od maksimalne vrednosti;
- *VAR kriva* – grafik raspodele verovatnoće (*eng. Value at Risk Chart*);
- *histogram* – grafički prikaz tabele koji pokazuje koliki je opseg događaja koji pripadaju svakoj od nekoliko mogućih kategorija.

U primeru koji je obrađen u ovom radu za proračun kumulativne raspodele verovatnoće korišćena je formula NORMINV koja je već definisana u programu *Microsoft Office Excel*. U ovoj formuli bilo je potrebno uneti vrednosti za verovatnoću, srednju vrednost i standardno odstupanje.

Verovatnoća je argument koji predstavlja vrednost sa kojom želimo da izvršimo proračun i ima vrednost između 0 i 1. Za ovaj primer urađeno je 1000 iteracija za proračuna vrednosti NPV pri čemu je za svaku iteraciju verovatnoća birana nasumično pomoću funkcije RAND koja je već definisana u programu *Microsoft Office Excel*.

Srednja vrednost za ovaj primer jeste vrednost prosečnog povećanja troškova. Za ovu vrednost se za ovakve tipove investicija uzima opseg 1,2-1,3 što označava povećanje troškova od 20–30% u odnosu na vrednosti date u početnom modelu.

Standardno odstupanje u proračunu rizika predstavlja meru rizika, odnosno nesigurnost da investicija neće dati benefite koji su predviđeni za vreme svog ekonomskog životnog veka. Što je veća vrednost standardnog odstupanja veći je i rizik. Za ovaj primer uzeta je vrednost od 0,25 za standardnu devijaciju jer se ne očekuje da će benefiti da variraju u velikoj meri.

#### IV. REZULTATI DOBIJENI NA OSNOVU CBA ANALIZE I MONTE KARLO SIMULACIJE

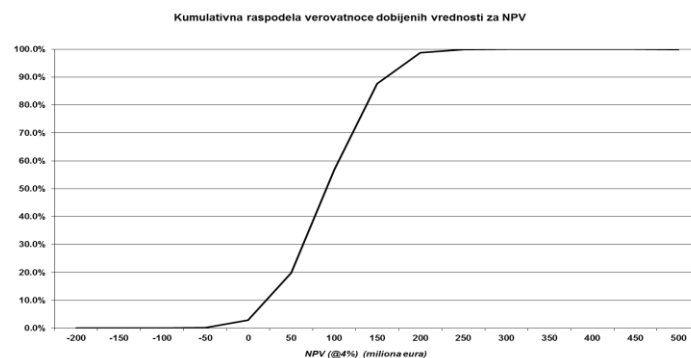
Rezultati CBA analize za ovaj primer su: NPV = 216,67 m€, IRR = 10,75% i B/C = 2,84.

U tabeli 1 prikazani su troškovi, prihodi i tok novca po godinama za ceo životni vek projekta (jedinica je m€).

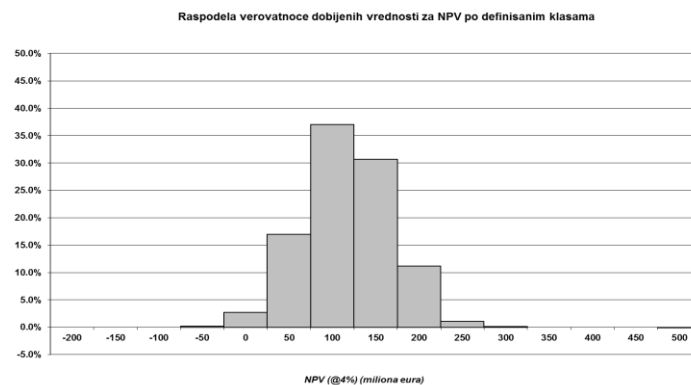
Godina	2020	2021	2022	2023	2024
Prihodi	0	0	0	0	35
Troškovi	56,25	112,5	22,5	22,5	14,55
Tok novca	-56,25	-112,5	-22,5	-22,5	20,45

Godina	2025	2026	...	2047	2048
Prihodi	35	35	...	35	35
Troškovi	3,3	3,3	...	3,3	3,3
Tok novca	31,7	31,7	...	31,7	31,7

Na osnovu podatka dobijenih nakon 1000 iteracija Monte Carlo simulacije dobijeni su statistički rezultati koji su prikazani na Slici 4, dok su grafički rezultati prikazani na Slici 5.



Slika 4. Kumulativna raspodela verovatnoće



Slika 5. Raspodela verovatnoće po klasama

#### V. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata može se videti da ovaj projekat za većinu iteracija ima pozitivnu vrednost za NPV, dok se negativna vrednost dobija sa verovatnoćom manjom od 5%. Iz ovoga se može doneti zaključak da ova investicija ima mali rizik i da je isplativa. Razlog za ovo je činjenica da su očekivani benefiti koje

ova investicija imati u budućnosti veliki i da i kada se uzme u obzir nesigurnost zbog povećanja troškova i zbog smanjenja benefita, investicija ipak ostaje isplativa. Iz tog razloga nije potrebno vršiti smanjenje troškova.

U situacijama u kojima je vrednost NPV bliska nuli ili je negativna smatra se da je investicija rizična i u tom slučaju je potrebno raditi na smanjenju troškova i istovremeno na povećanju benefita ukoliko se želi nastaviti sa ulaganjem u investiciju, što za ovaj primer nije bio slučaj zbog dobijenih pozitivnih vrednosti za NPV za više od 95% slučajeva.

Identičan način za proračun rizika može da se koristi i u slučaju kada postoji dve ili više sličnih investicija, pa je potrebno doneti odluku u koju investiciju će se ulagati. U ovom radu je objašnjen samo jedan primer iz razloga dostupnosti ulaznih podataka za vrednosti troškova i benefita koji su bili potrebni za proračune.

#### LITERATURA

- [1] Zakon o energetici, Službeni glasnik Republike Srbije, br 145/2014
- [2] Pravila o radu prenosnog sistema, EMS AD, 2020
- [3] ENTSO-E Guideline For Cost Benefit Analysis of Grid Development Projects version 2.0, ENTSO-E, 2015;
- [4] European Network Transmission System Operators for Electricity, website <https://www.entsoe.eu/>
- [5] ENTSO–E Ten Year Network Development Plan, website <https://tyndp.entsoe.eu/tyndp2018/>
- [6] Plan razvoja prenosnog sistema električne energije Republike Srbije za period 2019-2028, EMS AD, 2019
- [7] COMMISSION REGULATION (EU) No 838/2010 of 23 September 2010
- [8] Regulation (EU) No 347/2013 of the European Parliament, 2013;
- [9] Metode optimizacije - Primena u elektroenergetici, Aleksandar Savić, Darko Šošić, Goran Dobrić, Mileta Žarković
- [10] Engineering statistics handbook, web site <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3661.htm>

#### AUTORI

**Prvi autor** – Biljana Trivić, diplomirani inženjer elektrotehnike, Agencija za energetiku Republike Srbije, Elektrotehnički fakultete Beograd, [biljana.trivic@aers.rs](mailto:biljana.trivic@aers.rs)

**Drugi autor** – Goran Dobrić, docent, Elektrotehnički fakultet Beograd, [dobric@etf.rs](mailto:dobric@etf.rs)