

Analiza isplativosti i rizika na primjeru Monte Carlo simulacije virtualne elektrane

Štambuk, Luka

Professional thesis / Završni specijalistički

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Economics and Business / Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:148:683602>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported/Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-16**



Repository / Repozitorij:

[REPEFZG - Digital Repository - Faculty of Economics & Business Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
EKONOMSKI FAKULTET

Luka Štambuk

**Analiza isplativosti i rizika na primjeru Monte Carlo
simulacije virtualne elektrane**

Poslijediplomski specijalistički rad

Zagreb, srpanj 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
EKONOMSKI FAKULTET

Luka Štambuk

**Analiza isplativosti i rizika na primjeru Monte Carlo
simulacije virtualne elektrane**

Poslijediplomski specijalistički rad

Zagreb, srpanj 2020.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je poslijediplomski specijalistički rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Zagreb, 13. svibnja 2020.

Luka Štambuk

Sadržaj

1.	Uvod	1
1.1.	Predmet rada	2
1.2.	Ciljevi rada	3
1.3.	Metode istraživanja i izvori podataka	3
1.4.	Sadržaj i struktura rada.....	4
2.	Donošenje odluka o dugoročnim investicijama u realnu imovinu.....	5
2.1.	Riziku prilagođeni novčani tokovi.....	6
2.2.	Trošak kapitala	9
2.2.1.	Trošak duga	10
2.2.2.	Trošak povlaštenog kapitala.....	11
2.2.3.	Trošak običnog kapitala	12
2.2.4.	Prosječni ponderirani trošak kapitala	14
2.2.5.	Trošak novoemitiranog kapitala	15
2.2.6.	Trošak akvizicije.....	16
2.3.	Kriteriji financijskog odlučivanja	16
2.3.1.	Kriterij razdoblja povrata	16
2.3.2.	Kriterij diskontiranog razdoblja povrata	17
2.3.3.	Kriterij čiste sadašnje vrijednosti (NPV)	18
2.3.4.	Kriterij interne stope profitabilnosti	19
2.3.5.	Modificirana interna stopa profitabilnosti	20
2.3.6.	Indeks profitabilnosti	21
3.	Temeljne vrste rizika i metode upravljanja rizicima.....	23
3.1.	Vrste rizika	26
3.1.1.	Strateški rizici	27
3.1.2.	Operativni rizici.....	28

3.1.3.	Rizik ljudskih resursa	29
3.1.4.	Tehnološki rizik	29
3.1.5.	Financijski rizici	29
3.1.6.	Rizik usklađenosti	30
3.2.	Model upravljanja rizicima	30
3.2.1.	Identifikacija rizika	32
3.2.2.	Kvalitativna analiza	33
3.2.3.	Kvantitativna analiza	34
3.2.4.	Planiranje odgovara na rizike	36
3.2.5.	Mjere upravljanja rizicima.....	37
3.3.	Rizik kao statistička funkcija	39
3.4.	Metode analize rizika projekta	43
3.4.1.	Analiza osjetljivosti	45
3.4.2.	Analiza scenarija	46
3.4.3.	Analiza scenarija putem simulacija	47
3.5.	Monte Carlo simulacija	48
3.5.1.	Postupak izrade Monte Carlo simulacije	48
3.5.2.	Odabir parametara ulaznih varijabli.....	49
3.5.3.	Analiza izlaznih parametara na primjeru	57
4.	Virtualna elektrana.....	59
4.1.	Prijenosni sustav električne energije.....	60
4.2.	Virtualne elektrane i prijenosni sustav	64
4.3.	Projekt virtualne elektrane	67
4.3.1.	Fotonaponska elektrana.....	67
4.3.2.	Vjetroelektrana	70
4.3.3.	Visokoučinkovita kogeneracijska plinska elektrana.....	74

5.	Analiza poslovnog slučaja ulaganja u virtualnu elektranu	81
5.1.	Investicijski troškovi	81
5.2.	Operativni prihodi i troškovi	83
5.3.	Izvori kapitala i prosječni trošak kapitala.....	88
5.4.	Osnovni scenarij analize isplativosti	89
5.4.1.	Čista sadašnja vrijednost i drugi pokazatelji.....	90
5.4.2.	Financijski povrat i prinos kapitala investitora	92
5.5.	Analiza osjetljivosti.....	92
5.6.	Monte Carlo simulacija analize isplativosti.....	93
5.6.1.	Definiranje razdioba ulaznih varijabli	93
5.6.2.	Rezultati simulacije	99
5.7.	Mogućnosti upravljanja detektiranim rizicima	102
6.	Zaključak	104
	Literatura	106
	Popis slika	114
	Popis tablica.....	115
	Popis grafikona	116
	Sažetak	118
	Summary.....	119
	Ključne riječi	120
	Key words	121
	Prilozi	122
	Životopis.....	124

Zahvaljujem mentorici Prof. dr. sc. Danijela Miloš Sprčić, na suradnji, stručnoj pomoći i savjetima tijekom izrade specijalističkog poslijediplomskog rada.

1. Uvod

Svakodnevna potreba za energijom, kao i njena stalna dostupnost, jedan je od temeljnih postulata današnjeg društva. Vrlo je teško zamisliti daljnji napredak društva i civilizacije u kojem izvori energije ne bi bili stalno dostupni ili bi ovisili o različitim prirodnim zakonitostima, poput vremena dana ili godišnjeg doba. No, s druge strane postoji globalna građanska i politička osviještenost da trenutna tehnologija proizvodnje energije ugrožava uobičajenu ravnotežu cjelokupnog zemaljskog ekološkog i klimatskog sustava. Upravo iz tog razloga svijet, a posebice zemlje Europske Unije nastoje promijeniti izvore proizvodnje energije s održivim tj. obnovljivim izvorima energije. Stoga će postavljeni cilj da do 2020. godine udio energije proizvedene iz obnovljivih izvora dosegne 20% na razini Europske Unije vjerojatno biti ostvaren, dok je Republika Hrvatska svoj cilj i premašila te je prema pokazateljima iz 2017. godine proizvedeno oko 27% energije iz obnovljivih izvora energije¹. U pogledu sljedeće stepenice dostizanja energetske učinkovitosti te udjela obnovljivih izvora energije Europska Unija je postavila nove ciljeve za 2030. godinu, a to su redukcija stakleničkih plinova za 40%, dostizanje proizvodnog udjela obnovljivih izvora od 32% te 32.5% povećanje energetske učinkovitosti².

Monte Carlo simulacija, kao i druge simulacije, često se koriste u energetici te su one vrlo dobra metode za analizu potencijalnih projekata ili budućih scenarija. Tako se u sve većoj želji za "zelenom" energijom, predviđaju različiti scenariji o potencijalnoj proizvodnji energije u budućnosti. Prema provedenom istraživanju i simulaciji svijet će u 2050. koristiti i dalje 78% fosilnih izvora za dobivanje energije, dok će u povoljnijoj varijanti to biti samo 58%³.

¹ Ostvareni ciljevi obnovljive proizvodnje energije u Europskoj Uniji, dostupno na: <https://www.weforum.org/agenda/2019/02/these-11-eu-states-already-meet-their-2020-renewable-energy-targets/> [10. rujna 2019.]

² Strateški ciljevi Europske unije do 2020. za klimu i energetiku, dostupno na: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en [9. ožujka 2018.]

³ Barry, A. Benedict (2017) Benefits of Scenario Planning Applied to Energy Development. Energy Procedia, Vol. 107, str. 304-308.

U ovom radu razmotrit će se mogućnosti realizacije projekta velike virtualne elektrane kao jednog od mogućih sredstava za ostvarenje dijela gore navedenih ciljeva. Naime, daljnjom integracijom obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav mijenjaju se načini upravljanja istim te je daljnja integracija obnovljivih izvora energije sve zahtjevnija sa stajališta vođenja elektroenergetskog sustava i sigurnosti opskrbe.

Analizi ekonomske isplativosti projekta virtualne elektrane pristupljeno je sistematski, te su definirane metode ocjene investicijskih projekata na temelju budžetiranja kapitala kao osnove za razmatranje bilo kojeg investicijskog projekta. U kontekstu upravljanja rizicima projekta te njegovih utjecaja na efikasnost projekta definirana je i provedena Monte Carlo simulacija investicijskog projekta iz koje su prikazani rezultati te zaključci o projektu, ali i mogućnosti upravljanja projektnom investicijom.

1.1. Predmet rada

Predmet istraživanja ovog specijalističkog poslijediplomskog rada je elektroenergetski sektor u području virtualnih elektrana kao dijela elektroenergetskog sustava kojeg sačinjavaju proizvodnja, prijenos i opskrba električnom energijom, dok je fokus istraživanja procjena isplativosti investicije u virtualne elektrane s analizom potencijalnih rizika te mogućih rješenja u pogledu upravljanja rizicima. Navedeno je provedeno u kontekstu opće tendencije ka prijelazu na obnovljive izvore energije te političko-ekonomskog cilja Europske unije o ostvarenju zelenog gospodarstva, a prema kojem je definirana sljedeća stepenica dostizanja ciljeva za 2030. godinu, a to su redukcija stakleničkih plinova za 40%, dostizanje proizvodnog udjela obnovljivih izvora od 32% te 32.5% povećanje energetske učinkovitosti. S obzirom na navedeno očekuju se daljnje velike investicije u obnovljive izvore energije, a s aspekta investitora najbitnije je istražiti potencijalne ekonomske efekte pojedinih energetske projekata koji dovode do ostvarenja prethodno navedenih ciljeva. Zbog toga će se istražiti načini definiranja uspješnosti projekta koji su kompatibilni s provođenjem Monte Carlo simulacije, a koji su u skladu s teorijom i praksom budžetiranja kapitala te upravljanja rizicima. Osim ekonomskog aspekta istražiti će se i tehnički aspekt proizvodnje energije u virtualnoj elektrani s obzirom na benefite prema sustavu

prijenosa električne energije, a koji s uvođenjem novih nestalnih izvora energije doživljava stanovite promjene. S obzirom na istražene mogućnosti rada virtualne elektrane definirat će se ekonomski model pogodan za simulaciju putem Monte Carlo metode na temelju kojeg će se istražiti potencijali projektno definirane virtualne elektrane ili sličnih elektrana.

1.2. Ciljevi rada

Osnovni ciljevi istraživanja u okviru ovog specijalističkog poslijediplomskog rada su:

1. Prikazati metode analize isplativosti i analize rizika ulaganja u dugoročne investicijske projekte s naglaskom na Monte Carlo simulaciju kao naprednu metodu analize rizika.

2. Analizirati trenutno stanje elektroenergetskog sustava u Republici Hrvatskoj te mogućnosti daljnjeg priključenja obnovljivih izvora energije.

3. Analizirati tehnološko-ekonomske karakteristike proizvodnje virtualne elektrane te njenih sastavnih dijelova.

4. Analizirati isplativost i rizike ulaganja u proizvodnju električne energije iz virtualne elektrane u okviru trenutnih zakonskih propisa u Republici Hrvatskoj.

Stručni doprinos ovog rada definirat će se u analizi ekonomske isplativosti postrojenja virtualne elektrane te mogućnostima za realnu integraciju ovakvog ili sličnog projekta u elektroenergetsku mrežu, bilo u Republici Hrvatskoj ili u nekim drugim državama koja imaju slična zakonska rješenja za proizvodnju i otkup energije iz obnovljivih izvora.

1.3. Metode istraživanja i izvori podataka

U okviru istraživanja koristit će se brojne metode: metoda analize, metoda sinteze, metoda indukcije i dedukcije, metoda komparacije, kriteriji financijskog odlučivanja, statističke metode, a posebice metoda Monte Carlo simulacija (numerička metoda statističke simulacije) za analizu rizika. Kriteriji financijskog odlučivanja proizlaze iz metode budžetiranja kapitala, a od kriterija posebice će se koristiti čista sadašnja vrijednost, interna stopa profitabilnosti, razdoblje povrata te diskontirano razdoblje povrata.

Planirano istraživanje provest će se na temelju velikog broja dostupnih referentnih izvora kao podloge za statističku obradu podataka te drugih metoda istraživanja. Dostupni referentni izvori predstavljaju primarne i sekundarne izvore podataka, kao primarni izvor podataka za istraživanje koristit će se metoda studije slučaja. Sekundarni izvori podataka predstavljaju knjige, znanstvene radove, stručne članke te razne internet izvore podataka.

1.4. Sadržaj i struktura rada

Rad je podijeljen u 6 poglavlja. U prvom poglavlju nalaze se razmatranja vezana uz sam predmet rada, prikazani su ciljevi rada te metode istraživanja. Drugo poglavlje predstavlja teorijsku ekonomsku podlogu za daljnji razvoj rada te definira osnovne pojmove koji se kasnije koriste u samom istraživanju. Treće poglavlje razmatra pojam rizika u investicijskim projektima, pojamovnu podjelu rizika te njegovu implementaciju u analizi investicijskih projekata. Također, u trećem poglavlju je detaljno opisana Monte Carlo metoda simulacije te način korištenja iste, uz detaljan pregled statističkih obilježja mogućih ulaznih i izlaznih varijabli. Četvrto poglavlje je energetska dio rada, definira se prijenosni sustav i njegove glavne značajke te se iste dovode u kontekst s radom virtualne elektrane. Detaljno su obrađeni tehnički pokazatelji elektrane s aspekta tehnologije i proizvodnje po pojedinom segmentu elektrane (sunce, vjetar, plin). U petom poglavlju analiziran je rad virtualne elektrane s ekonomskog aspekta, definirani su rizici te moguće upravljanje s istima. Također, prikazani su rezultati Monte Carlo simulacije te isti detaljno analizirani. Šesto poglavlje se sastoji od zaključka u kojem je sumiran rad i rezultati ovog specijalističkog poslijediplomskog rad te su iznesene preporuke za upravljanje detektiranim rizicima.

2. Donošenje odluka o dugoročnim investicijama u realnu imovinu

Svaki poslovni poduhvat pokrenut od bilo koje strane u sebi nosi zahtjev za prinosom tj. za viškom dobara ili novca koji će iz njega proizaći u odnosu na ono što je njemu dano tj. što je u njega uloženo. Stoga nitko neće ili ne bi trebao pokrenuti poslovni poduhvat ukoliko *a priori* zna da on na kraju razdoblja efektuiranja neće pridonijeti povećanju stanja bogatstva, bilo kroz vrijednost imovine, gotovog novca, zalihe proizvoda, intelektualne imovine i drugih. Dakle, kako je kapital ograničen resurs, isti treba biti usmjeren upravo u one poduhvate za koje pretpostavljamo da će maksimalno povećati novostvorenu vrijednost⁴.

Svaki gore opisani događaj možemo nazvati investicijom, a prema jednoj od definicija to je bilo kakvo ulaganje, primarno novčanih sredstava radi stjecanja određenih ekonomskih koristi, odnosno povećanja bogatstva investitora. Pri tome se može ulagati u financijske oblike imovine i s njima izjednačene investicije ili pak u realne oblike imovine koji omogućavaju ostvarivanje ekonomskih koristi kroz određene produktivne poslovne aktivnosti. Zbog toga se investicije uobičajeno dijele na financijske i realne investicije⁵. Svaka pravna osoba ili investitor imaju namjeru ulagati u isplative investicije tj. one koje donose ekonomsku korist na način da maksimiziraju vrijednost u odnosu na druge dostupne opcije. Izložena definicija je jasna i intuitivna te bi stoga i ponašanje investitora trebalo biti jasno i intuitivno, ali iz svakodnevnog iskustva svjedoci smo brojnih promašenih investicija, u vidu nekih koje opće nisu ni krenule s radom, a u njih su uložena znatna sredstva do drugih koji se nisu pokazale isplativima kada su krenule s radom pa su investitori od istih odustali ili ih napustili.

Kako bismo donijeli pravu odluku krenuti ili ne krenuti u investiciju potrebno je provesti analizu investicije te vidjeti hoće li ona u traženom vremenu povećati vrijednost kakav je investitor zamislio tj. procijenio. Navedeni postupak analize

⁴ Agar, C. (2005) Capital Investment & Financing: a practical guide to financial evaluation. England: Butterworth-Heinemann, str. 4.

⁵ Orsag, S. (2002) Budžetiranje kapitala- Procjena investicijskih projekata. Zagreb: Masmedia d.o.o., str. 17.

investicije naziva se budžetiranje kapitala, a isti je prema definiciji donošenje odluka o dugoročnim investicijama, prije svega u realnu poslovnu imovinu poduzeća. Postupak budžetiranja kapitala uključuje prognozu novčanih tokova projekata i ocjenu njihove financijske učinkovitosti, financijske efikasnosti primjenom kriterija financijskog odlučivanja. Budžetiranje kapitala uključuje sve postupke, od samog pronalaženja investicijskih ideja, preko njihove analize i ocjene pa do donošenja odluka i samog provođenja investicija⁶. Stoga je prije svake investicije u realni i dugoročni investicijski projekt potrebno analizirati isti kroz metodu budžetiranja kapitala kako bismo mogli zaključiti je li poželjno krenuti u investiciju, istu odbaciti ili pričekati s njenom realizacijom.

Kako bismo došli do potrebnog zaključka o investiciji potrebni su nam pokazatelji investicije, a koje možemo dobiti kroz model budžetiranja kapitala i njemu inherentnih svojstava poput vremenske vrijednosti novca, ukupnog troška kapitala, definiranja investicijskih troškova, novčanih tokova te rezidualne vrijednosti. Kao konačne kriterije ocjene investicijskog projekta definirani su temeljni financijski pokazatelji, raznih vrijednosti, koji su razmotreni u sljedećim poglavljima.

2.1. Riziku prilagođeni novčani tokovi

Svaki investicijski projekt nakon pokretanja, tj. nakon završetka investicijskog perioda počinje stvarati novčane primitke, ali i novčane izdatke. Razliku između novčanih primitaka i novčanih izdataka u određenom razdoblju nazivamo čisti novčani tok (engl. *FCF - Free Cash Flows*). Čisti novčani tok se izračunava tako da se od svih prihoda oduzmu operativni troškovi, troškovi poreza te troškovi dodatnog ulaganja u osnovni projekt⁷.

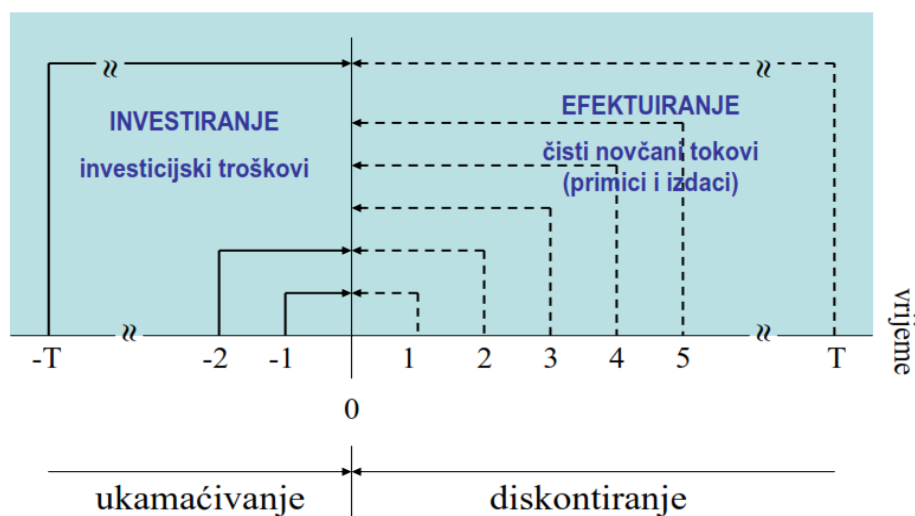
Druga pretpostavka analize investicijskih projekata je vremenska vrijednost novca, tj. činjenica da novac ima vremensku vrijednost koja je padajuća funkcija vremena, a isto nam govori da je puno poželjnije imati definiranu sumu novca u određenom trenutku sadašnjosti ili bliske budućnosti, nego npr. deset ili dvadeset

⁶ Orsag, S. (2015) Poslovne financije. Zagreb: Avantis d.o.o., str. 470.

⁷ Ehrhardt, M. C. i Brigham, E. F. (2011) Financial Management: Theory and Practice, Thirteen Edition. USA: South-Western Cengage Learning, str. 12.

godina kasnije od zamišljenog trenutka. Navedena činjenica proizlazi iz termina vremenske preferencije novca koja opravdava takvu opadajuću funkciju, a bazira se na riziku ili neizvjesnosti budućih događaja te preferenciji potrošnje u sadašnjosti⁸.

S obzirom na vremensku vrijednost novca, novac tj. novčane učinke koje dobivamo efektuiranjem projekta u budućnosti potrebno je diskontirati tj. smanjiti im vrijednost, dok novac u investicijskoj fazi koji je potrošen prije trenutka razmatranja potrebno ukamatiti tj. povećati mu trenutnu vrijednost u odnosu na definiranu nultu godinu projekta. Isto je ilustrirano na slici 1. Kako bi se dobila diskontirana vrijednost potrebno je svaki primitak i rashod u sljedećoj godini umanjiti za unaprijed definiranu diskontnu stopu u odnosu na prethodnu godinu i tako za sve godine efektuiranja projekta, a s time se dobivaju novčani učinci koji su međusobno usporedivi. Ovim pravilom dodatno se naglašavaju primitci i izdaci koji nastaju u prvim godinama projekta u odnosu na one koji nastaju kasnije te su zbog stope diskontiranja prihodi i rashodi manje realne vrijednosti u odnosu na nominalnu vrijednost u promatranoj godini.



Slika 1. Grafički prikaz odnosa vremena i novca u investicijskom projektu⁹

Definirana vremenska vrijednost novca odražava oportunitetni trošak ulaganja tj. riječ je o stopi tržišne kapitalizacije, cijeni kapitala koji zahtjevaju investitori na

⁸ Orsag, S. (2015) Poslovne financije. Zagreb: Avantis d.o.o., str. 207.

⁹ Ibid., str. 209.

tržištu kapitala.¹⁰ Za diskontnu stopu se u pravilu uzima trošak kapitala investitora. U slučaju da se investicijski projekt financira iz vlastitih sredstava tada se za diskontnu stopu uzima od strane investitora zahtijevana stopa prinosa koja je najčešće jednaka oportunitetnom trošku uloženi sredstava. Ukoliko se investicijski projekt financira dijelom iz vlastitih sredstava, a drugim dijelom iz kredita ili drugih izvora onda se kao diskontna stopa koristi prosječni ponderirani trošak kapitala (engl. *Weighted Average Cost of Capital - WACC*)¹¹.

Kada je riječ o dugoročnim i velikim projektima za točnost njihove vrijednosti potrebno je uzeti u obzir i rezidualnu vrijednost koja ostaje nakon planiranog završetka vijeka trajanja projekta. Ta vrijednost fiksne imovine koja ostaje nakon isteka efektuiranja projekta zove se rezidualnom vrijednošću. Rezidualnu vrijednost fiksne imovine projekta treba tretirati kao njegove novčane primitke koji će se realizirati prodajom takve imovine ili pak njezinim profitabilnim korištenjem u druge poslovne svrhe, navedeni primici za projekt nastaju krajem vijeka efektuiranja¹². Rezidualna vrijednost procjenjuje se u momentu sastavljanja proračuna financijske efikasnosti ulaganja, a na temelju tržišnih cijena koje će se moći ostvariti prodajom ili ponovnom upotrebom u poslovnom procesu. Navedenu vrijednost potrebno je diskontirati tj. svesti na sadašnju vrijednost. Što je ekonomski vijek investicije duži to će i utjecaj ostatka vrijednosti investicije na financijsku efikasnost biti manji. Procjenom novčanih primitaka od ostatka vrijednosti imovine treba obuhvatiti samo njezin neoporezivi dio koji bi se ostvario povećanjem dobiti nakon poreza¹³. Osim rezidualne vrijednosti na kraju efektiranja oslobađa se i uneseni neto obrtni kapital te se isti kao i rezidualna vrijednost pripraja financijskom rezultatu. Ostatak vrijednosti koja se postiže oslobađanjem

¹⁰ Orsag, S. (2015) Poslovne financije. Zagreb: Avantis d.o.o., str. 209.

¹¹ Duspara, D. (2011) Alokacija i realokacija resursa temeljena na postevaluaciji investicijskih projekata. Magistarski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

¹² Orsag, S. (2002) Budžetiranje kapitala- Procjena investicijskih projekata. Zagreb: Masmedia d.o.o.

¹³ Duspara, D. (2011) Alokacija i realokacija resursa temeljena na postevaluaciji investicijskih projekata. Magistarski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

neto obrtnih sredstava objektivno je teško procijeniti u momentu proračuna financijske efikasnosti investicije¹⁴.

Rezidualna vrijednost, ovisno o projektu ili poduzeću može se izračunati na više načina ovisno o mogućnosti i pogodnosti izračuna, a neki od njih su: procjena na temelju očekivanih budućih novčanih tokova, likvidacijska vrijednost, trošak zamjene, P/E ili neki drugi multiplikator, knjigovodstvena vrijednost, pretpostavljena tržišna vrijednost ili procjena na temelju dividendi¹⁵. U pogledu investicijskih projekata s velikom vrijednošću dugoročne imovine, rezidualna vrijednost se uzima kao računovodstvena vrijednost tj. ne amortizirani dio vrijednosti dugoročne materijalne imovine.

Stoga se ukupna vrijednost investicije može iskazati kao zbroj čiste sadašnje vrijednosti (diskontiranih slobodnih novčanih tokova) i rezidualne vrijednosti, navedeni zbroj mora minimalno biti veći ili jednak iznosu investicije kako bi projektna investicija bila prihvatljiva, a što će biti detaljno objašnjeno u sljedećim poglavljima.

$$S_0 = NPV = \sum_{t=1}^T V_t \frac{1}{(1+k)^t} - I_0 + \sum_{t=1}^T R_v \frac{1}{(1+k)^t}$$

R_v - rezidualna vrijednost (engl. *residual value*)

2.2. Trošak kapitala

Pojam troška kapitala jedan je od središnjih ekonomskih pojmova, o kojem mnogi autori pišu te stoga postoji velik broj definicija koje ga opisuju. Isti se može promatrati s gledišta tvrtke ili gledišta investitora. Za tvrtku trošak kapitala predstavlja granični pokazatelj budžetiranja kapitala te pokazatelj efikasnosti. S gledišta investitora trošak kapitala određene tvrtke je upravo ona diskontna stopa prema kojoj se mogu diskontirati budući čisti novčani tokovi kako bi se procijenila

¹⁴ Duspara, D. (2011) Alokacija i realokacija resursa temeljena na postevaluaciji investicijskih projekata. Magistarski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

¹⁵ Orešković Sulje, O. (2010) Procjena vrijednosti poduzeća u realnom sektoru metodom diskontiranih novčanih tokova i metodom multiplikatora. Specijalistički poslijediplomski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

vrijednost kompanije ili projekta¹⁶. Jednostavniju definiciju troška kapitala možemo opisati kao naknadu koju tržište očekuje kako bi se privukla sredstva za određenu investiciju¹⁷. Također, u praksi troškom kapitala smatra se ponderirani trošak kapitala, a koji je definiran poglavljem 2.2.4.

Osim, u definiciji navedenog, vanjskog i eksplicitnog troška kapitala u obliku kamata postoji i implicitni trošak kapitala koji se definira kao minimalna razina profitabilnosti koja je potrebna kako bi se sačuvala vrijednost dionice tvrtke. Kako bi bilo moguće odrediti ukupan trošak potrebno je odrediti troškove pojedinih segmenata, a oni se mogu podijeliti u tri skupine: dug, povlašteni kapital, obični kapital¹⁸.

2.2.1. Trošak duga

Dug je najrašireniji oblik pribavljanja kapitala pri novim investicijama, naročito u zemljama sa slabo razvijenom tržišnom ekonomijom tj. tržištem kapitala koji ne daje veliku mogućnost financiranja putem burze tj. emitiranjem dionica ili obveznica. Trošak duga nastaje kao obveza iz ugovora kreditora i primatelja sredstava te je eksplicitno prikazan kroz kamatu koja je istim ugovorom utvrđena. Drugim riječima, trošak duga upravo je onaj trošak/kamatna stopa koju zahtijevaju davatelji kredita (duga)¹⁹.

Matematički gledano dug je jednostavno opisati, ukoliko je riječ o kreditu izražava se kroz efektivnu kamatnu stopu koju poduzeće plaća kreditorima. Ukoliko se poduzeće zadužilo kroz obveznice tada se trošak duga izražava kroz prinos do dospjeća tj. diskontnu stopu koja svodi nominalnu vrijednost duga na tržišnu vrijednost u trenutku dospjeća²⁰:

¹⁶ Baule, R. (2019) The cost of debt capital revisited. *Business Research*, Vol. 12, 2. izdanje, str. 721–753.

¹⁷ Pratt, S. P. i Grabowski, R. J. (2008) *Cost of Capital*. USA: John Wiley & Sons., str. 3.

¹⁸ Lilford, E., Maybee, B. i Packey, D. (2018) Cost of capital and discount rates in cash flow valuations for resources projects. *Resources Policy*, Vol. 59, str. 525-531.

¹⁹ Ehrhardt, M. C. i Brigham, E. F. (2011) *Financial Management: Theory and Practice*, Thirteenth Edition. USA: South-Western Cengage Learning, str. 340.

²⁰ Orsag, S. (2015) *Poslovne financije*. Zagreb: Avantis d.o.o., str. 556.

$$B_0 = \sum_{t=1}^T I_t \frac{1}{(1 + k_b)^t} + N \frac{1}{(1 + k_b)^T}$$

B_0 - vrijednost obveznice

k_b - prinos do dospijea (trošak duga)

Osim kamatne stope, dug karakterizira činjenica da smanjuje poreznu osnovicu za razliku od drugih troškova kapitala. Stoga je dug jeftiniji od ugovorene kamatne stope i to za veličinu poreza na dobit koji se obračunava na poreznoj osnovici. Isto možemo matematički prikazati²¹:

$$k_d = k_b(1 - T)$$

k_d - trošak duga nakon poreza

k_b - kamatna stopa

T - stopa poreza na dobit

2.2.2. Trošak povlaštenog kapitala

Preferencijalne dionice kao izvor financiranja poduzeća u većini slučajeva zauzimaju manji postotak u ukupnoj strukturi kapitala, ali svojim postojanjem i posebnim pravilima isplate dividende, koja se na njih odnosi, utječu na trošak kapitala poduzeća. Od duga se razlikuju jer se njihova "zajamčena" dividenda iz koje nastaje trošak kapitala može i ne mora isplatiti bez pravnih sankcija što uvodi nesigurnost u određivanje troška tj. podiže značenje implicitnog troška u odnosu na eksplicitni. Iako tvrtke ne moraju isplatiti dividendu povlaštene dionice, ipak one to u praksi čine. Razloga za isplatu je nekoliko, jedan od njih je da se ne mogu isplatiti dividende običnih dionica ukoliko se ne isplate dividende povlaštenih. Drugi je što ukoliko tvrtka stekne reputaciju da ne isplaćuje povlaštene dividende neće moći više uspješno prikupljati kapital na tržištu zbog smanjenog interesa za takve dionice. U nekim slučajevima takvo postupanje može dovesti do

²¹ Pratt, S. P. i Grabowski, R. J. (2008) Cost of Capital. USA: John Wiley & Sons., str. 41.

preuzimanja tvrtke od strane povlaštenih dioničara²². Trošak kapitala povlaštene dionice možemo matematički zapisati:

$$k_p = \frac{D_p}{P_p}$$

k_p - trošak povlaštenog kapitala

D_p - povlaštena dividenda

P_p - tržišna cijena preferencijalnih dionica

2.2.3. Trošak običnog kapitala

Dionice koje izdaje poduzeće nose sa sobom trošak običnog kapitala, a to je upravo onaj trošak pri kojem su investitori spremni kupiti dionice poduzeća. Navedeni trošak se izražava kroz dvije komponente dionice, a to su vrijednost dionice te potencijalne dividende. Zbog navedenog razloga teško je eksplicitno prikazati trošak običnog kapitala te je teoretski on u potpunosti implicitan.

Kako je navedeno, trošak običnog kapitala je implicitan, stoga ga je i teško izraziti preko matematičke vrijednosti koja bi odgovarala u svim slučajevima stvarnoj vrijednosti. Zbog toga postoje tri osnovna načina izračunavanja troška običnih dionica, a to su model sadašnje vrijednosti dividendi (npr. model konstantnog rasta dividendi ili Gordonov model), model vrednovanja kapitalne imovine te model troška duga plus premija rizika.

Model vrednovanja na temelju konstantnog rasta dividendi izračunava trošak običnog kapitala na temelju trenutnih vrijednosti dionica, očekivanih i trenutnih dividendi te očekivane stope rasta dividendi tj. na temelju omjera očekivanih dividendi i trenutne vrijednosti dionice uvećanih za očekivanu stopu rasta²³. Ovako definiran model je jednostavan i lako primjenjiv, ali je zbog toga jako osjetljiv na definiranu stopu rasta te se može primijeniti samo na poduzećima koja isplaćuju

²² Ehrhardt, M. C. i Brigham, E. F. (2011) Financial Management: Theory and Practice, Thirteen Edition. USA: South-Western Cengage Learning, str. 342.

²³ Orešković Sulje, O. (2010) Procjena vrijednosti poduzeća u realnom sektoru metodom diskontiranih novčanih tokova i metodom multiplikatora. Specijalistički poslijediplomski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

dividendu. Osim osnovnih modela postoje i modeli aproksimacije poput P/E odnosa²⁴. Navedeni model kapitalizacije zarada temelji se na omjeru zarade i cijene dionice te isti omjer predstavlja aproksimaciju troška glavnice, ukoliko bismo isti omjer korigirali za očekivanu stopu rasta tada bismo dobili realniji pokazatelj troška običnog kapitala.

Svi od navedenih modela imaju svoje mane tj. niti jedan ne jamči točan izračun troška kapitala obične glavnice, ipak najkorišteniji je CAPM (engl. Capital Asset Pricing Model). Isti na temelju razvijenog pravca tržišta vrijednosnih papira definira da je trošak običnog kapitala zahtijevana profitabilnost na ulaganja bez rizika koja je uvećana za premiju rizika pomnoženu beta koeficijentom, a model matematički glasi²⁵:

$$k_s = k_F + \beta(k_M - k_F)$$

k_F - nerizična kamatna stopa

β - mjera sistemskog, tržišnog rizika

k_M - očekivani prinos na tržišni indeks

k_s - trošak običnog kapitala

U kojem je beta koeficijent:

$$\beta = \frac{\text{cov}(k_s, k_M)}{\sigma^2(k_M)}$$

Beta koeficijent je mjera odnosa investicije i tržišta tj. prinosa određene dionice u odnosu na tržište. Na primjer, ukoliko beta koeficijent iznosi 3 tada će investicija rasti 3 puta brže od prosječne investicije na tržištu, tj. ukoliko tržište naraste za 1%, investicija/dionica će narasti za 3%²⁶.

²⁴ Orsag, S. (2015) Poslovne financije. Zagreb: Avantis d.o.o., str. 558.

²⁵ Ibid., str. 561.

²⁶ Vidyamurthy, G. (2004) Pairs trading: Quantitative Methods and Analysis. Canada: John Wiley & Sons, Inc., str. 5.

Nedostatak ovog modela je taj što se za izračun bete te očekivanog prinosa na tržišni indeks uzima izračun temeljen na povijesnim podacima, što može dovesti do velikih grešaka u kratkom razdoblju.

2.2.4. Prosječni ponderirani trošak kapitala

Kapital određene tvrtke se može sastojati od dionica, povlaštenih dionica te dugova (obveznica). Iako svaki od njih nastaje po određenim pravilima koja su drugačija od druga dva izvora, za tvrtku je ipak najbitniji ukupni trošak kapitala bez obzira na izvor. Stoga, kako bi se znao ukupni trošak kapitala pojedinog poduzeća potrebno je uzeti u obzir strukturu kapitala te trošak pojedinih komponenti u strukturi. Iz strukture kapitala vidljiv je udio pojedinog kapitala u ukupnom poduzeću tj. njegov postotak te na temelju toga računa se ponderirani trošak kapitala (WACC - engl. *weighted average cost of capital*) kao osnovni parametar troška kapitala²⁷:

$$k_A = WACC = w_d k_d (1 - T) + w_p k_p + w_s k_s$$

$k_A = WACC$ - ponderirani trošak kapitala

$w_{d,p,s}$ - udio pojedine vrste kapitala

T - porezna stopa poreza na dobit

Pri izradi analize novčanih tokova, tj. diskontiranih novčanih tokova, upravo je prosječni tj. ponderirani trošak kapitala osnovna diskontna stopa koja se primjenjuje na sve godine efektuiranja projekta. Kada bi u potpunosti htjeli točno izračunati diskontnu vrijednost budućih novčanih tokova, točniji bi postupak bio izračunavanje diskontne stope za svaku godinu, tj. uvažavanje promjene stanja troška kapitala u svakoj godini tj. njegovo potencijalno smanjenje ili povećanje nastalo na temelju smanjenja ili povećanja obaveza²⁸.

²⁷ Pratt, S. P. (2002) Cost of capital : estimation and applications - second edition. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 45.

²⁸ Lilford, E., Maybee, B. i Packey, D. (2018) Cost of capital and discount rates in cash flow valuations for resources projects. Resources Policy, Vol. 59, str. 525-531.

2.2.5. Trošak novoemitiranog kapitala

Analiza troška pojedinačnih oblika kapitala i iz toga izvedenog pokazatelja prosječnog troška kapitala izvedena je u "statičkim" uvjetima. Naime, analizirani su pokazatelji troška sa strane investitora tj. davatelja duga ili vlasnika dionice i promatran je njihov prihod kao trošak kapitala poduzeća u nekom trenutku poslovanja poduzeća kao odraz trenutnog stanja duga. No, ukoliko u određenom trenutku poduzeću bude potreban dodatan izvor kapitala, postavlja se pitanje da li je trošak "novog" izvora kapitala isti kao i trošak "starog" izvora kapitala.

Kada u trenutku t poduzeće sa stanjem kapitala x ima potrebu za dodatnim kapitalom, ono ga može pribaviti na jedan od gore navedenih načina tj. putem duga, dionica ili povlaštenih dionica, dok je u određenim slučajevima moguće nabaviti kapital kroz zadržanu zaradu tj. neisplate dijela dobiti. Postavlja se pitanje koja je veličina troška novog kapitala u odnosu na prethodno akumulirani. Pojavljuju se dva troška koja je potrebno uključiti u analizu troška kapitala, a to su povećana premija rizika, koja povećava osnovni trošak pribavljanja kapitala, te sam trošak pribavljanja²⁹, a isto možemo matematički prikazati:

$$k^* = \frac{k_j}{1 - f}$$

k^* - trošak novoemitiranog kapitala

k_j - trošak postojećeg kapitala

f - trošak emisije

Jasna je činjenica da što je poduzeće zaduženije to će se teže zadužiti te će uvjeti po kojima se zadužuje biti lošiji sa svakim novim dugom, isto tako emisijom novih dionica na tržište kapitala smanjit će se vrijednost postojećih što će kod investitora izazvati efekt većeg zahtijevanog prinosa tj. dividende na dionice u budućem razdoblju, a što znači veći trošak kapitala³⁰.

²⁹ Orsag, S. (2015) Poslovne financije. Zagreb: Avantis d.o.o., str. 566.

³⁰ Stretcher, R., Gutierrez, J. i Johnson, S. (2015) Illustrating Non-Constant Marginal Cost of Capital and the Interdependence of Independent Projects. Journal of Financial Education, vol. 41, str. 11-31.

2.2.6. Trošak akvizicije³¹

Navedene pretpostavke o trošku novoemitiranog kapitala vrijede za sve slučajeve novih investicijskih projekata, no ukoliko je riječ o investiciji u već postojeći pravni subjekt tada efekti ne moraju biti negativni po pitanju troška kapitala. Naime, investicija u akviziciju tvrtke može dovesti do smanjenje potrebe za kapitalom i to zbog dva razloga, prvi je ekonomija razmjera, a drugi je portfolio efekt kombiniranja tvrtki.

Gledajući prema efektu ekonomije razmjera, do smanjenja troška kapitala dolazi kada tvrtka akvizira postojeću tvrtku u svoju imovinu, tada nastaje "nova" tvrtka većeg obujma koja može emitirati više dionica i dugova te time smanjiti fiksni udio troška emisije te postići nižu cijenu kapitala tj. trošak kapitala. U slučaju portfolio efekta dolazi do diversifikacije poslovnog djelovanja što smanjuje rizik poslovanja, a time i stopu zahtijevanog prinosa od strane investitora što ima za posljedicu smanjenje troška kapitala.

2.3. Kriteriji financijskog odlučivanja

Definiranjem vremenske vrijednosti novca, slobodnih novčanih tokova i prosječnog troška kapitala stvoreni su preduvjeti za analizu investicijskog projekta. Analiza prihvatljivosti projekta provodi se temeljem kriterija financijskog odlučivanja koji su definirani u sljedećim poglavljima.

2.3.1. Kriterij razdoblja povrata

Najjednostavniji i najintuitivniji je kriterij analize, a temelji se na suočavanja čistog novčanog toka za vrijeme trajanja projekta s ukupnom investicijom. U razdoblju kada čisti novčani tokovi dosegnu razinu investicijskih troškova, ostvareno je razdoblje povrata projekta. Svi čisti novčani tokovi koje projekt generira nakon postignutog razdoblja povrata, predstavljaju zaradu za tvrtku. Matematički razdoblje povrata može se zapisati na sljedeći način³²:

³¹ Orsag, S. i Gulin, D. (1996) Poslovne kombinacije. Zagreb: Hrvatska zajednica računovođa i financijskih djelatnika.

³² Orsag, S. (2015) Poslovne financije. Zagreb: Avantis d.o.o., str. 508.

$$I_0 = \sum_{t=1}^{t_p} V_t$$

I_0 - investicijski troškovi

V_t - čisti novčani tokovi u promatranim razdobljima ($V_t = \sum(CI - CO)$)

t_p - razdoblje povrata

Prema ovom kriteriju bolji je onaj projekt koji u kraćem vremenskom razdoblju donosi povrat investiranog kapitala, a prihvatljiv je onaj čije je vremensko razdoblje povrata u skladu s željom investitora. Također, razdoblje povrata ulaganja daje grubu mjeru likvidnosti ulaganja (koliko brzo ćemo dobiti pozitivne novčane tijekove iz naše investicije). Međutim, budući da metoda povrata ulaganja ne govori o određenom razdoblju povrata koji maksimizira bogatstvo, ne možemo je koristiti kao primarni kriterij za provjeru ulaganja u dugotrajnu imovinu³³, ali nam služi kao početni kriterij investicijske odluke.

2.3.2. Kriterij diskontiranog razdoblja povrata

Razlika od običnog izračunavanja razdoblja povrata je ta da ova metoda uzima se u obzir vremensku vrijednost novca tj. da su prihodi vremenski bliže početku investicije vrijedniji za diskontni godišnji faktor od prihoda koji su dalji od početka investicije. Diskontirano razdoblje povrata je vrijeme potrebno za povrat ulaganja diskontiranih budućih novčanih tokova. Svaki novčani tok se diskontira na početak ulaganja po stopi koja odražava vremensku vrijednost novca i neizvjesnost budućih novčanih tokova. Navedena stopa je trošak kapitala, odnosno prinos koji zahtijevaju dobavljači kapitala (vjerovnici i vlasnici) kako bi im se nadoknadila vremenska vrijednost novca i rizik povezan s ulaganjem. Što su budućí novčani tokovi neizvjesniji, to je i veći trošak kapitala³⁴.

³³ Peterson, P. P. i Fabozzi, F. J. (2002) Capital Budgeting: Theory and Practice. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 63.

³⁴ Klarić, M. (2011) Isplativost proizvodnje vodika iz energije vjetra. Specijalistički poslijediplomski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

$$I_0 = \sum_{t=1}^{t_p} V_t \frac{1}{(1+k)^t}$$

k - diskontna stopa (prosječni trošak kapitala)

Kriterij odlučivanja, Isto kao i kod razdoblja povrata bez diskontiranja, govori da je bolji onaj projekt koji ima kraće vrijeme povrata. Ovaj kriterij je ipak bolji od kriterija bez diskontiranja jer se preko efekta diskontiranja novčanih tokova uvodi vremenska vrijednost novca te rizičnost projekta kroz prosječni trošak kapitala, te možemo zaključiti kako ovaj kriterij daje realniju vrijednost za odluku pri investiciji. Svejedno oba kriterija ne govore o periodu nakon točke pokrića tj. ne daju nam ukupnu ekonomsku vrijednost investicijskog projekta.

2.3.3. Kriterij čiste sadašnje vrijednosti (NPV)

Kriterij se izračunava sumiranjem diskontiranih čistih novčanih tokova kroz cijelo vrijeme trajanja projekta te se dobivane vrijednosti oduzimaju od iznosa investicije. Navedeno možemo prikazati³⁵:

$$S_0 = NPV = \sum_{t=1}^T V_t \frac{1}{(1+k)^t} - I_0$$

$S_0 = NPV$ (engl. *Net Present Value*) - čista sadašnja vrijednost

T - ukupno vrijeme trajanja investicije

Ukoliko je dobiveni iznos veći od nule tada je projekt prihvatljiv, ukoliko je manji projekt treba odbaciti jer smanjuje vrijednost tvrtke, dok je treća opcija da je $NPV=0$, tj. da je prinos jednak ulaganju. U odabiru dva projekta od kojih oba imaju pozitivnu vrijednost, bolji je onaj koji ima veću čistu sadašnju vrijednost. Ova metoda se smatra temeljnom metodom financijskog odlučivanja. Za razliku od kriterija razdoblja povrata, čista sadašnja vrijednost je mjera koja pokazuje koliko

³⁵ Ehrhardt, M. C. i Brigham, E. F. (2011) *Financial Management: Theory and Practice*, Thirteen Edition. USA: South-Western Cengage Learning, str. 384

će se bogatstvo vlasnika povećati investicijom, tj. pomoću ove metode mogu se identificirati projekti koji maksimiziraju bogatstvo investitora³⁶.

Ukoliko promatramo poduzeće kao cjelinu tada vrijednost poduzeća možemo prikazati metodom čiste sadašnje vrijednosti tj. diskontiranjem očekivanih novčanih tokova u poduzeće:

$$V_p = \sum_{t=0}^T NT_t \frac{1}{(1+k)^t}$$

V_p - sadašnja vrijednost poduzeća

NT_t - budući novčani tokovi u analiziranom periodu

k - ponderirani prosječni trošak kapitala

Vrijednost poduzeća ili projekta prema obje definicije povećava se ukoliko rastu budući novčani tokovi ili ako se smanjuje trošak kapitala, dok se u suprotnom vrijednost smanjuje. Upravo vrijednost NPV se uobičajeno koristiti pri definiranju isplativosti projekta te kasnijem upravljanju rizicima kako bi se zadržala vrijednost projekta ili poduzeća.³⁷

2.3.4. Kriterij interne stope profitabilnosti

Metoda interne stope profitabilnosti temelji se na metodi neto sadašnje vrijednosti, a predstavlja izračunatu diskontnu stopu pri kojoj čista sadašnja vrijednost ima vrijednost nula, tj. to je granična vrijednost profitabilnosti projekta³⁸.

$$I_0 = \sum_{t=1}^T V_t \frac{1}{(1+R)^t}$$

$R = IRR$ (engl. *Internal Rate of Return*) - interna stopa profitabilnosti

³⁶ Peterson, P. P. i Fabozzi, F. J. (2002) *Capital Budgeting: Theory and Practice*. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 75.

³⁷ Miloš Sprčić, D. i Sprčić, P. (2007) *Upravljanje financijskim rizikom u poduzećima članicama europskog udruženja trgovaca energijom*, Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu, Vol. 5 No. 1.

³⁸ Ross, S. M. (1999) *An Introduction to Mathematical finance: Options and Other Topics*. England: Cambridge University Press., str. 51.

Odluka na temelju stope profitabilnosti se donosi na temelju veličine stope, tj. što je stopa veća to je projekt bolji, dok je nulti kriterij odluke prema ovom pokazatelju usporedivost interne stope profitabilnosti s prosječnom stopom troška kapitala, ukoliko je stopa profitabilnosti veća onda je projekt prihvatljiv, a ukoliko je manja projekt se odbacuje.

Ovaj kriterij, iako se temelji na metodi čiste sadašnje vrijednosti, daje drugačiji osjećaj vrijednosti projekta jer direktno komparira stopu prinosa na uloženi kapital s troškom kapitala, tj. govori investitor koliki mu je prinos s obzirom na jedinicu uloženog kapitala.

Razlike između kriterija čiste sadašnje vrijednosti i interne stope profitabilnosti se događa kod projekata koji se međusobno isključuju te tada ove dvije metode daju potencijalno različite kriterije za odluku³⁹. Ukoliko je u ovom slučaju dva usporedna projekta dobiju različite vrijednosti kriteriji za odabir, tj. da projekt A favorizira IRR kriterij, a projekt B NPV kriterij tada je potrebno odabrati projekt B. Naime, čista sadašnja vrijednost ima apsolutnu točnost pokazatelja u odnosu na investicijski rezultat, zbog toga što NPV metoda obavlja izračun na temelju prosječnog troška kapitala, dok IRR metoda koristi sam IRR kao prosječni trošak kapitala što dovodi do grešaka kod međusobno isključivih projekata.

Iako se NPV i IRR smatraju osnovnim i temeljnim pokazateljima za procjenu investicije, samo se 61% tvrtki, u srednjoj i istočnoj Europi u 2013. godini, koristilo pokazateljima na temelju diskontiranog novčanog toka⁴⁰.

2.3.5. Modificirana interna stopa profitabilnosti

Kriterij modificirane interne stope profitabilnosti proizlazi iz uklanjanja nedostataka klasične metode interne stope profitabilnosti, tj. pretpostavke da je upravo IRR prosječni trošak kapitala. U slučaju modificirane stope koristi se prosječni trošak kapitala kao trošak reinvestiranja, ovim se točnije izračunava

³⁹ Birgham, E. F. i Ehrhardt, M. C. (2008) *Financial Management: Theory and Practice*. USA: Thomson South-Western, str. 386

⁴⁰ Andora, G., Mohanty, S. K. i Toth, T. (2015) *Capital budgeting practices: A survey of Central and Eastern European firms*, *Emerging Markets Review*, Vol. 23, str. 148-172.

profitabilnost pojedinog investicijskog projekta⁴¹. Modificirana interna stopa se može matematički opisati:

$$I_0(1 + M)^T = \sum_{t=1}^T V_t (1 + k)^{T-t}$$

$M = MIRR$ (engl. *Modified Internal Rate of Return*) - modificirana interna stopa profitabilnosti

Sve dok je MIRR veći od troška kapitala (tj. $MIRR >$ prosječni trošak kapitala), projekt treba prihvatiti. Ako je MIRR manji od troška kapitala, projekt ne osigurava prinos u skladu s količinom rizika projekta. MIRR se koristi za procjenu ulaganja u neovisne projekte i identificira one koji maksimiziraju bogatstvo vlasnika.

2.3.6. Indeks profitabilnosti

Ovaj financijski pokazatelj investicijskog projekta stavlja u razmjer ukupne diskontirane čiste novčane tokove i vrijednost investicije, a vrlo je jednostavnog izraza jer pokazuje koliki je ukupni prinos sredstava na jednu jedinicu uloženog⁴²:

$$P_I = \frac{\sum_{t=1}^T V_t \frac{1}{(1+k)^t}}{I_0}$$

P_I - indeks profitabilnosti (engl. *Profitability Index*)

Prema kriteriju odlučivanja, bolji je onaj koji je veći, a dok se odbacuje onaj koji je manji od jedan (1) jer taj doprinosi manje nego što je u njega uloženo. Odbijanje ili prihvaćanje ulaganja s P_I većim od 1 u skladu je s odbijanjem ili prihvaćanjem ulaganja čija je NPV veća od 0. Međutim, u rangiranju projekata P_I može rezultirati jednim redom, dok bi NPV rangirala iste projekte drugačije, isto se može dogoditi kada se rangiraju projekti koji zahtijevaju različite iznose investicije⁴³.

⁴¹ Dedi, L. (2006) Istraživanje opcija kao mogućnosti unaprjeđenja financijske analize. Doktorski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

⁴² Birgham, E. F. i Ehrhardt, M. C. (2008) *Financial Management: Theory and Practice*. USA: Thomson South-Western, str. 400

⁴³ Peterson, P. P. i Fabozzi, F. J. (2002) *Capital Budgeting: Theory and Practice*. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 80.

Osim navedenih pokazatelja postoje i druge metode koje se mogu koristiti u investicijskoj analizi pri donošenju konačnih odluka o investiranju, ali ukoliko su ulazni podatci u model budžetiranja osnovani i dobri onda će i navedeni parametri biti sasvim dovoljni da bi se donijela odluka o investiciji.

3. Temeljne vrste rizika i metode upravljanja rizicima

Uz pretpostavku da su svi relevantni dugoročni projekti postupili prema pravilima budžetiranja kapitala postavlja se pitanje zašto su neki od projektnih investicija bili neuspješna investicija, tj. nisu ostvarili onaj financijski učinak koji je bio zamišljen i analizom potkrepljen. Očigledno je da je svaka investicija zavisna o poslovnom okruženju u kojem nastaje ili se aktualizira te da isto poslovno okruženje ima inherentno svojstvo neizvjesnosti tj. da postoji mogućnost da stvari neće ići onako kako je zamišljeno i kako je u financijskoj analizi predstavljeno. Neizvjesnost u poslovnom okruženju možemo definirati kao poznavanje nekog stanja u kojem se kao posljedica neke odluke može pojaviti niz rezultata, a vjerojatnost njihova ostvarivanja nije poznata donosiocu odluke ili je poznata u takvoj mjeri da se ne može zanemariti⁴⁴.

S toga ne možemo nikad sa 100% sigurnošću garantirati da će se određena investicija provesti upravo onako kako je zamišljena te da će njeni efekti biti pozitivni na poduzeće koje je poduzima. Iz navedene neizvjesne budućnosti u kojoj će se projekt realizirati proizlaze rizici projekta koje je potrebno detektirati kako bi se izbjegle neželjene financijske posljedice za vrijeme efektuiranja projektne investicije.

Možemo zaključiti da nesigurnost koja proizlazi iz nepoznavanja budućnosti u poslovnom okruženju se definira kao projektni rizik tj. kao rizik. Stoga, svaki projekt, a posebice realne dugoročne investicije u sebi sadrže rizik, dok u nekim slučajevima razina rizika korespondira s razinom potencijalne dobiti tj. što je veći rizik veća je i potencijalna dobit. Iako navedeno nije uvijek točno, može se svesti na uzrečicu "tko ne riskira, ne profitira" što je česta doskočica bilo u poslovnom ili ne-poslovnom okruženju. Iz gore obrazloženog, jasno je da rizik ne predstavlja samo negativnost ili prijetnju projektu nego da ga se može prezentirati i kao mogućnost tj. priliku za projekt⁴⁵. U pogledu poslovnog rizika, on ne smije ostati

⁴⁴ Orsag, S. (2015) Poslovne financije. Zagreb: Avantis d.o.o., str. 239.

⁴⁵ Verbano, C. i Venturini, K. (2013) Managing Risks in SMEs: A Literature Review and Research Agenda. J. Technol. Manag. Innov., Vol. 8, Issue 3, str. 186 - 197.

samo na osjećaju, iskustvu i instinktu pojedinca nego je potrebno s istim upravljati na primjer kao što se upravlja i sa financijama u poduzeću iako su i one iskustveno i instinktivno shvatljive, ali takav pristup koji ne bi bio sustavan ne bi donosio željene rezultate.

Kako bi se onda definirao rizik, a pritom integrirali njegove pozitivne i negativne aspekte možemo zaključiti kako je rizik nesiguran događaj ili uvjet koji ukoliko se dogodi će imati pozitivan ili negativan učinak na projektne ciljeve⁴⁶. Ovom definicijom se udaljavamo od klasičnih definicija rizika, koje su ga apriori definirali u negativnom kontekstu tj. kao događaj koji ukoliko se dogodi rezultirati s negativnim učincima na projekt ili poduzeće⁴⁷. Iz prakse je vidljivo da je gore dana definicija koja uključuje pozitivne i negativne aspekte rizika puno bolja, životnija i realnija.



Slika 2. Rizik kao prijetnja, ali i prilika⁴⁸

Stoga, možemo zaključiti kako rizik predstavlja opasnost, ali i priliku ili bolje rečeno rizik predstavlja prijetnju i priliku jer ukoliko bi se fokusirali samo na

⁴⁶ Chapman, C. i Ward, S. (2003) Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights. England: John Wiley & Sons, Ltd., str. 6.

⁴⁷ 4. Aven, T. (2016) Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. European Journal of Operational Research, Vol. 253, str. 1-13.

⁴⁸ Five key steps for managing future business risk, dostupno na mrežnim stranicama: <https://www.patchapmanpincher.com/blog/five-key-steps-for-managing-future-business-risk/> [15. rujna 2018.]

prijetnju mogli bismo iz vida ispustiti prilike koje isti potencijalno donosi⁴⁹. U pogledu upravljanja rizicima ovakav pogled na rizik donosi drugačiji pogled prema problematici, ali i nove mogućnosti upravljanjima rizicima.

Ukoliko prihvatimo gore navedenu definiciju rizika i ustvrdimo da on predstavlja opasnost, ali i priliku, sljedeći logičan korak je ustanoviti načine djelovanja kako bi se potencijalne prilike pretvorile u dodatni uspjeh te potencijalne prijetnje zaobišle ili ublažile njihovo djelovanje. Kako bi navedeno mogli uspješno obavljati jasno je da rizicima moramo upravljati tj. kako se upravljanje rizicima mora uključiti u samom startu projektnog planiranja te kako aspekt rizika treba utjecati i na sami investicijski projekt, tj. mora biti integralni dio investicijskog projekta ili poduzeća kao cjeline. Možemo pretpostaviti proces upravljanja rizicima na sljedeći način, a to je da kažemo da postoji bazni scenarij za određeni projekt, u smislu investicije i prinosa investicije tj. njenih pozitivnih učinaka te da isto možemo modelirati preko pravila budžetiranja kapitala prikazanih u prethodnom poglavlju. U isti bazni scenarij, moramo uključiti i detektirane rizike te predložiti mjere s obzirom na razinu neizvjesnosti određenog događaja tj. rizika⁵⁰. Takav bazni scenarij je polazna točka za razmatranje potencijalnog investicijskog projekta.

Kada se na prethodno razmatran plan primjeni cijeli aspekt pronađenih rizika mogu se definirati i planovi intervencija tj. planovi suzbijanja određenih rizika koji su detektirani kao najvažniji ili najizgledniji, a koji će dovesti do toga da će minimizirati potencijalne negativne učinke. Upravo ovakvo planiranje i ponašanje u sklopu projekta, poduzeća nazivamo upravljanje rizicima⁵¹. Upravljanje rizicima kao takvo mora biti integrirano u svim mogućim scenarijima koji su razvijeni za određeni projekt, bilo bazni bilo interventni scenariji. Upravljanje projektnim rizikom obično je povezano s razvojem i procjenom planova za nepredviđene događaje koji podupiru planove temeljene na aktivnostima, ali učinkovito upravljanje projektnim rizikom bit će ključno za izradu osnovnih planova i mogućih planova intervencija. Planiranje i upravljanje rizikom u tom smislu su integrirani i cjeloviti.

⁴⁹ Miloš Sprčić, D. (2013) Upravljanje rizicima. Zagreb: Sinergija-nakladništvo d.o.o., str. 19.

⁵⁰ Hassani, B. K. (2016) Scenario Analysis in Risk Management: Theory and Practice in Finance. Switzerland: Springer International Publishing., str. 4.

⁵¹ Miloš Sprčić, D. (2013) Upravljanje rizicima. Zagreb: Sinergija-nakladništvo d.o.o., str. 20.

Slično tome, upravljanje krizama nije alternativa upravljanju rizicima, ono je posljedica neuspjeha upravljanja rizicima. Samo ako se upravljanje rizicima ne uspije, ili se jednostavno ne riješi, upravljanje krizama postaje dominantni način upravljanja⁵².

3.1. Vrste rizika

Kada je poduzeće odlučilo da će upravljanje rizicima uključiti u model upravljanja poduzećem te projektnim investicijama, bitno je utvrditi sustavni pristup problematici. Jedan od prvih koraka je definicija specifičnih rizika za određeni poslovni poduhvat, no svi rizici se mogu podijeliti u neke od skupina rizika kako bi se o njima moglo lakše raspravljati te donijeti mjere upravljanja istima. U tom pogledu rizike možemo podijeliti koristeći razne oblike podjela, ovisno o autorima koji se bave problematikom rizika.

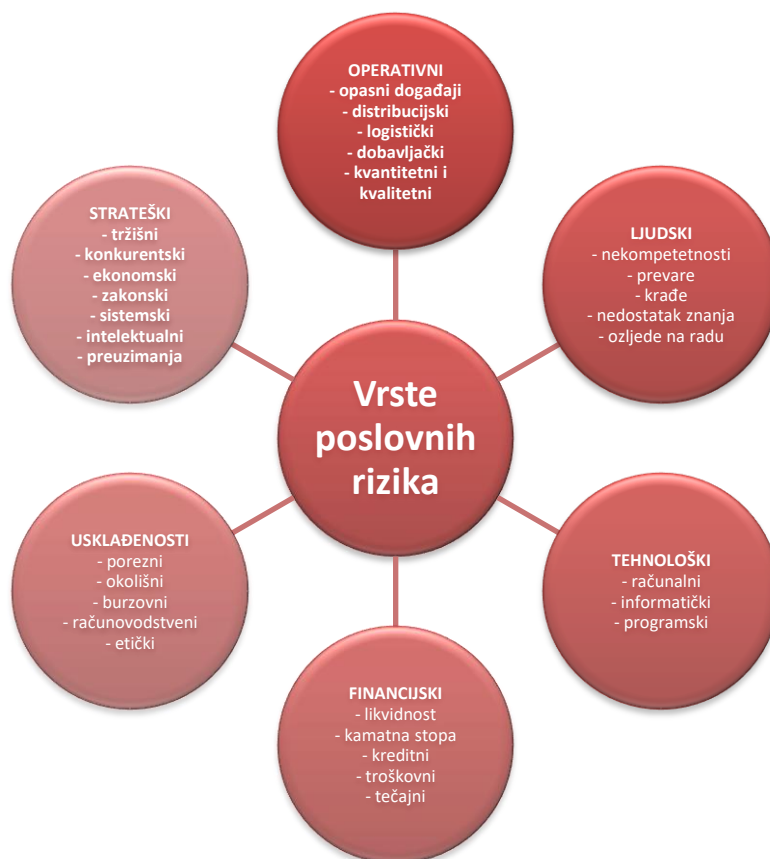
Rizike možemo podijeliti s obzirom na mjesto nastanka kao eksterne i interne rizike. U tom pogledu u eksterne rizike spadaju svi oni rizici nad kojima nemamo direktnu kontrolu tj. nastaju neovisno o poslovnom poduhvatu i takvi rizici su npr. politički, ekonomski, okolišni, legalni itd. U interne rizike spadaju oni koji se događaju unutar poduzeća tj. investicijskog projekta, a to bi bili npr. financijski, operativni, ljudski, tehnološki, rizik vlasništva itd⁵³. Ovakva podjela rizika ne pomaže u daljnjoj razradi i grupaciji rizika jer ih dijeli na samo dvije kategorije, a koje međusobno djeluju jedna na drugu. Pitanje podjele na vrste rizika ovisi i o svrsishodnosti iste podjele, značajno ovisi o načinu upravljanja rizicima te o samoj industriji s kojom se rizici bave, tj. je li riječ o financijskoj ili realnoj. Prema jednoj od teorija/praksi rizike za poduzeća možemo podijeliti u dvije grupe, a to su poslovni i financijski rizik⁵⁴. Poslovni bi se odnosio na operativne, pravne, zakonodavne rizike, dok se u financijski rizik uključuje tržišni, kreditni i rizik

⁵² Chapman, C. i Ward, S. (2003) Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights. England: John Wiley & Sons, Ltd., str. 13-15.

⁵³ Hampton, J. J. (2009) Fundamentals of enterprise risk management : how top companies assess risk, manage exposure, and seize opportunity. USA: AMACOM., str. 33.

⁵⁴ Udovičić, A. i Kadlec, Ž. (2013) Analiza rizika upravljanja poduzećem, Praktični menadžment, Vol. IV, br. 1, str. 50-60.

likvidnosti. Navedenu podjelu možemo i dalje proširiti na četiri kategorije, a to su operativni, financijski, strateški te rizik opasnosti⁵⁵. Sljedeća vrsta podjele rizika je na šest kategorija u koje se individualni rizici mogu lakše svrstati. U tom pogledu šest kategorija rizika bili bi: strateški, operativni, ljudski, financijski, tehnološki te rizik usklađenosti.



Slika 3. Podjela na 6 kategorija rizika⁵⁶

3.1.1. Strateški rizici

Strateški rizici su najviša kategorija rizika te nad njima ne možemo u potpunosti imati kontrolu, ali na njih se mora obraćati najviše pažnje u dugoročnom planiranju jer male promjene u okolini koje mogu proizaći iz promjena koje prouzrokuju

⁵⁵ Verbano, C. i Venturini, K. (2013) Managing Risks in SMEs: A Literature Review and Research Agenda. J. Technol. Manag. Innov., Vol. 8, Issue 3, str. 186 - 197.

⁵⁶ Sadgrove, K. (2016) The Complete Guide to Business Risk Management. England: Routledge Taylor & Francis Group., str. 26-30.

strateški rizici mogu potpuno uništiti investiciju tj. smanjiti njen očekivani doprinos⁵⁷. U strateške rizike mogu se ubrojiti rizici tržišta, rizici konkurencije, ekonomski rizik, zakonski rizici, intelektualni rizici, rizik preuzimanja, sistemski rizik, i drugi. Vidljivo je da ovi rizici proizlaze iz okruženja u kojem poduzeće posluje tj. tržišta/države u kojoj je odlučilo poslovati, stoga je prije investicije potrebno istražiti i analizirati sve potencijalne strateške rizike te uvidjeti postoje li znakovi potencijalnih promjena koji bi mogli obezvrijediti investiciju. U tom pogledu može se istaknuti zakonski rizik, a to su oni rizici proistekli iz neusklađenosti investicije s zakonom, nekih dijelova investicija poput ugovora ili ukoliko za vrijeme investicije dođe do direktnih promjena zakona koji reguliraju određenu djelatnost, kao što bi npr. bile zabrana prodaja određene vrste duhanski proizvoda za duhansku industriju. Sa zakonskim, tržišnim i drugim rizicima se može upravljati, ali se ne može upravljati sa sistemskim rizikom koji bi bio rizik urušavanja cijelog financijskog sustava⁵⁸ tj. i ekonomskog sustava te se na njega ne može djelovati.

3.1.2. Operativni rizici

Operativni rizici su oni rizici koji proizlaze iz svakodnevnog poslovanja tvrtke tj. investicijskog projekta te su u tom smislu jako široka kategorija rizika. U operativne rizike prema gore navedenoj kategorizaciji spadali bi rizik opasnih događaja (požar, poplava), distribucijski, logistički, dobavljački rizici, rizik kvalitete, rizik neadekvatnih pravila itd. Kao što je vidljivo oni ovise o samoj sposobnosti poduzeća da osigura siguran cjelokupni sistem proizvodnje od nabave ulaznih sirovina, proizvodnje do distribucije i prodaje te da pritom proizvod zadovoljava sve istaknute standarde i kvalitete. Dok bi s druge strane bili operativni rizici koji mogu poremetiti uhodani proces poput požara i poplava te druge opasnosti kojima je određeni projekt izložen⁵⁹.

⁵⁷ Wissem, E. (2013) Risks Management: New Literature Review. Polish journal of management studies, vol. 8, str. 288-297.

⁵⁸ Hassani, B. K. (2016) Scenario Analysis in Risk Management: Theory and Practice in Finance. Switzerland: Springer International Publishing., str. 14.

⁵⁹ Green, P. E. J. (2016) Enterprise Risk Management. England: Elsevier Inc., str. 59.

3.1.3. Rizik ljudskih resursa

Ljudski rizici su ona skupina rizika koji proizlaze direktno iz grešaka zaposlenika bilo da su slučajno ili namjerno nastali. Ove rizike se često ubraja i u operativne, ali u gore navedenoj klasifikaciji oni su izdvojeni samostalno. Glavni tipovi ljudskih rizika bili bi prevara, krađa, nekompetentnost, nedostatak talenta, ozljede na radu itd. U većini poduzeća postoji odjel upravljanja ljudskim resursima te možemo reći da su oni zaduženi za umanjivanje ljudskih rizika kroz pravilnu selekciju, edukaciju i ostale metode upravljanja ljudskim rizicima⁶⁰.

3.1.4. Tehnološki rizik

Tehnološki rizici obuhvaćaju široku skupinu rizika koja proizlazi iz korištenja tehnoloških rješenja, ponajprije informatičke tehnologije⁶¹. Istaknuti rizici iz ove skupine bi bili rizik greške računalnih sustava, rizik sustava upravljanja kompanijom, rizik cyber napada, rizik tehnoloških promjena, rizik lošeg korištenja tehnologije i tehnoloških rješenja. U drugim klasifikacijama, ovaj rizik je često podijeljen između sektora operativnih i tržišnih rizika, ali svog sve većeg utjecaja tehnologije i IT rješenja na ukupan poslovni proces, smisleno je ovakvu vrstu rizika posebno kategorizirati.

3.1.5. Financijski rizici

Financijski rizici zahvaćaju širok spektar rizika koji imaju direktan utjecaj na poslovanje poduzeća kroz povećanje ili smanjenje količine novca, bilo dugoročno ili kratkoročno. Neki od financijskih rizika su rizik likvidnosti, kreditni rizik, kamatni rizik, rizik profitabilnosti, tečajni rizici, troškovni rizici. Za sve investicijske projekte posebno su važni rizici likvidnosti i kreditni rizici jer neuspješno upravljanje s njima dovodi do stečaja ili bankrota poduzeća. Prema pojedinim stručnjacima u

⁶⁰ Sadgrove, K. (2016) The Complete Guide to Business Risk Management. England: Routledge Taylor & Francis Group., str. 280.

⁶¹ Hampton, J. J. (2009) Fundamentals of enterprise risk management : how top companies assess risk, manage exposure, and seize opportunity. USA: AMACOM., str. 213.

financijski rizik spada i tržišni rizik, a koji je definiran varijablama kamatnih stopa, tečajnih razlika, cijenama kapitala i robe⁶².

Rizik likvidnosti možemo definirati kao rizik da novčani primici poduzeća neće biti dovoljni za pokrivanje novčanih izdataka, dok kreditni rizik predstavlja nesposobnost poslovnog partnera da podmiri dospjele obveze ili izvrši dogovorenu poslovnu transakciju⁶³.

3.1.6. Rizik usklađenosti

Navedena skupina rizika obuhvaća sve one koji proizlaze iz neusklađenosti poslovanja s općim normama, zakonskim propisima, etičkim standardima i drugim uzancama koji mogu dovesti do kazni te financijskih gubitaka. U navedenu kategoriju spadaju porezni rizik, okolišni rizik, burzovni rizik, rizik interne kontrole i revizije, računovodstveni rizik te etički rizik. Primjer možemo naći u računovodstvenom riziku kada bi unutarnja služba računovodstva ili vanjska usluga računovodstva pogrešno primjenjivala norme knjiženja te bi zbog toga pri dolasku porezne inspekcije poduzeće bilo novčano kažnjeno⁶⁴.

3.2. Model upravljanja rizicima

Kako je u prethodnim poglavljima vidljivo, rizici su prisutni u svakom poslovnom poduhvatu, tj. investicijskom projektu te uvelike mogu utjecati na njegovo ostvarenje. Stoga bi bilo očekivano da svaki veći projekt, s aspekta investitora, radi procjenu rizika te da definira kako upravljati rizicima s obzirom na detektirane uzroke i mogućnosti ostvarenja pojedinih rizika.

Upravljanje rizikom (engl. risk management) je proces mjerenja, procjene rizika i razvoja strategija za kontrolu rizika, dok širi pojam menadžmenta rizika obuhvaća

⁶² Skoglund, J. i Chen, W. (2015) Financial risk Management: Applications in Market, Credit, Asset and Liability Management and Firmwide Risk. USA: SAS Institute Inc., str. 3.

⁶³ Miloš Sprčić, D. (2013) Upravljanje rizicima. Zagreb: Sinergija-nakladništvo d.o.o., str. 28.

⁶⁴ Hampton, J. J. (2009) Fundamentals of enterprise risk management : how top companies assess risk, manage exposure, and seize opportunity. USA: AMACOM., str. 213.

cjelovit proces identifikacije, procjene i analize rizika⁶⁵. U današnjem okruženju te trendovima, upravljanje rizicima bi trebalo usmjeriti ka menadžmentu rizika prema navedenoj definiciji, tj. to bi trebao biti širok proces cjelokupnog razumijevanja postojanja rizika, njegovih izvora koji proizlaze iz okoline te iz unutarnjih prilika u poduzeću. Kako bi se moglo dobro procijeniti rizike i njihov utjecaj na poslovni poduhvat potrebno je prvo detektirati sve bitne karakteristike okruženja, industrije u kojoj poduzeće djeluje, karakteristike vlastitog poslovanja te konkurentske strategije⁶⁶. Za provođenje detekcije gore navedenih karakteristika koriste se standardni instrumenti koja poduzeća i uobičajeno koriste pri svakoj analizi investicija. Stoga bi za dobru podlogu za daljnje razmatranje rizika trebalo redom napraviti:

- PESTLE analizu
- Porterov model pet konkurentskih sila
- Analizu konkurentske strategiju poduzeća
- SWOT analizu

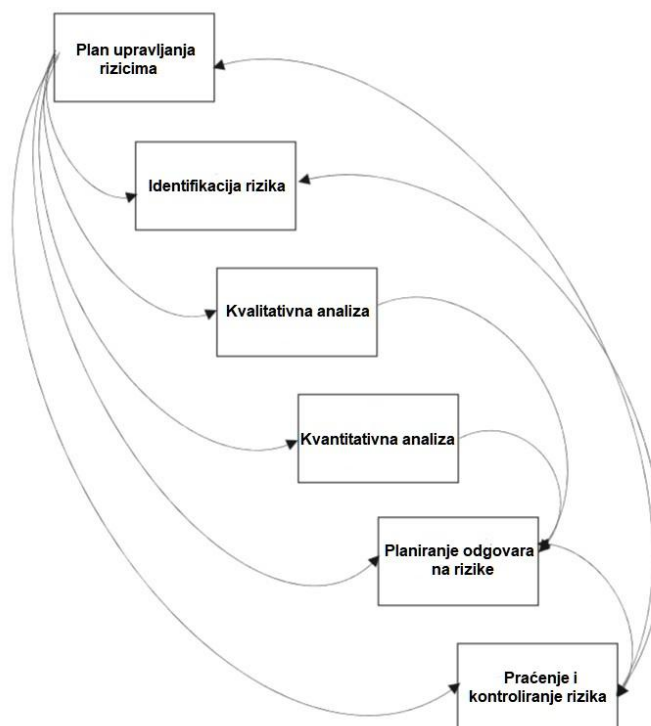
PESTLE analiza služi za analizu okruženja tj. identifikaciju značajki političkog, ekonomskog, društvenog, tehnološkog te ekološkog okruženja. Porterov model pet konkurentskih sila se spušta stepenicu niže od cjelokupnog okruženja na industrijsko okruženje, tj. na analizu poduzeća u sklopu istog sektora u kojem djeluju. Analizom konkurentske strategije poduzeće analizira vlastitu poslovnu strategiju tj. čime konkurira na tržištu tj. je li se baziralo na troškovno vodstvo (proizvodi niže cijene u odnosu na konkurenciju) ili na diferencijaciju (proizvodi bolje kvalitete uz prosječne troškove sektora). Zadnja stepenicu u predloženom postupku analizi je SWOT analiza kojom se detektiraju prednosti i nedostaci poduzeća kroz snage, slabosti, prilike i prijetnje poduzeću, dok su snage i slabosti inherentne poduzeću prilike i prijetnje proizlaze iz okruženja te se nastavljaju na već provedene analize.

Nakon dobro napravljenih analiza okruženja i poduzeća sljedeći koraci u menadžmentu rizika su direktno vezani za rizik, a to su: identifikacija rizika,

⁶⁵ Udovičić, A. i Kadlec, Ž. (2013) Analiza rizika upravljanja poduzećem, Praktični menadžment, Vol. IV, br. 1, str. 50-60.

⁶⁶ Miloš Sprčić, D. (2013) Upravljanje rizicima. Zagreb: Sinergija-nakladništvo d.o.o., str. 85.

kvalitativna analiza, kvantitativna analiza, planiranje reakcija na detektirane rizike te konstanto nadgledanje i kontrola rizika, kao što je pregledno prikazano na slici 4⁶⁷.



Slika 4. Proces upravljanja rizicima⁶⁸

3.2.1. Identifikacija rizika

Identifikacija rizika je organizirani, temeljiti pristup pronalaska rizika određenog investicijskog projekta⁶⁹. Identifikacija rizika je temeljni proces upravljanja rizicima, tj. daljnji koraci neće biti dobri ukoliko rizici nisu dobro identificirani te stavljeni u kontekst određenog scenarija te pritom nisu dobro identificirane potencijalne posljedice rizičnog događaja, bile pozitivne ili negativne.

⁶⁷ Pritchard, C. L. (2015) Risk Management Concepts and Guidance. London: Taylor & Francis Group, LLC., str 24.

⁶⁸ Pritchard, C. L. (2015) Risk Management Concepts and Guidance. London: Taylor & Francis Group, LLC., str 24.

⁶⁹ Pritchard, C. L. (2015) Risk Management Concepts and Guidance. London: Taylor & Francis Group, LLC., str 33.

Metode identifikacije rizika su razne, ali sve proizlaze iz poznavanja okoline, poduzeća, investicijskog projekta te ciljeva projekta, to su na primjer: intervju s ekspertima, analogijske usporedbe, Delphi tehnika, razne vrste brainstorming tehnika, Crawford metoda. Npr. Crawford metoda uključuje uspostavljanje jasne premise ili pitanja, a zatim svi sudionici procesa na papiru zapisuju odgovore na tu premisu. Koristeći istu premisu, postupak se ponavlja 10 puta (po Crawfordu) kako bi se izvukli svi dostupni podaci. Iako postoji velika sličnost među početnim odgovorima, oni koji se dobiju u višim stupnjevima ponavljanja predstavljaju teže identificirljive probleme i rizike koji se u suprotnom nikada ne bi otkrili⁷⁰. One u svakom slučaju ne zahtijevaju matematičku pozadinu nego traže opširnu opisnu analizu predloženih rizika te njenih posljedica. Izlazni produkt faze identifikacije rizika je lista relevantnih rizika nastala jednom ili više tehnika. U pogledu rizika financijskih ulaganja, poput ulaganja u obveznice ili dionice, pri identifikaciji rizika potrebno je poznavati informacije iz okruženja kao što su informacije o izdavatelju (državi ili tvrtki), valuti u kojoj se vrši ulaganje, vrste mogućih osiguranja te vrijeme dospjeća⁷¹.

3.2.2. Kvalitativna analiza

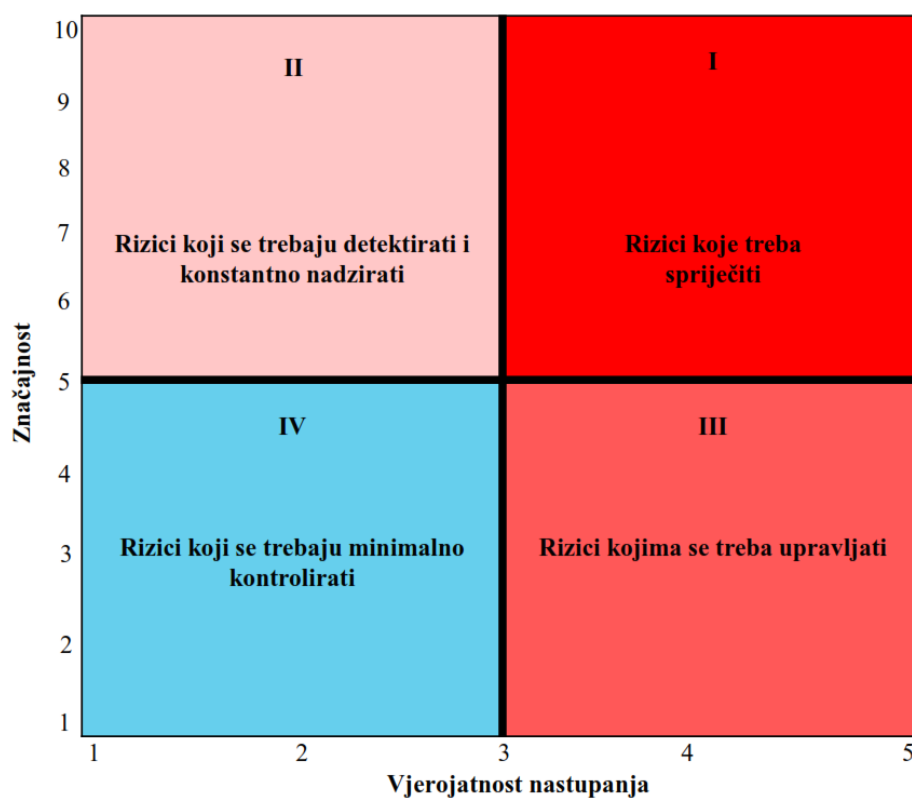
Kvalitativna analiza je proces analize liste rizika te dodjeljivanje brojčanih kategorija značajnosti i vjerojatnosti nastupanja svakom pojedinom riziku. Svi rizici imaju određenu vjerojatnost događanja od 0% do 100%, što se može skalirati na razne skale kako analiza bila bolja, npr. od 1 do 10 ili od 1 do 5. Drugi dio kvalitativne analize je kategorija značajnosti ili utjecaja na investicijski projekt tj. hoće li rizik imati mali ili veliki utjecaj ukoliko se dogodi. Bitno je naglasiti da su sve procjene temeljene na subjektivnom dojmu sudionika procesa, radionica, anketa ili drugih metoda kojim se kvalitativna analiza obavila.

Provedena kvalitativna analiza se može prikazati tablično ili grafički. Jedan od grafičkih prikaza je mapa rizika na kojoj rizici rangiraju prema značajnosti i

⁷⁰ Pritchard, C. L. (2015) Risk Management Concepts and Guidance. London: Taylor & Francis Group, LLC., str 143.

⁷¹ Cherubini, U. i Della Lunga, G. (2007) Structured Finance: The Object-Oriented Approach. England: John Wiley & Sons, Ltd., str. 236.

vjerojatnosti u zamišljenom koordinativnom sustavu koji je podijeljen na 4 kvadranta⁷². Ovisno o kvadrantu u kojem se nalazi, riziku treba pristupiti s određenom pažnjom. Ukoliko se nalazi u prvom kvadrantu rizik je opasan i treba ga spriječiti, dok ukoliko se nalazi u četvrtom kvadrantu može ga se skoro i zanemariti ili minimalno nadzirati (Slika 5).



Slika 5. Mapa rizika⁷³

3.2.3. Kvantitativna analiza

Kvantitativna analiza je proces numeričkog analiziranja učinaka identificiranih rizika na ciljeve projekta. Ove metode pružaju dublje razumijevanje rizika projekta i

⁷² Miloš Sprčić, D. (2013) Upravljanje rizicima. Zagreb: Sinergija-nakladništvo d.o.o., str. 105.

⁷³ Miloš Sprčić, D. (2013) Upravljanje rizicima. Zagreb: Sinergija-nakladništvo d.o.o., str. 106.

moгу se koristiti za procjenu cjelokupnog rizika projekta⁷⁴. Kvantitativna analiza uključuje statističke metode te razne tehnike i alate poput analize osjetljivosti, procjene očekivanih troškova (za negativan rizik), procjenu očekivane vrijednosti (EMV) kao i kvantitativne metode odlučivanja u uvjetima nesigurnosti - stablo odlučivanja, tehnike modeliranja i simulacije, PERT procjene. Na primjer PERT procjena se temelji na definiranju matematičkih jednažbi te utvrđivanja najboljeg i najgoreg scenarija koji se onda težinski uspoređuju s osnovnim scenarijom. Na temelju toga definira se PERT srednja vrijednost i standardna devijacija na temelju kojeg se donose odluke o mogućnosti ostvarenja predviđenih ciljeva baziranih na PERT mreži ciljeva i vremenu trajanja⁷⁵.

U pogledu mjera proizašlih iz kvantifikacije rizika najčešće se koriste rizična vrijednost (Var) ili rizični novčani tok (CFaR). Pritom je rizična vrijednost definirana kao jedinstvena, sumarna statistička mjera maksimalno moguće promjene vrijednosti portfelja financijskih instrumenata s određenom vjerojatnošću tijekom određenog vremenskog razdoblja procjene. Uobičajeno se odnosi na maksimalni mogući gubitak određenog portfelja u jednom danu sa statističkom pouzdanošću od 95% ili 99% te je ova mjera primjerena financijskim institucijama. Rizični novčani tok predstavlja maksimalni gubitak neto generiranog novčanog toka, u odnosu na određeni ciljani nivo, koji se može dogoditi uslijed izloženosti određenim rizicima u određenom periodu i uz određenu razinu pouzdanosti. Ova mjera kvantitativne analize je primjerena realnim dugoročnim investicijama i govori uz određenu stopu vjerojatnosti da zamišljeni novčani tok ne bi trebao odstupati u iznosu većem od izračunatog.⁷⁶

Izračun navedenih mjera provodi se simulacijskim scenario analizama poput povijesne simulacije, metode varijance-kovarijance te Monte Carlo simulacije. O

⁷⁴ Pijuk, A. (2016) Upravljanje rizicima projekata i usporedba dvaju alata za upravljanje rizicima na primjeru projekta razvoja softvera. Završni rad. Split: Ekonomski fakultet Split, Sveučilište u Splitu.

⁷⁵ Pritchard, C. L. (2015) Risk Management Concepts and Guidance. London: Taylor & Francis Group, LLC., str 235.

⁷⁶ Miloš Sprčić, D. i Radić, D. (2011) Kvantifikacija izloženosti rizicima - usporedba i ocjena metoda Var i CFaR. Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu, Vol. 9(1), str. 55-70.

simulacijskim metodama i načinima simulacija više će biti elaborirano u sljedećim poglavljima.

3.2.4. Planiranje odgovara na rizike

Nakon što su na raspolaganju sve informacije o utjecaju rizika na poslovni poduhvat potrebno je donijeti mjere odgovara na identificirane rizike. U pogledu odgovora na rizike možemo definirati dvije skupine, prvu koja proizlazi iz negativnih strana rizika ili prijetnji te drugu koja proizlazi iz pozitivnih strana ili prilika⁷⁷.

Upravljanje negativnim stranama rizika obavlja se preko⁷⁸:

- Izbjegavanja rizika - metode smanjenja mogućnosti nastanka rizika putem izbacivanja dijela projekta, potencijalne izmjene ili odustajanja od projekta.
- Transfera rizika - prenošenje rizika na neku drugu pravnu osobu preko modela osiguranja, podizvođača, partnerskih poduzeća, dobavljača ili kupaca.
- Smanjenje rizika - razne metode smanjenja nastanka rizika ili njegovog utjecaja na poslovni poduhvat, a najčešće preko kontrole štete, separiranja ili kombiniranja poslovnih jedinica.
- Pasivno snošenje rizika - svjesno ili nesvjesno izlaganje riziku bez upravljanja rizikom

Metode odgovara na prilike su⁷⁹:

- Iskorištavanje rizika/prilike - ukoliko je u analizi utvrđeno da će ono donijeti pozitivne rezultate na poslovanje koje se ne mogu ignorirati tada će poduzeće napraviti sve da ampflicira mogućnosti i utjecaj događaja na

⁷⁷ Pritchard, C. L. (2015) Risk Management Concepts and Guidance. London: Taylor & Francis Group, LLC., str 48.

⁷⁸ Pritchard, C. L. (2015) Risk Management Concepts and Guidance. London: Taylor & Francis Group, LLC., str 49-51.

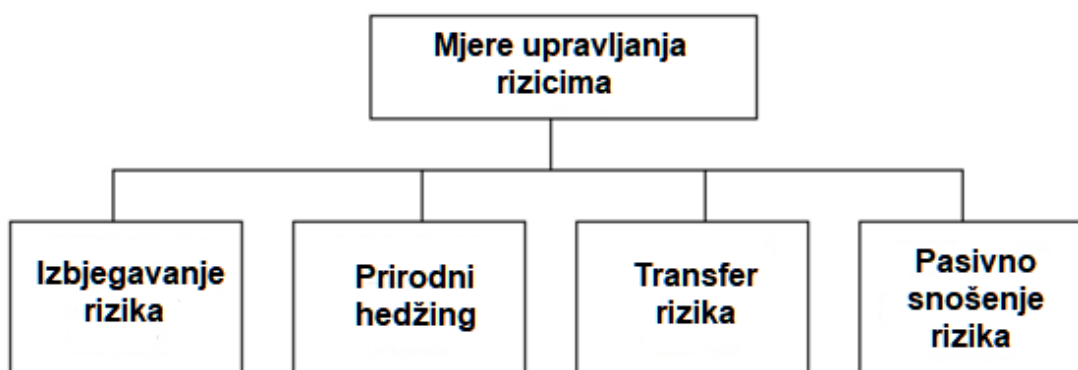
⁷⁹ Pritchard, C. L. (2015) Risk Management Concepts and Guidance. London: Taylor & Francis Group, LLC., str 52-54.

poduzeće putem raznih mjera. Razvijanje strategije iskorištenja koja će maksimizirati prigodu.

- Dijeljenje rizika/prilike - ukoliko investitor nije u mogućnosti iskoristiti pozitivnost detektiranog događaja na poslovni poduhvat, tada ulazi u partnerstvo s kojim će biti u boljoj poziciji iskorištavanja događaja, npr. joint-venture.
- Povećanje rizika/prilike - otvorenost i usmjerenost djelovanja kako bi željeni događaj zapravo i ostvario tj. imao što veći utjecaj na projekt.
- Pasivno snošenje rizika/prilike - identifikacija potencijalne prilike, ali bez djelovanja prema ostvarenju, a prema modelu "ako se ostvari - dobro, ako se ne ostvari - nikom ništa"

3.2.5. Mjere upravljanja rizicima

Ukoliko upravljanje rizicima integriramo, tj. zajednički upravljamo rizicima i prilikama, možemo jednostavnije definirati i sistematizirati upravljanje rizicima kao što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Mjere upravljanja rizicima⁸⁰

Mjera izbjegavanja rizika je metoda potpunog eliminiranja rizika u slučaju predviđanja negativnog ishoda. Ista predviđa uklanjanje rizika prije započinjanja poslovne aktivnosti ili čak i odustajanje od poslovne aktivnosti ukoliko rizik nije moguće izbjeći tj. ukoliko su troškovi upravljanja rizicima veći od potencijalne

⁸⁰ Izrada autora prema: Miloš Sprčić, D., Puškar, J. i Zec, I. (2019) Primjena modela integriranog upravljanja rizicima - Zbirka poslovnih slučajeva. Zagreb: Ekonomski fakultet - Zagreb., str. 33.

novostvorene vrijednosti.⁸¹ Kao primjer možemo istaknuti valutni rizik kojem je poduzeće izloženo ukoliko posluje u više zemalja tj. ukoliko nabavlja sirovine u jednoj valuti, a konačne proizvode prodaju u drugoj valuti. Navedeni rizik te njegov negativan učinak mogli su se vidjeti na primjeru industrije brodogradnje u Republici Hrvatskoj.

Prirodni hedžing je metoda kojom se utječe na smanjenje rizika investiranja u imovinu čije kretanje je negativno korelirano⁸². S tim se omogućava da se gubitak na jednom segmentu kompenzira dobitkom na drugom. Isto možemo prikazati preko valutnog rizika, tj. korištenje prirodnog hedžinga bi bilo kada bi poslovanje tvrtke bilo svedeno na istu valutu tj. da bi se ulazne sirovine, operativni troškovi i naplata vršili u istoj valuti. Za razliku od prirodnog, konvencionalni hedžing koristi se raznim financijskim instrumentima kako bi se osigurala određena pozicija tj. kritični ulaznih ili izlazni faktor određenog poduzeća ili projekta. Kao primjer može se uzeti situacija kad bi brodograđevna industrija ugovarala prodaju brodova, nabavu sirovina i operativne troškove u istoj valuti te se na taj način štitila od valutnog rizika.

Transfer rizika je metoda prebacivanja rizika na treću stranu korištenjem polica osiguranja ili financijskih instrumenata čime se smanjuje utjecaj rizika na konačan ishod projekta⁸³. Ista se koristi kada je vrijednost transfera, tj. ograđivanja od rizika veća od troškova postupka. Kod većine slučajeva dovoljno je koristi osiguranje kao mjeru transfera rizika. Dok se unaprednice, ročnice i opcije uglavnom vežu za zaštitu od robnog i valutnog rizika, a zamjene se najčešće koriste kod kamatnog i valutnog rizika⁸⁴.

Pasivno snošenje rizika je metoda kada se zbog procjene malog utjecaja pojedinog rizika na poslovanje tvrtka prepušta riziku. S druge strane je moguće da

⁸¹ Miloš Sprčić, D., Puškar, J. i Zec, I. (2019) Primjena modela integriranog upravljanja rizicima - Zbirka poslovnih slučajeva. Zagreb: Ekonomski fakultet - Zagreb., str. 34.

⁸² Ibid, str. 34.

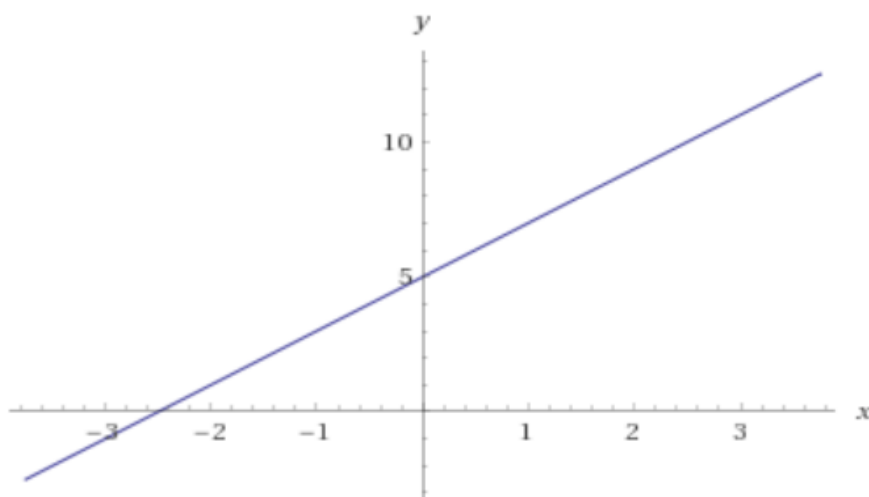
⁸³ Ibid, str. 34.

⁸⁴ Andersen, T. J., Garvey, M. and Roggi, O. (2014) Managing Risk and Opportunity: The Governance of Strategic Risk-Taking. New York: Oxford University Press., str. 92.

će do pasivnog snošenja rizika doći i kada se rizici pogrešno detektiraju i procjene pa oni "iznenade", u tom slučaju moguće su vrlo značajne negativne posljedice⁸⁵.

3.3. Rizik kao statistička funkcija

Pretpostavimo da je rizik obična matematička funkcija $f(x)$ gdje je f funkcija, a x je varijabla. Pretpostavimo također da su x i $f(x)$ realni brojevi i da je za svaku vrijednost x postoji samo jedna vrijednost $f(x)$. Najjednostavnija takva funkcija glasila bi $f(x) = x$, navedena funkcija preslikava sve vrijednosti iz domene a u domenu b i to tako da za svaku vrijednost funkcija ima istu vrijednost kao i varijabla. Navedenu funkciju mogli bismo nazvati kopirajuća funkcija te je ona jedna od najjednostavnijih funkcija. Za primjer možemo uzeti funkciju $f(x) = 2x + 5$, a na grafu 1. možemo vidjeti izgled navedene funkcije.



Graf 1. Primjer grafa obične funkcije⁸⁶

Funkcija prikazana na grafu ne može biti funkcija vezana uz rizik, tj. ovakva funkcija bi imala jednaku šansu za sve događaje i tom pogledu teško bi bilo definirati što bi za navedeni proces bio rizik. Ovakvu funkciju može se usporediti s

⁸⁵ Miloš Sprčić, D., Puškar, J. i Zec, I. (2019) Primjena modela integriranog upravljanja rizicima - Zbirka poslovnih slučajeva. Zagreb: Ekonomski fakultet - Zagreb., str. 35.

⁸⁶ izvor autor

događajem bacanja kockice, tj. s klasičnim pristupom vjerojatnosti, koji identificira vjerojatnost s relativnom učestalošću. Na primjer, ako bacimo kockicu 600 puta očekujemo da bi se svaka vrijednost na kockici pojavila 100 puta. Stoga je vjerojatnost da se pojavi bilo koji broj $1/6$. Iz navedenog možemo zaključiti kako vjerojatnost bilo kojeg događaja mora biti u otvorenom skupu vrijednosti $[0,1]$, a isto možemo prikazati⁸⁷:

$$P(A) \in [0,1]$$

Ukoliko u zamišljenom problemu postoji više događaja tada je vjerojatnost da se jedan od tih događaja ostvari, upravo zbroj njihovih vjerojatnosti:

$$P(A \text{ ili } B \text{ ili } \dots) = P(A) + P(B) + \dots$$

Također, suma svih vrijednosti vjerojatnosti svih događaja uvijek mora iznositi jedan (1), tj. ukoliko smo problem dobro definirali tada se mora dogoditi barem jedan ili minimalno samo jedan događaj iz skupa:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1$$

Ukoliko događaj osim vjerojatnosti događaja sadrži i vrijednost tj. veličinu događaja tada je očekivana vrijednost cijelog skupa jednaka zbroju umnožaka vjerojatnosti i vrijednosti događaja:

$$E(x) = \sum_{i=1}^n P_i x_i$$

Ovako definirane funkcije vjerojatnosti, vrijednosti i očekivanja možemo koristiti kod analize rizika diskretnih događaja, tj. kada postoji točno određen broj rizičnih događaja i njihovih vjerojatnosti. No, ukoliko zbog nedostatka potrebnoga znanja ili složenosti sustava nije moguće opisati sve pojave unutar promatranog sustava i jednoznačno prikazati međuovisnost varijabli tada je gore navedeni pristup definiranja rizika nedostatan. Sustavi su često izloženi djelovanju brojnih utjecaja koje model ne opisuje, stoga se vrijednosti varijabli unutar sustava ne mogu jednoznačno odrediti. Posljedica toga je neizvjesnost u izlaznim veličinama, a isto

⁸⁷ Alexander, C. (2008) Quantitative Methods in Finance. England: John Wiley & Sons Ltd., str. 74.

znači da se ponašanje sustava ne može sa 100% sigurnošću predvidjeti. U takvim situacijama ponašanje sustava opisuje se stohastičkim modelima i simulacijama tj. slučajnim varijablama. Slučajna varijabla je varijabla čije su vrijednosti stohastičke što znači da postoji neizvjesnost u vrijednostima koje varijabla može postići. Realizacija slučajne varijabli x može se smatrati brojem koji je povezan sa slučajnim ishodom⁸⁸. Budući da je svaki ishod određen slučajnim događajem, svaki ishod ima mjeru vjerojatnosti. Skup svih ishoda i povezanih vjerojatnosti naziva se vjerojatnosna mjera, tj. funkcija distribucije ili razdiobe vjerojatnosti. Funkcija distribucije je kontinuirana funkcija koja može poprimiti bilo koju vrijednost u otvorenom intervalu $[0,1]$.

$$P(x) \in [0,1]$$

Vjerojatnost nekog događaja često opisujemo funkcijom gustoće vjerojatnosti jer nam ista prikazuje raspodjelu vjerojatnosti događaja te se razlikuje za svaki pojedini događaj, dok funkcija distribucije uvijek asimptotski teži u 1 s obzirom da je ukupna vjerojatnost svih događaja jednaka 1⁸⁹:

$$P(-\infty \leq X \leq \infty) = 1$$

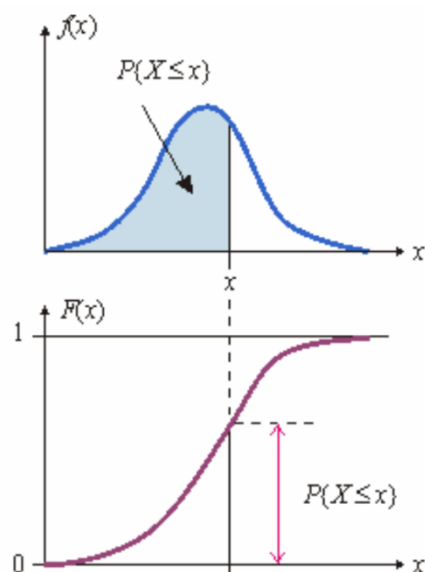
Stoga vjerojatnost određenog skupa događaja u određenom intervalu možemo opisati funkcijom gustoće razdiobe $f(x)$ na sljedeći način:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x)dx \text{ ili } F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx$$

Prema tome možemo vidjeti kako je funkcija distribucije ili razdiobe vjerojatnosti integral funkcije gustoće tj. da je funkcija gustoće prva derivacija funkcije distribucije, stoga kako bismo opisali statistički događaj dovoljno je poznavati samo jednu od dvije funkcije s kojom možemo isti definirati. Iz slike 7. vidljiv je odnos dviju funkcija te integriranje funkcije gustoće, a što upravo predstavlja površinu ispod krivulje.

⁸⁸ Jackel, P. (2002) Monte Carlo Methods in Finance. England: John Wiley & Sons Ltd., str. 6.

⁸⁹ Buhlmann, H. (2005) Mathematical Methods in Risk Theory. Switzerland: Springer International Publishing., str 13.



Slika 7. Funkcije razdiobe i gustoće vjerojatnosti⁹⁰

U pogledu očekivane vrijednosti skupa događaja, tj. statističke funkcije gustoće vjerojatnosti $f(x)$, ista je umnožak vrijednosti i funkcije gustoće vjerojatnosti na cijelom intervalu na kojem funkcija $f(x)$ je definirana⁹¹:

$$\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

μ - srednja ili očekivana vrijednost funkcije gustoće vjerojatnosti

Funkcije gustoće vjerojatnosti imaju razne pokazatelje, dok ćemo za ovaj rad iskazati još samo dvije, a to su varijanca i standardna devijacija. Varijanca je mjera disperzije mjerenih ili slučajnih veličina tj. prosječna suma kvadrata odstupanja vrijednosti veličine od aritmetičke sredine tj. srednje ili očekivane vrijednosti:

$$\sigma^2 = V(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x)dx$$

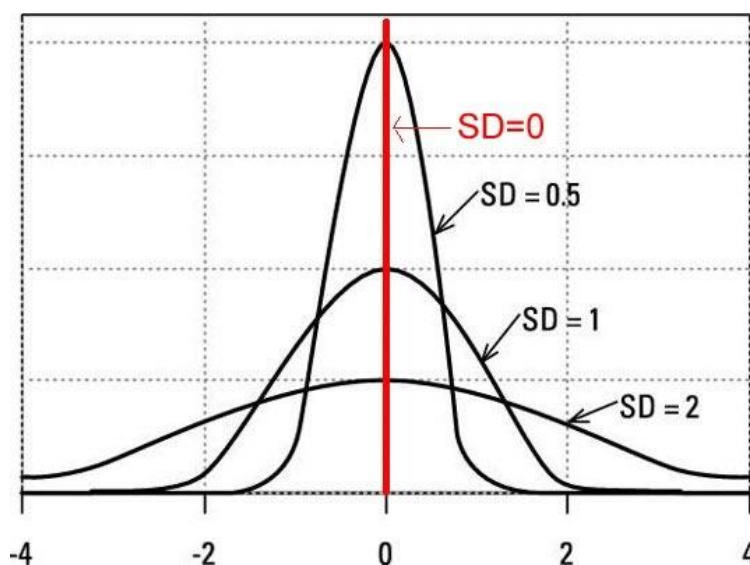
Standardna devijacija je statistička mjera disperzije mogućih ishoda u odnosu prema očekivanom ishodu, a ista je drugi korijen varijance. Što je standardna devijacija veća, to je veća disperzija, a time i rizik⁹².

⁹⁰ Krndelj, H. (2003) Monte Carlo simulacija u analizi investicijskih odluka. Magistarski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

⁹¹ Alexander, C. (2008) Quantitative Methods in Finance. England: John Wiley & Sons Ltd., str. 74.

$$\sigma = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx}$$

Funkcije na slici 8. imaju jednak iznos očekivanja tj. srednje vrijednosti, ali zbog različitih standardnih devijacija nemaju isti oblik. Što je veća standardna devijacija to je središnje područje očekivanja raširenije tj. moguća su veća odstupanja od srednje vrijednosti. Stoga će funkcije koje predstavljaju rizike predstavljati veći rizik ukoliko je standardna devijacija veća, tj. postojat će veliki postotak slučajeva koji će odstupati od osnovnog isplaniranog scenarija.



Slika 8. Standardna devijacija i funkcija gustoće vjerojatnosti⁹³

3.4. Metode analize rizika projekta

Scenariji daju odgovor na pitanje „što će se dogoditi ako...?“. Scenariji su svojevrzne zamisli kako bi poduzeće i njegova okolina (industrija, grad, regija, država, svijet i dr.) izgledali nakon pet, deset, dvadeset ili pedeset godina te se koriste analitički kako bi se interpretirala moguća značenja za strateško ponašanje poduzeća.

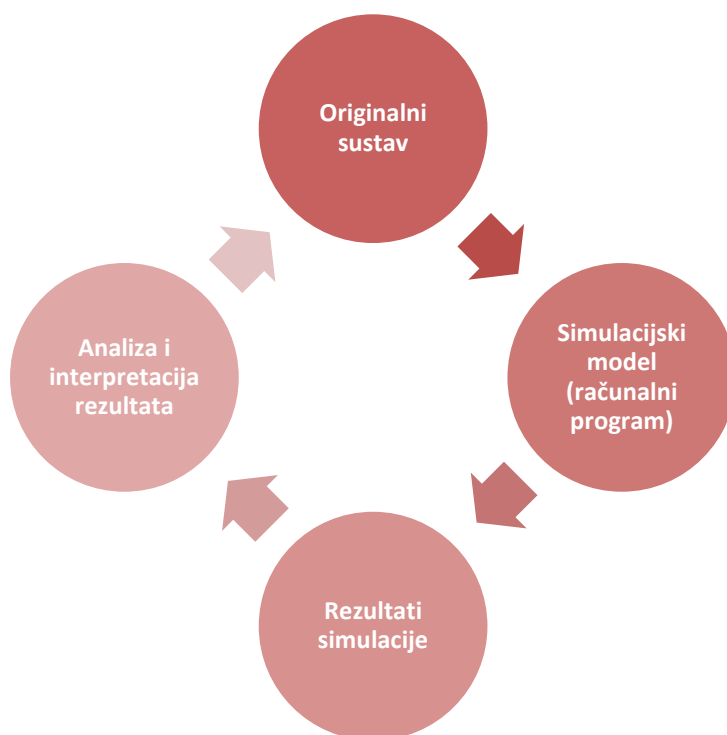
⁹² Peterson, P. P. i Fabozzi, F. J. (2002) Capital Budgeting: Theory and Practice. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 135.

⁹³ Normalna distribucija, dostupno na: <https://stedy.hr/distribucije/normalna-distribucija> [25. rujna 2018.]

Scenarij je moguće buduće okruženje, bilo u određenom trenutku ili tijekom određenog vremenskog razdoblja. Projekcija učinaka scenarija tijekom proučavanog vremenskog razdoblja može se odnositi na određenu firmu, određenu industrijsku granu ili cijelo nacionalno gospodarstvo. Kako bi se odredili relevantni aspekti potencijalne buduće situacije, može se predvidjeti jedno ili više događaja ili promjena okolnosti kroz identifikaciju ili simulaciju nekoliko čimbenika rizika, često tijekom višestrukih vremenskih razdoblja. Učinak tih događaja ili promjena u okruženju, u scenariju, može se generirati kao šok sustava zbog naglih promjena jedne varijable ili čimbenika rizika. Scenariji mogu biti složeni, ako uključuju promjene i interakcije među čimbenicima scenarija tijekom vremena, koje npr. mogu biti generirane skupom kaskadnih događaja. Budući da je budućnost neizvjesna, postoji mnoštvo mogućih scenarija. Projekcija financijskih učinaka tijekom odabranog scenarija predstavlja bitnu informaciju zainteresiranim stranama, dok je studija utjecaja vjerojatnih scenarija korisna za poslovno planiranje i procjenu očekivanih dobitaka ili gubitaka. Scenarij sa značajnim ili neočekivano štetnim posljedicama zove se scenarij stresa.⁹⁴

Kao što je i scenarij širok pojam tako i su i njegove primjene široke, u pogledu analize rizika kroz scenarij postoje razni alati koji matematički modeliraju sustav kroz željene parametre za analizu te onda na njega djeluju razni rizici koji su opisani svojom vjerojatnošću i veličinom. Krajnji rezultat analize scenarija su vrijednosti parametara investicije kada se na nju primjeni određeni scenarij što onda daje investitorima bolju mogućnost odabira investicije ili mogućnost izmjene dijela investicije kako bi se rizici smanjili, a mogućnosti pozitivnog ishoda povećale.

⁹⁴ Hassani, B. K. (2016) Scenario Analysis in Risk Management: Theory and Practice in Finance. Switzerland: Springer International Publishing., str. 19.



Slika 9. Simulacija scenarija⁹⁵

3.4.1. Analiza osjetljivosti

Analiza osjetljivosti se sastoji od postupka opterećivanja projekta različitim negativnim situacijama koje se možda mogu pojaviti tijekom životnog vijeka. U analizi osjetljivosti projekta određujemo jednu ili više rizičnih pretpostavki s kojima simuliramo sustav te mjerimo promjene jedne varijable (npr. prihod ili trošak) s obzirom na čistu sadašnju vrijednost (NPV) projekta⁹⁶. Važno je naglasiti da se u analizi osjetljivosti u jednom scenariju mijenja samo jedna varijabla, a ostale se ne mijenjaju tj. gleda se utjecaj promjene samo jedne varijable na cijeli sustav, tj. na ostale parametre sustava. Upravo je ovo i glavni nedostatak postupka analize osjetljivosti jer kod njega ne možemo mijenjati više parametara istovremeno, a što je pri realnim investicijama vrlo vjerojatno da će se promjenom jedne varijable promijeniti i druge varijable. Također, analiza osjetljivosti ne daju informaciju o vjerojatnosti nastupanja nego samo o veličini utjecaja.

⁹⁵ izrada autor

⁹⁶ Puška, A. (2011) Analiza osjetljivosti u funkciji investicijskog odlučivanja. Praktični menadžment, Vol. II, br. 3, str. 80-86.

U praksi analiza osjetljivosti se izvršava za sve detektirane rizike kako bi se utvrdilo koji imaju najveći utjecaj na troškove i dobit projekta tj. na čistu sadašnju vrijednost. Iz analize osjetljivosti rangiraju se rizici te ih se onda dalje koristi u scenario analizi prema redoslijedu utjecaja na ČSV.

Također, ovakva analiza pretpostavlja ne postojanje korelacije između detektiranih rizičnih varijabli tj. korelacija je jednaka nula. U većini slučajeva navedeno nije točno, a posebice kod velikih promjena pojedine varijable tj. rizika te ovakva pretpostavka može iskriviti sliku stvarnog rizika⁹⁷. Stoga bi se za točniju analizu trebalo definirati korelaciju između analiziranih varijabli u intervalu [-1,1] tj. utvrditi postojanje pozitivne ili negativne korelacije. Drugi način ispravljanja pretpostavke o nekoreliranosti varijabli je korištenje metoda scenarija i analize, što je eleborirano u sljedećim poglavljima.

3.4.2. Analiza scenarija

Analiza scenarija najčešće je korištena tehnika u procjeni rizika projekta i predstavlja nadogradnju analize osjetljivosti jer uključuje distribuciju vjerojatnosti ključnih varijabli i mogućnost promatranja efekta istovremenih višestrukih promjena ključnih varijabli. Analiza scenarija polazi od baznih, odnosno očekivanih vrijednosti za svaku od ključnih varijabli koje formiraju ČSV projekta. Nakon toga potrebno je procijeniti vrijednost ključnih varijabli u situacijama najgoreg (engl. *worst case scenario*), odnosno najboljeg scenarija (engl. *Best-Case Scenario*) te vjerojatnost nastajanja svakog od scenarija⁹⁸. Konačna vrijednost ČSV dobiva se zbrojem umnožaka vrijednosti pojedinih čistih sadašnjih vrijednosti i vjerojatnosti nastupanja svih predviđenih scenarija:

$$S_E = NPV_E = \sum_{i=1}^n P_i(NPV_i)$$

$S_E = NPV_E$ - Očekivana čista sadašnja vrijednost

⁹⁷ Trgo, A. (2015) Uvjetna rizičnost vrijednosti (cvar) u procjeni rizika na hrvatskom tržištu kapitala, Poslijediplomski specijalistički rad. Split: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Splitu.

⁹⁸ Jurenić, D. (2015) Analiza investicijskih projekata u proširenje poslovanja tvrtke. Poslijediplomski specijalistički rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

P_i - vjerojatnost pojedinog scenarija

NPV_i - čista sadašnja vrijednost pojedinog scenarija

Analiza scenarija pruža korisne informacije o rizičnosti projekta te je bolja i naprednija analiza od analize osjetljivosti. Međutim, metoda je ograničena time što razmatra samo nekoliko diskretnih ishoda (ČSV), iako postoji neograničen broj mogućnosti. Ručna analiza više od nekoliko scenario analiza bila bi prezahtjevna, u smislu utrošenog vremena i smislenosti velikog broja ponavljanja zahtjevnog procesa. Kako bi se usavršilo metodu scenario analize ista je digitalizirana, tj. obrađena programski pomoću statističkih simulacija.

3.4.3. Analiza scenarija putem simulacija

U pogledu analize velikog broja scenarija, koju je nemoguće/neisplativo raditi ručno, razvijene su razne metode digitalnih simulacija velikog broja scenarija. Svaku takvu simulaciju definira promatranje ponašanja i odziva sustava na različite vrijednosti ulaznih veličina.

S obzirom da smo rizik u prethodnom poglavlju definirali kao statističku funkciju tada i simulacijski modeli moraju biti napravljeni tako da su simulirane ulazne varijable statističke funkcije. Vrijednosti slučajnih varijabli u modelu dobivaju se generiranjem iz zadanih razdioba te se njihovim uvrštavanjem u model izračunavaju izlazne vrijednosti. Stohastička simulacija je prema tome statistički eksperiment uzorkovanja koji se provodi na modelu⁹⁹.

Razlikuju se dvije vrste stohastičkih modela i simulacija. Prvu vrstu čine standardne simulacijske metode koje opisuju ponašanje sustava u vremenu, tj. za svaku slučajnu varijablu uzima se uzorak za svaki trenutak vremena koji se promatra. Ovakve simulacije su više orijentirane na proučavanje dinamike sustava nego na kvantificiranje rizika. Druga skupina stohastičkih simulacija su metode kojima tijekom vremena nije značajan, nego promatraju stanje i svojstva sustava u

⁹⁹ Krndelj, H. (2003) Monte Carlo simulacija u analizi investicijskih odluka. Magistarski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

određenom vremenskom trenutku. Ovakve metode namijenjene su ocjeni rizika, a jedna od njih je Monte Carlo simulacija¹⁰⁰.

3.5. Monte Carlo simulacija

Monte Carlo metoda je svaka numerička metoda statističke simulacije koja koristi uzorak kvazi-slučajno definiranih brojeva kako bi se ista izvela; generira se određeni broj simulacija iz kojih se prikupljaju relevantne statističke informacije u svrhu donošenja određenih odluka¹⁰¹.

Analiza rizika temeljena na Monte Carlo simulaciji je metodologija kojom se neizvjesnost vezana uz bitne varijable modela za predviđanje obrađuje tako da se može procijeniti njen utjecaj na rizičnost očekivanih rezultata. Ona je jedan tip scenario analiza, gdje se promatraju ishodi različitih svjesno biranih kombinacija vrijednosti ulaznih varijabli (scenariji) i iz njih izvode zaključci o ponašanju sustava u različitim okolnostima. Izlazni podatci navedene simulacije su vjerojatnost događaja i veličina događaja, kao. npr. projekt ima 90% šanse da mu čista sadašnja vrijednost bude veća od 1 milijun kuna. Ukoliko pretpostavimo da je za zadani primjer 1 milijun kuna ukupni investicijski trošak tada investitor ima 90% šanse da će na projektu biti minimalno na nuli ili da će se projekt pokazat profitabilnim.

3.5.1. Postupak izrade Monte Carlo simulacije

Kako bi se provela Monte Carlo simulacija, prvo je potrebno modelirati osnovni model tj. osnovni ili očekivani scenarij razvoj projekta na temelju metode budžetiranje kapitala, a koje su opisane u 2. poglavlju. Tj. potrebno je definirati financijski model koji na temelju podataka o prihodu, rashodu, trošku financiranja te ostalim bitnim elementima daje mogućnosti izračuna osnovnih parametara uspješnosti projekta, kao što su čista sadašnja vrijednosti ili interna stopa profitabilnosti. Nakon dobivene osnovne vrijednosti pokazatelje, nastavlja se postupak analizom rizika, kao što je prikazano u prethodnim poglavljima. Nakon

¹⁰⁰ Ibid

¹⁰¹ Brandimarte, P. (2014) Handbook in Monte Carlo Simulation: Applications in Financial Engineering, Risk Management, and Economics. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 3.

odabira rizičnih varijabli, potrebno bi bilo provesti analizu osjetljivosti kako bi se broj uistinu rizičnih varijabli sveo na razumnu mjeru. Naime, ukoliko bismo simulirali veliki broj rizičnih varijabli tada bismo umanjili preglednost rezultata, ali i doveli u pitanje smislenost rezultata provedene simulacije¹⁰².

Simulacija započinje odabirom ključnih varijabli efikasnosti projekta i njihovih distribucija vjerojatnosti. Nakon što su odabrane distribucije vjerojatnosti svake pojedine varijable, računalnom simulacijom sve se varijable međusobno kombiniraju izračunavajući čistu sadašnju vrijednost. Navedeni postupak ponavlja veliki broj puta, minimalno 1000 puta, prema unaprijed utvrđenom programu sve dok se ne sastavi reprezentativna distribucija vjerojatnosti mogućih budućih čistih sadašnjih vrijednosti. Tako dobivena distribucija vjerojatnosti čiste sadašnje vrijednosti analizira se primjenom ključnih mjera ocjene rizika.¹⁰³

3.5.2. Odabir parametara ulaznih varijabli

Za razdiobe se najčešće uzimaju teoretske razdiobe kao što su normalna ili trokutasta razdioba, osim u slučajevima kada detaljno poznavanje pojave ili povijesnih podataka nameće upotrebu empirijskih razdioba. Obično se kod teoretskih razdioba kreće od definiranja raspona vrijednosti, a nakon toga se u danom intervalu raspoređuju vjerojatnosti za pojedine vrijednosti¹⁰⁴.

Analiza slučaja virtualne elektrane, koja je prikazana u sljedećim poglavljima, izrađena je u programu Crystall Ball tj. Microsoft excel, stoga je fokus postavljen na najčešće korištene varijable iz ovog programa tj. na predefinirane teoretske mogućnosti razdioba ulaznih varijabli. Također, detaljno su opisane funkcije razdioba te navedeni uvjeti kada je pojedine svrsishodno koristiti.

¹⁰² Mun, J. (2006) Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Forecasting, and Optimization Techniques. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 77.

¹⁰³ Duspara, D. (2011) Alokacija i realokacija resursa temeljena na postevaluaciji investicijskih projekata. Magistarski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

¹⁰⁴ Krndelj, H. (2003) Monte Carlo simulacija u analizi investicijskih odluka. Magistarski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

3.5.2.1. Normalna distribucija

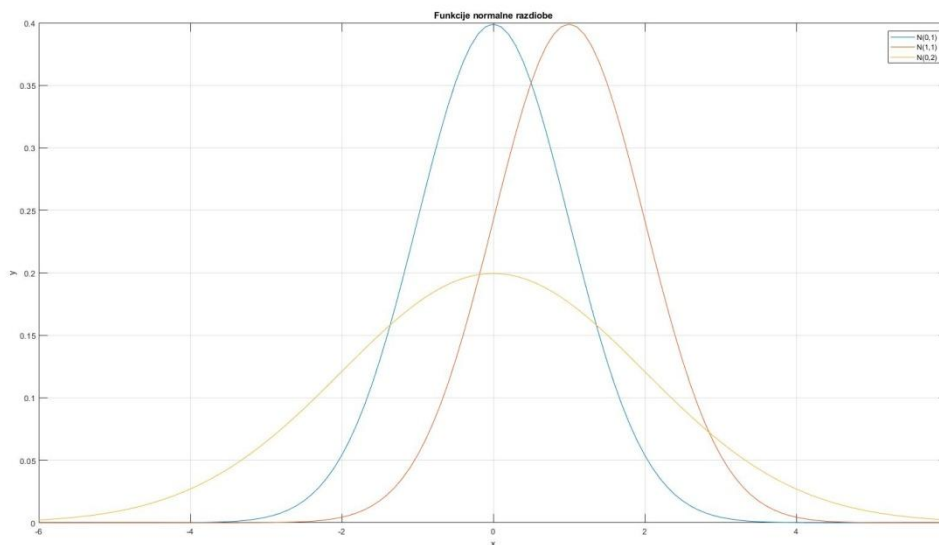
Normalna distribucija je najuobičajenija i najčešće korištena funkcija distribucije, poznata kao i Gaussova distribucija, zbog toga što se većina događaja u prirodi mogu opisati s ovom distribucijom, a isto tako i razni rizici koji se promatraju kod provođenja simulacije. Karakteristika ove funkcije je simetričnost te centralni granični teorem, tj. pojava da u velikom broju slučajeva suma nezavisnih varijabli poprima oblike normalne distribucije, bez obzira što distribucije početnih nezavisnih varijabli nisu bile normalne.

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

$$E(x) = \mu$$

$$V(x) = \sigma^2$$

Na grafu 2. prikazane su normalne distribucije, definirane parametrima očekivanja i standardne devijacije $N_1(0,1)$, $N_2(1,1)$, $N_3(0,2)$.



Graf 2. Primjer funkcija normalne distribucije¹⁰⁵

Upravo zbog navedenih svojstava funkciju normalne razdiobe možemo koristiti za slučajeve očekivane vrijednosti dividende na dionice, vrijednosti portelja

¹⁰⁵ izrada autor

dionica, količine prodane robe, razine inflacije itd, te je upravo s njom moguće započeti bilo koju simulaciju, ukoliko ne postoje točniji podaci¹⁰⁶.

3.5.2.2. Trokutasta distribucija

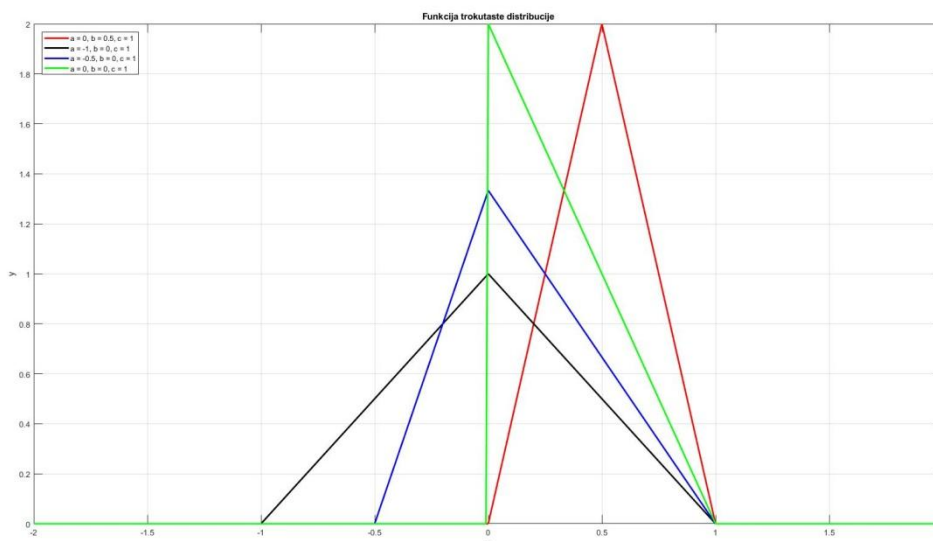
Trokutasta distribucija je kontinuirana funkcija distribucije, definirana s tri parametra, a to su minimalna vrijednost, maksimalna vrijednost te očekivana vrijednost. U matematičkoj formi istu možemo zapisati:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{ako je } x \in [a, m] \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & \text{ako je } x \in [m, b] \\ 0 & \text{za sve druge} \end{cases}$$

$$E(x) = \frac{a+m+b}{3}$$

$$V(x) = \frac{a^2 + m^2 + b^2 - am - ab - bm}{18}$$

Na grafu 3. prikazane su trokutaste distribucije, a , m i b . $T_1(0,1,0.5)$, $T_2(-1,1,0)$, $T_3(-0.5,1,0)$, $T_4(0,1,0)$.



Graf 3. Primjer funkcija trokutaste distribucije¹⁰⁷

¹⁰⁶ Charnes, J. (2012) Financial Modeling with Crystal Ball and Excel. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 48.

Trokutasta funkcija se koristi kada ne postoji niti jedan drugi podatak osim najmanje, najveće i srednje vrijednosti određenog rizika tj. ne postoje dodatni podaci kako bi se formirala optimalnija funkcija razdiobe. Na primjer, može se iskoristiti za aproksimaciju distribucije prodanih količina, ako se zna koliko je najmanje, koliko najviše te koliko se uobičajeno proda proizvoda u određenom vremenskom periodu.¹⁰⁸

3.5.2.3. Uniformna distribucija

Uniformna distribucija je intuitivna i vrlo jednostavna funkcija distribucije s jednoličnom raspodjelom, tj. postoji jednaka šansa za ostvarivanje bilo koje vrijednosti događaja u zadanom intervalu. U matematičkoj formi istu možemo zapisati¹⁰⁹:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{ako je } x \in [a, b] \\ 0 & \text{za sve druge} \end{cases}$$

$$E(x) = \frac{1}{2}(b+a)$$

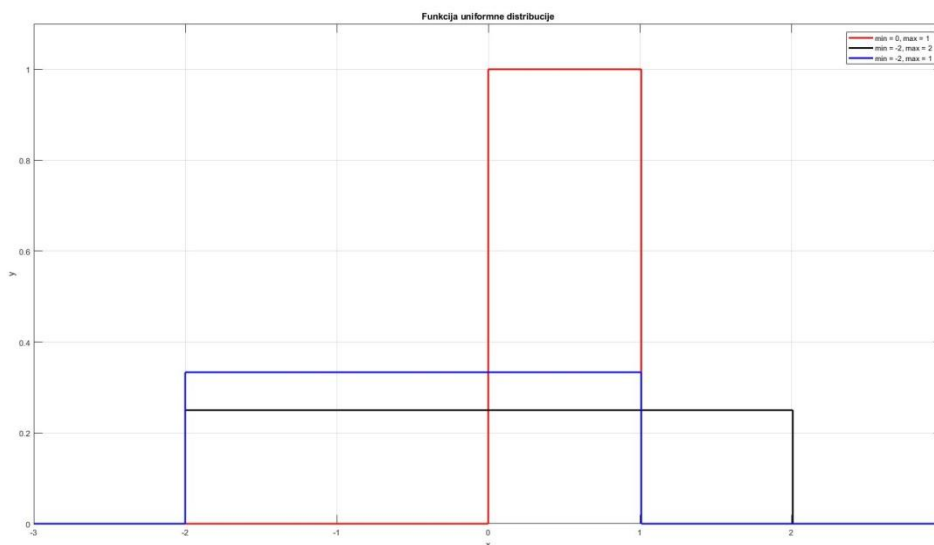
$$V(x) = \frac{(b-a)^2}{12}$$

Na grafu 4. su prikazani primjeri uniformne distribucije, s različitim parametrima a i b , vrijednosti $x_1 \in [0,1]$, $x_2 \in [-2,2]$, $x_3 \in [-2,1]$.

¹⁰⁷ izrada autor

¹⁰⁸ Charnes, J. (2012) Financial Modeling with Crystal Ball and Excel. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 273.

¹⁰⁹ Schmidt, A. B. (2005) Quantitive Finance for Physicists: An Intruduction. USA: Elsevier Ltd., str. 20.



Graf 4. Primjer funkcija uniformne distribucije¹¹⁰

Istu možemo koristiti kod slučaja s jednakim ishodom, kao što je u diskretnom području slučaj bacanja kockica ili izvlačenja karata. U praksi navedenu funkciju rijetko možemo koristiti kod analize poslovnih slučajeva, jer rijetko analizirani događaj ima jednaku šansu za sve ishode. Primjer gdje se funkcija koristi je vjerojatnost gdje će se na naftovodu ili plinovodu dogoditi proboj, tj. curenje.¹¹¹

3.5.2.4. Log-normalna distribucija

Log-normalna distribucija je kontinuirana funkcija razdiobe koja poprima samo pozitivne vrijednosti te zbog tog svojstva vrlo je korisna u praktičnoj primjeni. U matematičkoj formi istu možemo zapisati:

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

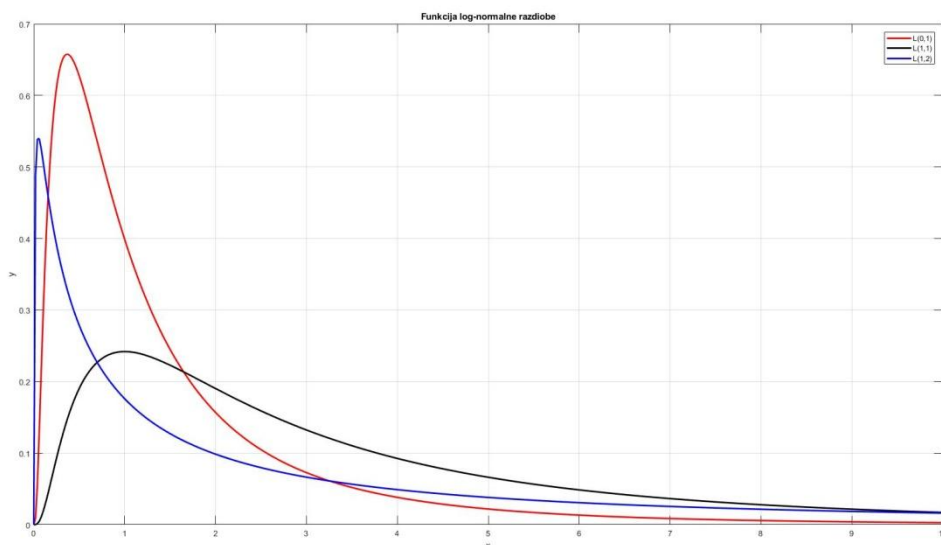
$$E(x) = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$$

$$V(x) = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$$

Na grafu 5. prikazane su normalne distribucije, definirane parametrima očekivanja i standardne devijacije $L_1(0,1)$, $L_2(1,1)$, $L_3(1,2)$.

¹¹⁰ izrada autor

¹¹¹ Barreto, H. i Howland, F. (2006) Introductory Econometrics: Using Monte Carlo Simulation with Microsoft Excel. USA: Cambridge University Press., str. 95.



Graf 5. Primjer funkcija log-normalne distribucije¹¹²

Primjeri primjene su kod analize potencijalnih gubitaka s ogradom na određenoj vrijednosti ispod koje se ne može pasti, cijene nekretnina, plaće radnika u kompaniji, količina tvari u spremniku i druge prirodne pojave¹¹³.

3.5.2.5. Ostale vrste distribucija

Osim gore navedenih, postoji veliki broj drugih funkcija distribucije koji se mogu koristiti za opisivanje ulaznih varijabli. Odabir istih ovisi o poznavanju distribucije rizika te iskustvu u analizi stručnjaka koji je provodi. Također, moguće je odabrati diskretne ili kontinuirane funkcije distribucije, ovisno o potrebi. Neke od njih su¹¹⁴:

- da-ne (Bernoulli) funkcija distribucije: može se koristiti za događaje koji se događaju jedanput, npr. ulazak nove tvrtke na tržište
- beta distribucija: definirana je za željeno područje događaja te se koristi kada nema povijesnih podataka, a u slučajevima kao što su npr. moguće greške strojeva u proizvodnji

¹¹² izrada autor

¹¹³ Alexander, C. (2008) Quantitative Methods in Finance. England: John Wiley & Sons Ltd., str. 94.

¹¹⁴ Charnes, J. (2012) Financial Modeling with Crystal Ball and Excel. USA: John Wiley & Sons, Inc., str. 240-279.

- diskretna uniformna distribucija: koristi se za modeliranje događaja koji imaju više mogućih ishoda iste vjerojatnosti
- eksponencijalna distribucija: modelira događaje u pozitivnom području, a u praksi se može koristiti kao pretpostavka vremenske razdiobe između slučajnih događaja koji imaju jednako očekivanje, kao što je servis uređaja
- gama distribucija: slična je eksponencijalnoj, a koristi se na primjer za modeliranje vremena čekanja kupca na isporuku određene usluge
- poissonova distribucija: diskretna funkcija razdiobe kojom se modelira broj događaja koji se mogu dogoditi unutar nekog područja od interesa
- pareto distribucija: koristi se za distribuciju prihoda u populaciji, a definira se lokacije (srednje vrijednosti) i oblika funkcije beta.

3.5.2.6. Prilagođene distribucije

Pretpostavimo da imamo skup numeričkih podataka o nekom događaju kao npr. povijesna cijena plina u prethodnom razdoblju. Kako iz skupa događaja, koji su korelirani s događanjima na tržištu možemo dobiti distribuciju koju je moguće koristiti u daljnjim analizama. Isto možemo provesti metodom aproksimacije funkcije razdiobe te nakon toga provjeriti je li ista odgovara informacija iz skupa te ukoliko su prevelika odstupanja tada možemo aproksimirati s drugom funkcijom i onda opet provjeriti odstupanja. Navedeni postupak provodimo dok ne dobijemo zadovoljavajuću funkciju razdiobe¹¹⁵.

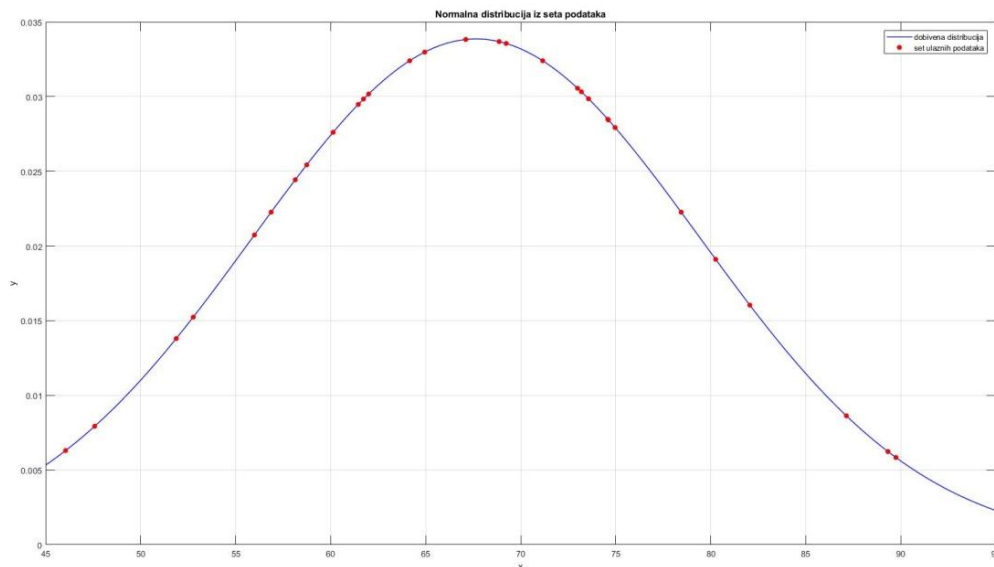
Pretpostavimo da imamo grupu podataka od 30 elemenata, prikazanu u tablici 1. koji predstavljaju ulaznu varijablu određenog financijskog modela te iste želimo prikazati kao statističku funkciju razdiobe. Prvo je potrebno odrediti srednju vrijednost i standardnu devijaciju za odabranu funkciju razdiobe, ukoliko se pretpostavi da numerički set brojeva odgovara normalnoj razdiobi, tada prema formulama iz poglavlja 3.5.1.1. određujemo gore navedene parametre.

¹¹⁵ Raychaudhuri, S. (2008) Introduction to monte carlo simulation. 2008 Winter Simulation Conference 7-10 prosinca 2008., Miami, FL, USA, str. 91-100.

Tablica 1. Skup numeričkih pokazatelja¹¹⁶

52.76	58.74	64.15	58.13	61.99	68.86	61.45	74.58	73.19	60.12
71.15	72.99	73.56	74.61	46.04	51.87	67.10	47.58	87.13	64.94
89.32	78.44	80.25	55.98	74.96	56.86	82.05	61.72	89.74	69.23

U konkretnom primjeru srednje očekivana vrijednost iznosila bi 67.65, a standardna devijacija 11.78. Ukoliko isti postupak primijenimo na funkciju log-normalne razdiobe, a prema formulama iz poglavlja 3.5.1.4., tada dobivamo srednju vrijednost 4.19, standardnu devijaciju 0.17. Kako bismo testirali koja funkcija razdiobe bolje odgovara skupu ulaznih brojeva, koristi se *Anderson-Darling (AD)* test te se promatra vrijednost $p \in [0,1]$, s zakonitošću što je p bliži vrijednosti 1 to i je distribucija bolje pogođena. Vrijednost broja p za normalnu distribuciju iznosi 0.9956, a za log-normalnu 0.9936 što znači da normalna distribucija bolje odgovara setu podataka¹¹⁷.



Slika 10. Izrada funkcije razdiobe iz seta podataka¹¹⁸

¹¹⁶ Izrada autora na temelju primjera iz Raychaudhuri, S. (2008) Introduction to monte carlo simulation. 2008 Winter Simulation Conference 7-10 prosinca 2008., Miami, FL, USA, str. 91-100.

¹¹⁷ Izračuni su izvedeni u programsku paketu Matlab R2017b

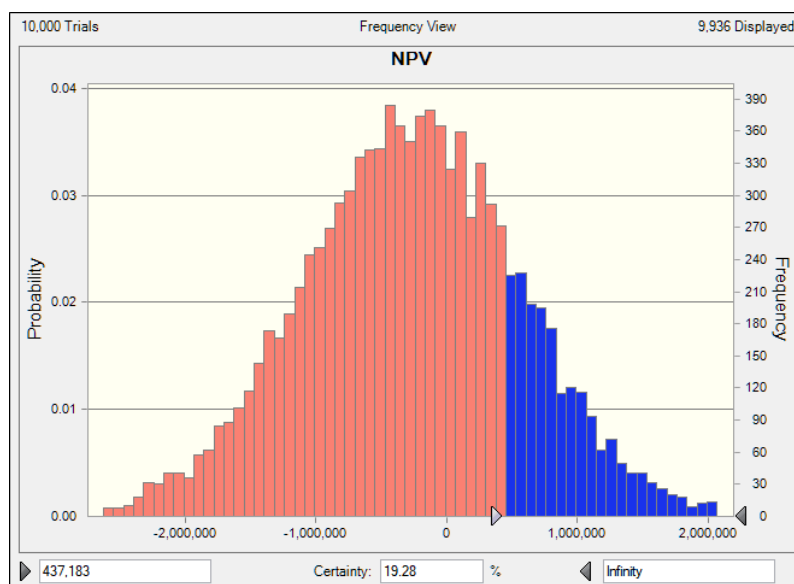
¹¹⁸ izrada autor

3.5.3. Analiza izlaznih parametara na primjeru

Nakon definiranja ulaznih parametara razdioba, definiraju se varijable za koje se prati ishod simulaciju. Najčešće je riječ o parametrima čiste sadašnje vrijednosti (NPV) ili interne stope profitabilnosti (IRR) te se nakon toga pokreće Monte Carlo simulacija koja će generirati izlazne grafove. Primjer izlaznih grafova napravljen je na dugoročnoj investiciji u hotelsku industriju, pri čemu su kao ulazne varijable razdiobe definirani prihodi po godinama projekta, a uzeta je normalna razdioba sa standardnom devijacijom u iznosu od 5% ukupnih planiranih prihoda, dok je za troškove osoblja uzeta trokutasta razdioba širine od 5% manje od očekivane vrijednosti iz baznog scenarija do 20% više od vrijednosti iz baznog scenarija. Odabir parametara ulaznih razdiobi definiran je na temelju teoretskih pretpostavki poglavlja 3.5.2. Rezultati simulacije vidljivi su na grafu 6. i 7. Prema baznom scenariju iznos NPV bio je 437.183,00 HRK, a dobivena IRR 4.11%, uz definirani uvjet referentne kamatne stope od 4%.

Tablica 2. NPV i IRR projekta u osnovnom scenariju¹¹⁹

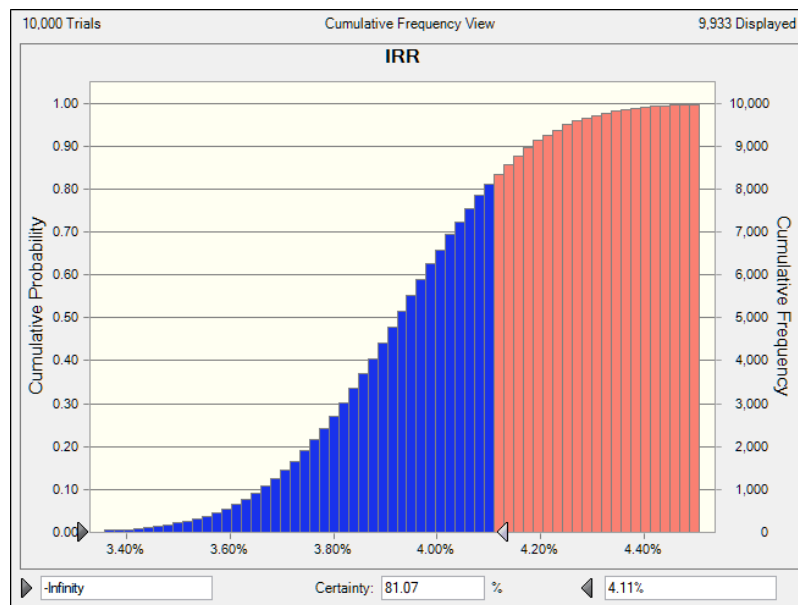
Diskontna stopa	4,00%
Pokazatelj	Izračun pokazatelja
FNPV (C) - neto sadašnja vrijednost investicije	437.183,00
FRR (C)-interna stopa profitabilnosti investicije	4,11%



Graf 6. Izlazni parametar distribucije NPV-a¹²⁰

¹¹⁹ izrada autor

Iz NPV grafa vidljivo je da promatrani rizici imaju veliki utjecaj na projektnu investiciju tj. da će se samo u 20% slučajeva ostvariti NPV iz baznog scenarija ili veći, dok će u ostalim slučajevima biti manji. Statistička analiza NPV korelirana je sa IRR s obzirom da izračun pokazatelja polazi od istih pretpostavki te je na grafu 7. vidljivo da će IRR biti manji od 4,11% iz baznog scenarija u 81,07% slučajeva. Još lošije je ako pogledamo da iz analize proizlazi da će NPV za 62,94% slučajeva biti manja od nule tj. da projekt neće biti profitabilan jer će IRR pasti ispod 4% koliko je definirana diskontna stopa projekta.



Graf 7. Izlazni parametar razdiobe vjerojatnosti IRR-a¹²¹

Nakon dobivenih izlaznih parametara donose se zaključci o projektnoj investiciji, koja je ovom primjeru vrlo rizična tj. postoji velika šansa da će investicija polučiti manje rezultate od priželjkivanog baznog scenarija. Upravo za ovakvu investiciju, ukoliko se odluči provesti, potrebno je cijelo vrijeme upravljati rizicima kako bi se ostvario željeni rezultat tj. spriječio negativan rezultat, a prema nekoj od metoda upravljanja rizicima prikazanim u ovom poglavlju rada.

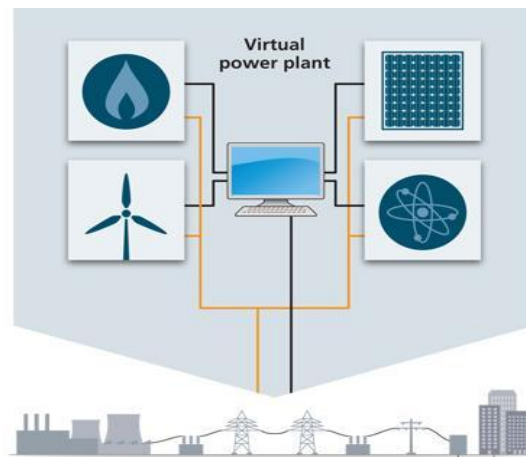
¹²⁰ Ibid

¹²¹ izrada autor

4. Virtualna elektrana

Koncept virtualne elektrane (engl. *Virtual Power Plant*, VPP) predstavlja skupinu udruženih distribuiranih izvora energije, spremnika energije i/ili upravljivih i neupravljivih trošila koji su zajednički upravljani centralnom kontrolnom jedinicom. Termin virtualna elektrana dolazi iz knjige "The Virtual Utility: Accounting, Technology & Competitive Aspects of the Emerging Industry" u kojoj se navodi: "Virtualni uslužni subjekt (Virtual Utility) je energetska kompanija koja kroz fleksibilnu suradnju neovisnih, tržišno-orijentiranih subjekata osigurava učinkovitu energetska uslugu za potrošače bez da nužno posjeduje predmetnu imovinu"¹²².

Iako za virtualnu elektranu kao pojam ne postoji jedna definicija niti se stručna javnost o istoj može usuglasiti, iz definicije je intuitivno jasno da je riječ o modernom konceptu elektrane, koja iako tvori proizvodnu cijelinu, ne nalazi se nužno na istom proizvodnom mjestu, ne koristi istu tehnologiju u cijelom postrojenju za proizvodnju, proizvodni pogoni joj nužno nisu skalabilni, dok joj je jedina poveznica upravljačka tehnologija koja diktira izlazne parametre virtualne elektrane.



Slika 11. Shema virtualne elektrane¹²³

¹²² Mikulić, M. (2013) Optimalni modeli upravljanja distribuiranim energetska resursima virtualnih elektrana. Diplomski rad. Zagreb: Fakultet elektrotehnika i računarstva, Sveučilište u Zagrebu.

¹²³ Project SWOT Analysis of Virtual Power Plant Market 2025, dostupno na: <http://marketresearchupdates.over-blog.com/2018/09/virtual-power-plant-market.html> [13. ožujka. 2019.]

4.1. Prijenosni sustav električne energije

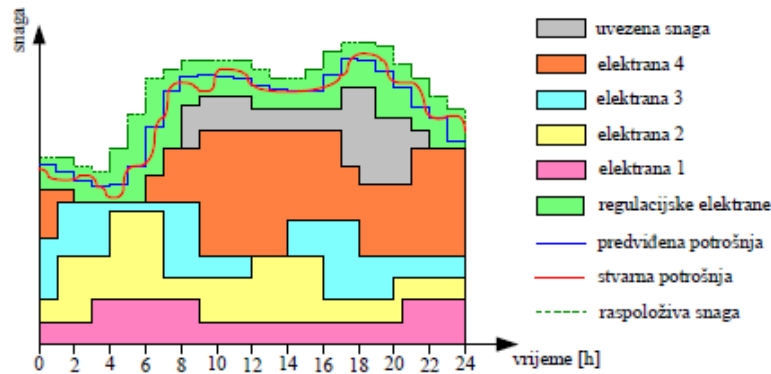
Postavlja se pitanje zašto i zbog čega se jedan ovako kompleksan sustav sustav analizira i iz kojih razloga je on nastao kao pojam. U klasičnom konceptu električne mreže koju ljudi najčešće zamišljaju postoji veliki izvor električne struje, prijenosni sustav te krajnji potrošač. U ovom idealnom slučaju pojam virtualnih elektrana ne bi postojao, no zbog raznih tehničkih, tehnoloških, zakonskih i ekoloških zahtjeva prema proizvodnji električne energije mijenja se gore zamišljena slika električnog sustava. Sadašnji trendovi u svijetu pokazuju da se sve više proizvođača priključuje na mrežu i to od onih najmanjih poput fotonaponskih panela na kućama, do malih hidroelektrana, malo većih elektrana na biomasu, srednje velikih fotonaponskih elektrana te srednjih i velikih vjetroelektrana. Upravo zbog velikog broja novih proizvođača električne energije koji se spajaju na prijenosnu mrežu i izazova koji unose u opskrbni sustav razvio se koncept virtualne elektrane.

U osnovnom sustavu prijenosa električne energije u kojem postoji jedan ili više velikih proizvođača električne energije, da bi se zadovoljila potražnja kupaca pretpostavlja se mogućnost proizvođača da, bez obzira na vanjske utjecaje, generira točno onoliko električne energije koliko je potrebno kako bi se zadovoljila potražnja i osigurala stabilnost frekvencije. Kada u sustav dodamo veliki broj distribuiranih izvora energije mijenja se koncept upravljanja sustavom, a još više se mijenja ukoliko je definirano da ekološki tj. obnovljivi izvori energije imaju prednost proizvodnje u odnosu klasične elektrane kao što su npr. elektrane na ugljen, naftu, plin. Upravo ovakav zakonski okvir je trenutno na snazi u Republici Hrvatskoj, ali i velikom broju europskih zemalja, koje imaju cilj povećati postotak proizvedene energije iz obnovljivih izvora na 20% do 2020. godine¹²⁴.

Kako bi elektroenergetski sustav mogao funkcionirati, njime se mora upravljati kako bi korisnicima mogao isporučiti električnu energije s ugovorenim parametrima. Upravljanje sustavom možemo podijeliti na dva dijela, u prvom koraku radi se planiranje proizvodnje i potrošnje električne energije na temelju

¹²⁴ Strateški ciljevi Europske unije do 2020. za klimu i energetiku, dostupno na: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en [9. ožujka 2018.]

povijesnih podataka potrošnje te parametara mogućnosti proizvodnje određene elektrane u sljedećem vremenskom razdoblju, npr. jednom danu. Na temelju navedenog postupka slaže se dnevni dijagram opterećenja, kao na slici 12.



Slika 12. Dnevni dijagram opterećenja¹²⁵

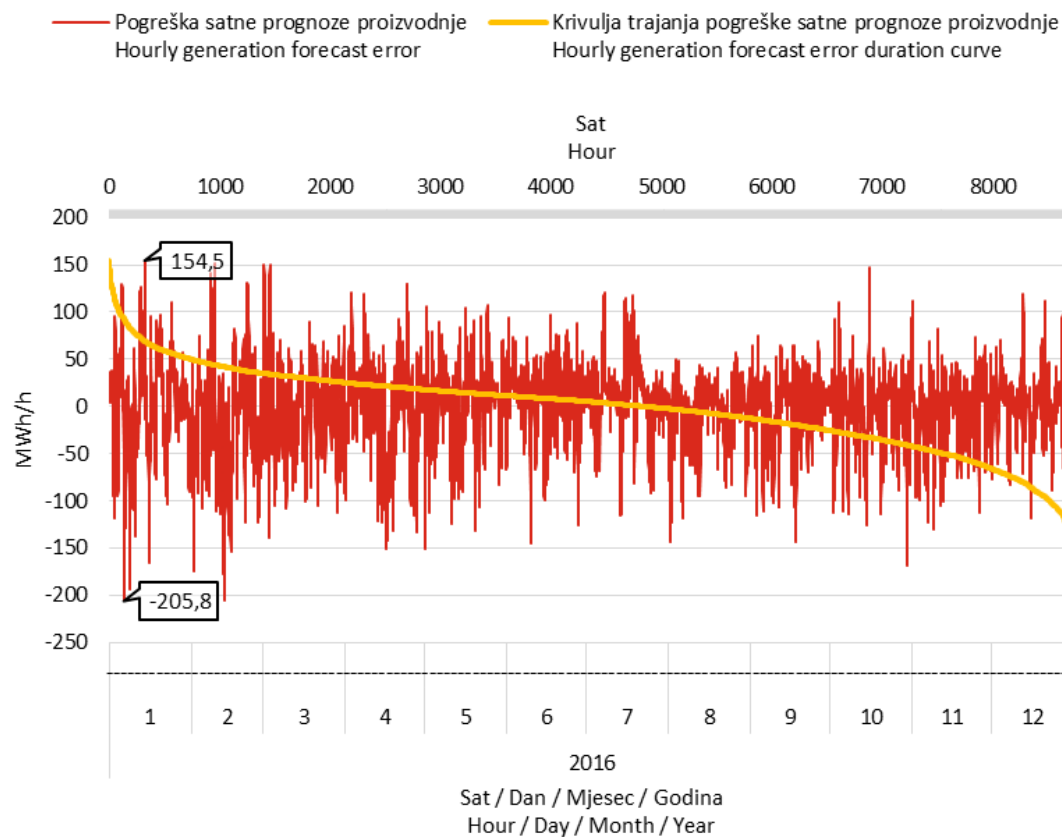
Drugi dio upravljanja je regulacija odstupanja u proizvodnji i potrošnji na temelju stvarnih podataka, te ih usklađuju povećanjem ili smanjenjem proizvodnje električne energije iz određenih elektrana tzv. regulacijskih elektrana te time sustav konstanto dovodi u stabilnost.

Pri planiranju dnevnog dijagrama opterećenja te voznog reda elektrana koji se na isti nastavlja, prije masovne pojave proizvodnje električne energije iz "nepouzdanih izvora energije", sustav se mogao jednostavno planirati jer je regulacija ovisila samo o potrošačkoj strani sustava, isključujući slučajeve havarija ili nestandardnih događaja. Kada su se u sustav počeli priključivati izvori energije poput vjetroelektrana tada je planiranje postalo kompleksnije te je u ovom slučaju, osim reguliranja potrošnje, potrebno regulirati i proizvodnju koja nije konstantna, nema mogućnost regulacije te u velikoj mjeri može odstupati od planirane proizvodnje.

Upravo navedeni obnovljivi izvori energije poput vjetroelektrana, fotonaponskih elektrana i drugih sličnih elektrana unose nestabilnost u elektroenergetski sustav nemogućnošću točnog upravljanja s izlaznom snagom iz sustava te nemogućnošću točnog planiranja proizvodnje. Naime, nemoguće je sa sigurnošću

¹²⁵ Boroš, J. (2016) Regulacija u elektroenergetskom sustavu s velikim udjelom vjetroelektrana. Diplomski rad. Osijek: Elektrotehnički fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

planirati proizvodnju električne energije koja ovisi o brzini vjetra, smjeru vjetra te oscilacija na određenoj mikrolokaciji, a čija se prognoza dobiva na temelju raznih meteoroloških modela tj. simulacija. Upravo vjetroelektrane predstavljaju, trenutno, glavni izazov za prijenosne sustave većine zemalja Europske unije pa tako i Republike Hrvatske u kojoj je u 2016. godini u redovnom pogonu bilo 16 vjetroelektrana, s ukupno instaliranom snagom od 428,15 MW i odobrenom snagom priključenja u iznosu od 420,35 MW¹²⁶, dok je udio drugih izvora i njihov utjecaj na prijenosni sustav za više redova manji od utjecaja vjetroelektrana.



Slika 13. Odstupanje od planirane proizvodnje VE u RH¹²⁷

¹²⁶ HOPS: Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u hrvatskoj za 2016. godinu, Zagreb, veljača 2016.; dostupno na: <http://hops.hr/wps/portal/hr/web/dokumenti/Publikacije/izvjestajive> [15. ožujka 2018.]

¹²⁷ HOPS: Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u hrvatskoj za 2016. godinu, Zagreb, veljača 2016.; dostupno na: <http://hops.hr/wps/portal/hr/web/dokumenti/Publikacije/izvjestajive> [15. ožujka 2018.]

Na slici 13 zorno je prikazano odstupanje stvarne proizvodnje vjetroelektrana od plana proizvodnje. Također, može se uočiti maksimalno odstupanje od plana proizvodnje i to za +154.5 MW te -205.8 MW što predstavlja +36.6% te -48.96% pogrešku u odnosu na ukupnu instaliranu snagu vjetroelektrana u Republici Hrvatskoj. Postotni iznosi prikazuju veliku i nezanemarivu mogućnost pogreške planiranja u odnosu na stvarnu proizvodnju. Upravo zbog ovakvih situacija, a s obzirom da vjetroelektrane i drugi povlaštene obnovljivi energije imaju garantirani otkup sveukupne proizvedene energije bez obzira na greške planiranja, potrebno je imati rezervne elektrane koje reguliraju prijenosni sustav kada se dogodi odstupanje od plana proizvodnje.

U 2019. godini je u Hrvatskoj u redovnom pogonu bilo 20 vjetroelektrana, s ukupno instaliranom snagom 576. Najveća pozitivna satna promjena proizvodnje VE iznosila je 147,7 MW, dok je najveća negativna satna promjena proizvodnje VE iznosila -174,8 MW¹²⁸. Navedeno predstavlja mogućnost za veće odstupanje od satne planirane proizvodnje koja je bila detektirana za 2016. godinu.

Općenito, regulacija prijenosnog sustava obavlja se putem tri razine regulacije, a to su primarna, sekundarna te tercijarna regulacija. Zadaća navedenih razina regulacije je održati sustav u ravnoteži te zadržati definiranu frekvenciju sustava od 50 Hz +/- maksimalno dopušteno odstupanje. Do poremećaja u frekvenciji elektroenergetskog sustava dolazi slijedom pojave neravnoteže između proizvodnje i potrošnje električne energije te se tada frekvencija povećava tj. smanjuje. Primarna regulacija ima zadaću održavanja frekvencije sustava regulacijom ravnoteže snaga sustava, a sve preko automatske regulacije proizvodnje elektrana zaduženih za primarnu regulaciju.

Sekundarna regulacija brine o vraćanju u ravnotežu sustava nakon nastanka poremećaja u sustava i to samo u unaprijed definiranom regulacijskom području Regulacijske elektrane su unaprijed definirane, a njihov opseg definira operator prijenosnog sustava. Tercijarna regulacija je podređena sekundarnoj regulaciji tj. ona omogućava da sekundarna regulacija može vršiti svoj zadatak dovođenjem

¹²⁸ HOPS: Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u hrvatskoj za 2019. godinu, Zagreb, veljača 2020.; dostupno na: <https://www.hops.hr/izvjestaji-o-proizvodnji-ve-u-rh> [10. ožujka 2020.]

sustava u planirano područje djelovanja sekundarne regulacije, a isto se postiže kombinacijom raznih metoda ovisno o veličini poremećaja u sustavu.

Upravo sekundarna i tercijarna regulacija postaju osnova stabilnosti elektroenergetskog sustava nakon što se na njega priključi veliki broj vjetroelektrana. Stoga je potrebno osigurati rezervnu snagu koja je dovoljna da pokrije grešku planiranja proizvodnje vjetroelektrana i omogući brz povratak sustava u ravnotežu, to samim time onemogućuje regulacijske elektrane da "normalno" proizvode električnu energiju kao što bi bilo u slučaju da vjetroelektrane nisu priključene na sustav. Za regulacijske elektrane koriste se uobičajeno hidroelektrane u sustavima gdje su one dostupne te termoelektrane.

U Republici Hrvatskoj se za sekundarnu i tercijarnu regulaciju koriste hidroelektrane HE Zakučac, HE Dubrovnik, HE Senj i HE Vinodol¹²⁹. Sa svojom proizvodnom snagom one su trenutno dostatne da reguliraju potrebe sustava te odstupanja proizvodnje vjetroelektrana.

4.2. Virtualne elektrane i prijenosni sustav

Uzimajući u obzir kompleksnost upravljanja prijenosnim sustavom te prema sadašnjim trendovima njegova daljnja usložnjavanja, možemo pretpostaviti da je jedan dio rješenja problema upravo u virtualnim elektranama. Stoga možemo izdvojiti još jednu opću definiciju virtualne elektrane koja kaže da je virtualna elektrana sustav disperziranih generatorskih jedinica, kontrolabilnih potrošača te raznih spremnika električne energije, koji su spojeni kako bi djelovali kao jedna jedinstvena elektrana. Izvori energije mogu biti obnovljivi i fosilni, a dok je središnji dio sustav upravljanja virtualnom elektranom koji koordinira izlazne snage proizvođača, potrošnju potrošača te količinu spremljene energije¹³⁰. S tim da se virtualna elektrana ne mora sastojati od svih komponenti, ali ukoliko bi ona iste uključivala mogla bi maksimizirati svoju financijsku i ekonomsku isplativost.

¹²⁹ Boroš, J. (2016) Regulacija u elektroenergetskom sustavu s velikim udjelom vjetroelektrana. Diplomski rad. Osijek: Elektrotehnički fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

¹³⁰ Saboori, H., Mohammadi, M. i Taghe, R. (2011) Virtual Power Plant (VPP), Definition, Concept, Components and Types. 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) 25-28 ožujka 2011., Wuhan, China, str. 1-4.

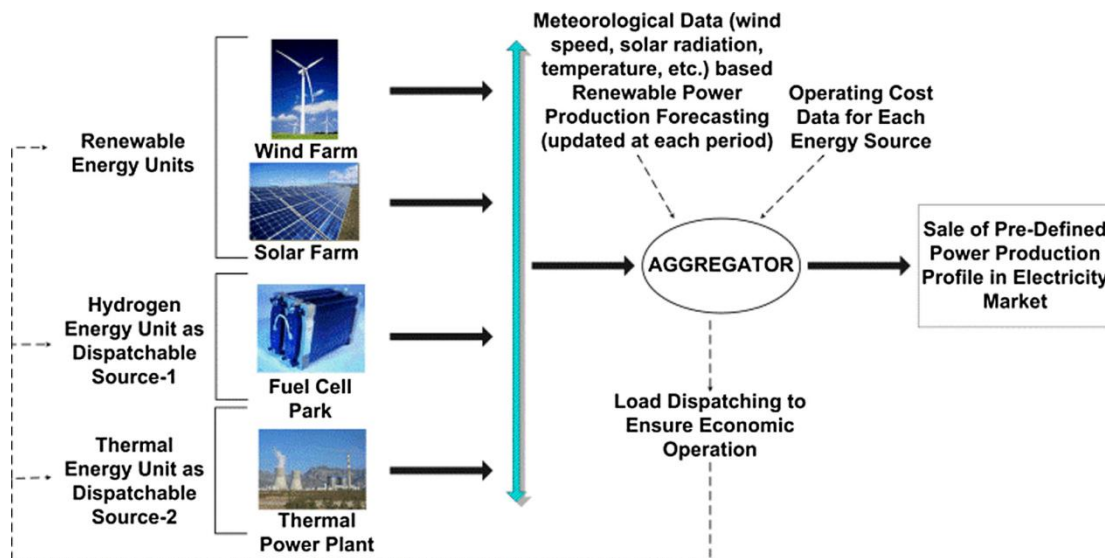
U pogledu izvora električne energije u sklopu virtualne elektrane, elektrane mogu biti: elektrane na biomasu, vjetroelektrane, fotonaponske elektrane, visokoučinkovite kogeneracijske elektrane na plin, hidroelektrane, geotermalne elektrane itd. Dok bi u idealnom slučaju u virtualnu elektranu bilo poželjno priključiti i potrošača s fleksibilnom potrošnjom tj. koji može povećavati/smanjivati svoju potrošnju ovisno o dostupnosti izvora unutar virtualne elektrane. Ukoliko nije moguće svu energiju potrošiti, a ekonomski je istovremeno isplativo, moguće je energiju skladištiti na određene načine. Dominantan način skladištenja električne energije je reverzibilna hidroelektrana koja kod postojanja viška električne energije radi kao potrošač te pumpa vodu u spremnik, dok kod manjka djeluje kao generator te proizvodi potrebnu energiju. Osim navedene, postoje spremnici poput spremnika energije u vidu komprimiranog zraka, zamašnjaka, superkondenzatora, klasičnih akumulatorskih jedinica, vodikovih ćelija, itd. Sve kombinacije gore navedenih objekata mogu tvoriti virtualnu elektranu. Bit virtualne elektrane je da ona bude smišljena tako da ona predstavlja više od sume pojedinačnih vrijednosti komponenata tj. da se njena povezanost može iskazati opravdanošću kroz ekonomsku ili financijsku analizu isplativosti projekta ili kroz tehničke mogućnosti te smanjenje rizika.

Virtualna elektrana može optimizirati proizvodnju na temelju stanja prijenosne mreže na koju je priključena, a uzimajući u obzir budući plan ostvarenja te potencijalna preopterećenja¹³¹. U većini slučajeva obuhvaća elektrane iste ili bliske geografske lokacije ukoliko je riječ o sustavu velikog broja manjih generatora energije, kao npr. fotonaponske elektrane na krovovima kuća i zgrada. Takva elektrana ima zadaću doprinijeti mogućnostima upravljanja sustavom kroz organizirano upravljanje svim izvorima te uz navedeni uvjet pridonijeti optimalnoj iskoristivosti svih angažiranih dijelova virtualne elektrane.

Komercijalna djelatnost virtualne elektrane osigurava se trgovanjem na veleprodajnom tržištu električne energije, balansiranjem portfelja električne energije i pružanjem usluga operatoru distribucijskog i/ili prijenosnog sustava.

¹³¹ Braun, M. (2009) Virtual Power Plants in Real Applications: Pilot Demonstrations in Spain and England as part of the European project FENIX. Internationaler ETG Kongress 27-28 listopada 2009., Düsseldorf, Germany, str. 41-46.

Virtualna elektrana objedinjuje tehničke i ekonomske parametre svake komponentne virtualne elektrane kako bi se izradio model ponude i potražnje, a koji bi optimizirao prihode proizvođača i upravljivih trošila izloženih otvorenom tržištu energije. Optimizacija virtualne elektrane je komercijalne prirode te ona kroz svoj rad osigurava vidljivost na tržištima električne energije, sudjelovanje na istima te kroz dvoje navedenih dovodi do povećanja korisnosti sudjelovanja na tržištu tj. do povećanja prihoda¹³².



Slika 14. Sustav upravljanja virtualno elektranom u tržišnim uvjetima¹³³

Gledajući zbirno prednosti virtualne elektrane u odnosu na pojedinačne elektrane možemo ih detektirati u više područja. Prvenstveno virtualna elektrana omogućava bolju optimizaciju i planiranje proizvodnje, omogućuju internu regulaciju pri smanjenju tj. povećanju potrošnje u prijenosnom sustavu, povećava financijsku stabilnost zbog integriranja raznih jedinica koje imaju drugačije metode održavanja kada su izvan radnog režima, izlazak objedinjenih manjih potrošača na burzu, optimizaciju vrijednosti proizvedene električne energije.

¹³² Mikulić, K. (2013) Virtualne elektrane kao model za konkurentnost malih proizvođača na tržištu električne energije. Diplomski rad. Zagreb: Fakultet elektrotehnika i računarstva, Sveučilište u Zagrebu.

¹³³ Tascikaraoglu, A. et al. (2014) An adaptive load dispatching and forecasting strategy for a virtual power plant including renewable energy conversion units. Applied energy, br. 119, str. 445–453.

U smislu rizika za investitora, virtualna elektrana daje mogućnost eliminacije i smanjenja određenih rizika; tipa financijskog rizika, regulatorskog/zakonskog rizika, smanjuje rizik pregovaračke pozicije tj. povećava mogućnost pregovora te generalno povećava vrijednost projekta tj. financijskog rezultata.

Prednosti za operatore prijenosnog sustava su: povećana vidljivost manjih delokaliziranih jedinica za jednostavnije upravljanje mrežom, mogućnost upravljanja izlaznom snagom, poboljšana upotreba mrežnih resursa, disperzija odgovornosti upravljanja mrežom prema proizvođačima.

Opće koristi predstavljaju: financijski održivi veliki sistemi obnovljivih izvora energije koji ne ugrožavaju rad prijenosnog sustava, otvaranje tržišta električne energije za manje proizvođače, lakše ostvarivanje zadanih ciljeva u pogledu CO₂ politika te politika obnovljivih izvora energija, mogućnost za daljnji razvoj i napredak električnog prijenosnog sustava.

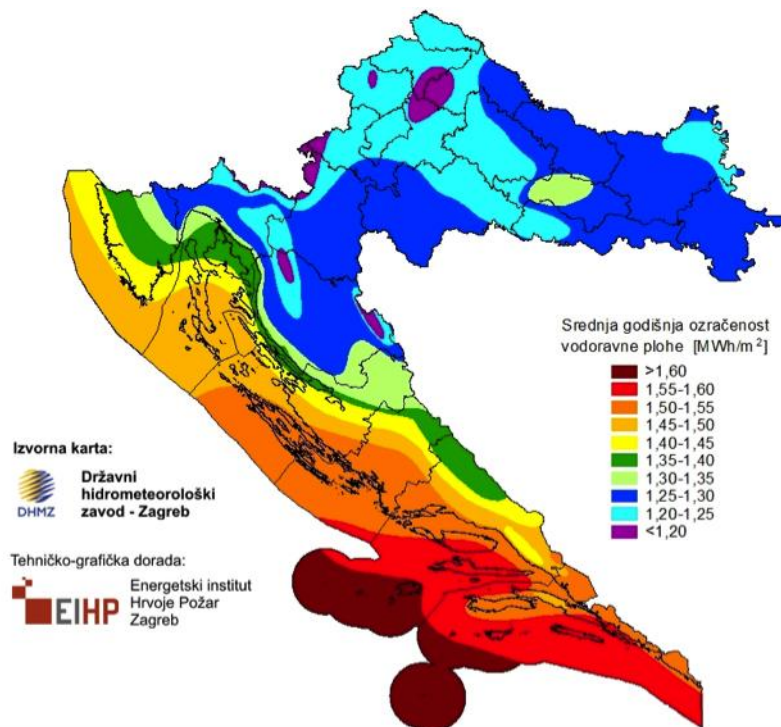
4.3. Projekt virtualne elektrane

Projektni model virtualne elektrane sastoji se od tri proizvođačke komponentne integrirane preko upravljačkog modula. Prema projektnoj dokumentaciji izlazna proizvodna snaga virtualne elektrane bila bi konstantna tj. u svakom trenutku bi mogla davati 65 MW električne energije u mrežu.

Virtualna elektrana sastoji se od fotonaponske elektrane, vjetroelektrane te visokoučinkovite kogeneracijske plinske elektrane.

4.3.1. Fotonaponska elektrana

Temeljni podatak za projektiranje solarnih sustava je srednja dnevna ozračenost vodoravne plohe ukupnim sunčevim zračenjem (ukupna ozračenost). Pod optimalnim uvjetima, na površini Zemlje može se dobiti 1 kW/m², a stvarna vrijednost ovisi o lokaciji, godišnjem dobu, dobu dana, vremenskim uvjetima i ostalim parametrima. Republika Hrvatska sa svojim geografskim položajem i ukupnim sunčevim zračenjem te potencijalom u proizvodnji električne energije iz sunčevog zračenja spada u povoljnije geografske položaje. Prosječne vrijednosti sunčevog zračenja koje je moguće pretvoriti u električnu energiju kreću se od 1200 do 1700 kWh/m² ili 1000 do 1425 kWh godišnje po instaliranom kW solarnog sustava.



Slika 15. Srednja godišnja ozračenost u Republici Hrvatskoj¹³⁴

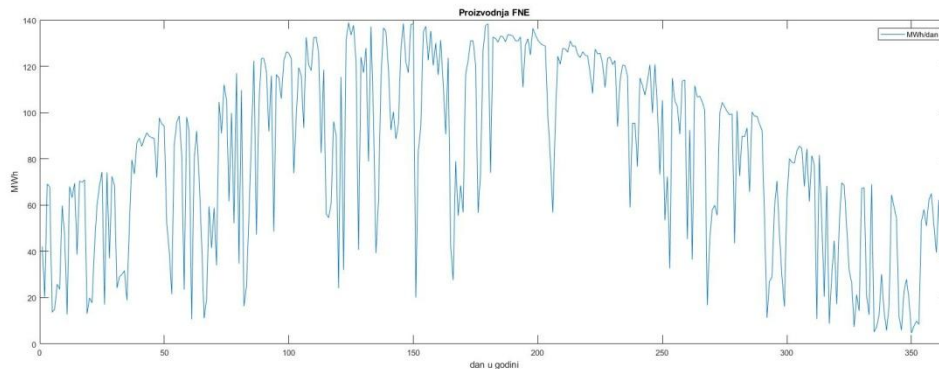
U pogledu sunčevog zračenja u Republici Hrvatskoj možemo definirati dva područja, a to su kontinentalna i primorska (ili južna) Hrvatska. U primorskoj Hrvatskoj prosječna količina zračenja je i do 30% veća nego u kontinentalnoj tako da je logičan odabir za izgradnju fotonaponske elektrane južna hrvatska. Prema projektnom primjeru fotonaponska elektrana nalazila bi se u Splitsko-dalmatinskoj županiji na prostoru sunčeve ozračenosti od 1400 do 1600 kWh/m².

Fotonaponska elektrana izgradila bi se na prostoru dovoljno udaljenom od mora i po mogućnosti zaštićenim od vjetrova tj. njegovih najvećih udara, također kod parametra odabira lokacije uzeta je i obzir i mogućnost priključka na mrežu s malim troškovima. Projektnim prijedlogom planirana je fotonaponska elektrana instalirane snage 20 MW s prosječnom godišnjom proizvodnjom od približno 30 000 MWh isporučene električne energije u mrežu. Ukupna investicija iznosila bi 127 milijuna kuna bez PDV-a.

Fotonaponske elektrane ne proizvode energiju većinu dana, dok je maksimum njihove proizvodnje u sredini dana, tj. kada je sunce u zenitu. Zbog toga je

¹³⁴ Srednja godišnja ozračenost u Republici Hrvatskoj, dostupno na: <http://www.eihp.hr/> [20. kolovoza. 2018.]

potrebno planirati njihovu proizvodnju prema satima, a uzimajući u obzir; osim datuma i jačine zračenje, vremensku prognozu tj. naoblaku. Ukoliko nastupi naoblaka tada količina proizvedene energije drastično pada, a isto se zorno vidi na grafu 8. Upravo oscilacije na grafu dolaze zbog loših vremenskih prilika tj. kišnih i oblačnih dana. Dok je sinusoidni oblik godišnje proizvodnje rezultat izmjene godišnjih doba tj. povećanja i smanjenja sati sunca te jačine sunčeva zračenja.



Graf 8. Godišnja proizvodnja FNE prema dnevnoj proizvodnji¹³⁵

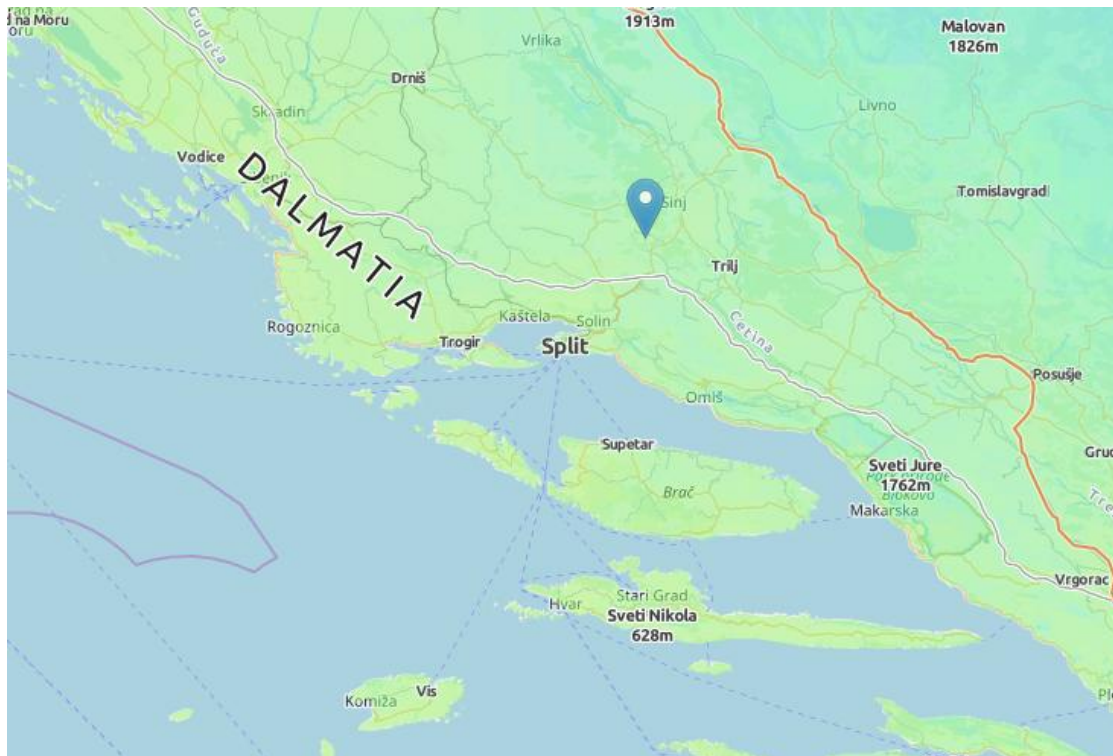
Za simulaciju rada FNE (fotonaponska elektrane) korišten je sustav Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)¹³⁶ koji je pokrenut od Europske komisije, a omogućava izračun svih parametara potrebnih za projektiranje solarnih sustava. Sustav sadrži tri skupine podataka za svaku geografsku lokaciju na prostoru Europe, Afrike i Azije. Podatke iz sustava možemo podijeliti u tri grupe: geografski podaci, prostorno neprekinuti klimatski podaci te regionalni prosjeci za izgrađena područja¹³⁷. U pogledu provedene simulacije najbitnija mogućnost sustava je satna ozračenost na temelju koje sustav računa satnu proizvodnju projektiranog FN sustava.

Simulacija je provedena na lokaciji 43.649° SGŠ, 16.586° IGD, visine 365 metara na temelju baze podataka PVGIS-ERA5. FNE je predviđen na bazi monokristalnih silicijskih fotonaponskih ploča, nominalne snage 20 MW te s predviđenim gubitkom do isporuke u mrežu od 14%.

¹³⁵ izrada autor

¹³⁶ Pristupna lokacija programa i podataka: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis.html>

¹³⁷ Šerman, B. (2017) Ekonomska ocjena mjera energetske učinkovitosti. Diplomski rad. Osijek: Elektrotehnički fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.



Slika 16. Lokacija simulirane FNE¹³⁸

4.3.2. Vjetroelektrana

Osnovni podaci za projektiranje vjetroelektrane su brzina i smjer vjetra na mikrolokaciji na kojoj je planirano postrojenje. Vjetroelektrane u svom radu pretvaraju energiju vjetra tj. kinetičku energiju zraka u električnu energiju. Energija vjetra nastaje iz jednog dijela sunčevog zračenja zbog kojeg nastaju lokalne razlike tlaka i temperature zraka, a kao posljedica nejednolikog tlaka nastaje vjetar, tj. kretanje zraka iz područja višeg tlaka u područje nižeg tlaka. Sunce emitira na zemlju oko $1.74 \cdot 10^{14}$ kWh energije u jednom satu. Prema znanstvenim procjenama, oko 1 do 2 posto energije Sunca koju zemlja apsorbira pretvori se u gibajuću energiju vjetra¹³⁹.

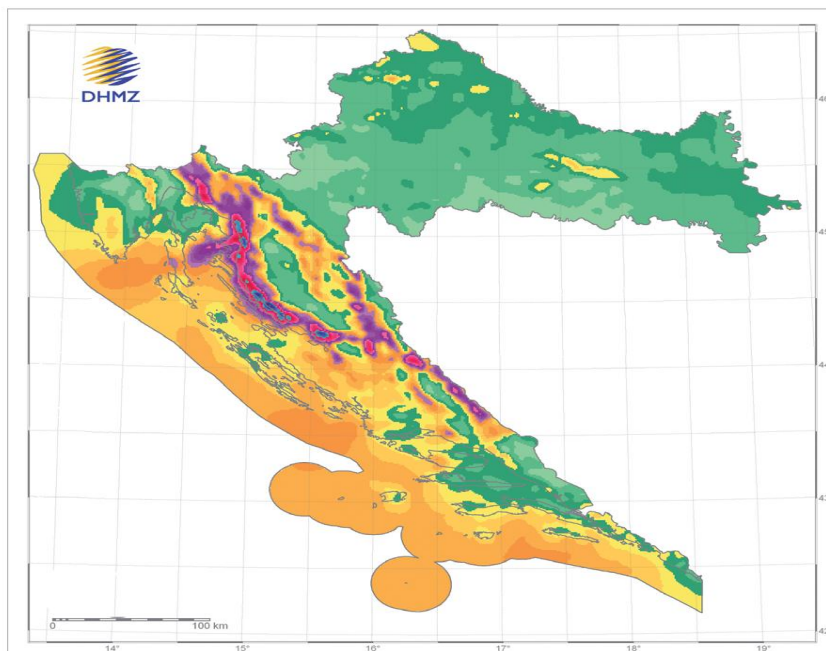
Osim tlaka i temperature, odlučujući utjecaj na svojstva vjetra ima reljef koji može povećati ili smanjiti lokalne turbulencije vjetra, u tom pogledu treba dobro

¹³⁸ izrada autor

¹³⁹ Jakus, D. (2012) Integracija vjetroelektrana u uvjetima ograničenog kapaciteta prijenosne mreže. Doktorska disertacija. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu.

analizirati lokaciju potencijalne vjetroelektrane, kako bi lokacija imala što manje turbulencija, a pri tom što veću potencijalnu iskoristivu energiju vjetra. Stoga, kako bi se smanjio utjecaj reljefa i poboljšala učinkovitost vjetroagregata, isti se polažu na visinu od 80 metara od tla.

U pogledu potencijalnih područja za izgradnju vjetroelektrana, možemo napraviti podjelu kao i za FNE na primorski i kontinentalni dio Republike Hrvatske kao što je vidljivo na slici 17. Velika većina prostora pogodnih za izgradnju nalazi se u primorskoj hrvatskoj, a posebice u četiri dalmatinske županije. Također, veliki utjecaj na karakteristike vjetra ima reljef, koji definira veliku varijabilnost brzine i smjera vjetra tj. potencijalno ekstremne vrijednosti brzine vjetra te periode potpunog mirovanja.



Slika 17. Središnja godišnja gustoća snage vjetra na 80 metara iznad tla u Republici Hrvatskoj¹⁴⁰

Projektom je definirana VE (vjetroelektrana) instaliranog kapaciteta od 45 MW, koja bi godišnje proizvodila 110 000 MWh električne energije, ukupan trošak izgradnje iznosi 460 milijuna kuna bez PDV-a. Projektna elektrana simulirana je u programu System Advisor Model (SAM), navedeni program omogućava simulaciju

¹⁴⁰ Atlas vjetra Hrvatske, dostupno na: https://meteo.hr/klima.php?section=klima_hrvatska¶m=k1_8 [10. prosinca. 2019.]

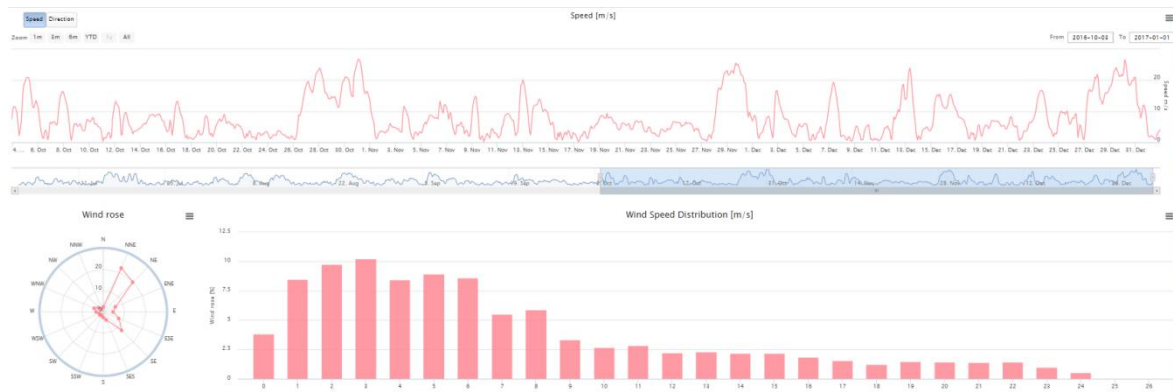
raznih elektroenergetskih sustava, a posebice FNE i VE¹⁴¹. SAM nema podatke o vjetru za lokacije u RH te su podatci za simulaciju dobiveni od programskog paketa VORTEX¹⁴². Programsko rješenje VORTEX-a bazira se na definiranju lokacije projektne elektrane za koju se nakon provedene analize dobivaju 4 seta podataka satne prognoze vjetra na 4 visine od 50, 80, 110 te 140 metara. Nakon analize podataka odabrani su podaci dobiveni preko sustava MERRA za visinu od 80 metara, obradom odabranih podataka isti su pripremljeni za ulazni format u sustav SAM u kojem je provedena simulacija.

Proizvodnja električne energije iz vjetroelektrana je specifična, budući da ovisi o vremenskim uvjetima, ona je izrazito varijabilna. Varijabilna priroda vjetra te samim tim proizvodnja vjetroelektrana uvjetuje dodatne zahtjeve u vođenju i planiranju rada EES (elektroenergetskog sustava), kao što je opisano u prethodnom poglavlju. Nepogodnost rada vjetroelektrana nije samo u varijabilnoj proizvodnji nego u nepoznanici početka i završetka strujanja vjetra na nekoj lokaciji vjetroelektrane, potom o smjeru vjetra i njegovoj promjeni tijekom rada vjetroelektrane¹⁴³. Upravo simulirana raspodjela brzine vjetrova te smjera prikazana je na slici 18., a iz slike je vidljiva stalna oscilacija brzine vjetra, dok su smjerovi puhanja relativno konstantni. Upravo zbog ovakve prirode vjetra na lokaciji vjetroelektrane teško je prognozirati stvarane proizvodne mogućnosti s velikom sigurnošću.

¹⁴¹ Pristupna lokacija programa: <https://sam.nrel.gov/>

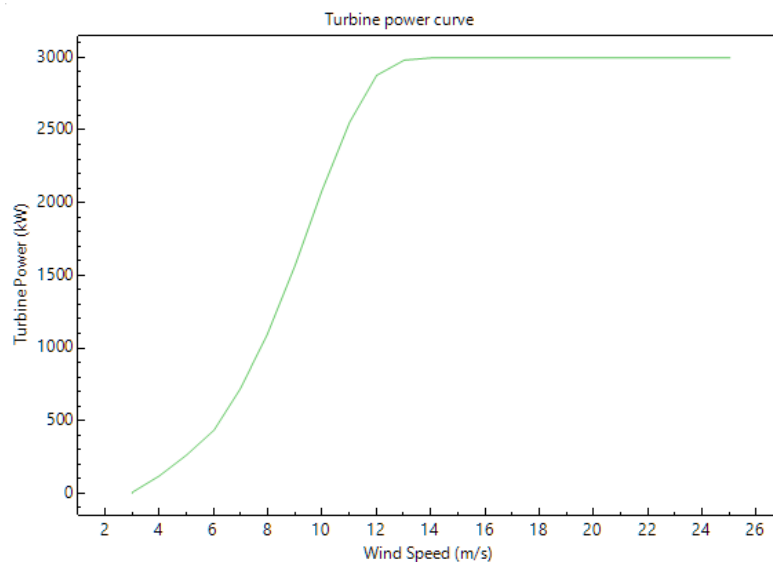
¹⁴² Pristupna lokacija programa: <http://www.vortexfdc.com/>

¹⁴³ Sagrestano, P. (2017) Vjetroelektrane u Hrvatskoj i Europskoj uniji: Trenutno stanje i nadolazeći trendovi s posebnim osvrtom na tržište električne energije. Poslijediplomski specijalistički rad. Rijeka: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Rijeci.



Slika 18. Simulirani parametri vjetra za razdoblje mjeseca listopada, studenog i prosinca¹⁴⁴

Simulacija je provedena za ulazne podatke na lokaciji 43.63° SGŠ, 16.923° IGD, definirana je vjetroelektrana koja se sastoji od 15 vjetroturbina Siemens SWT-3.0MW, koje imaju karakteristične graf izlazne snage prikazan na slici 19.



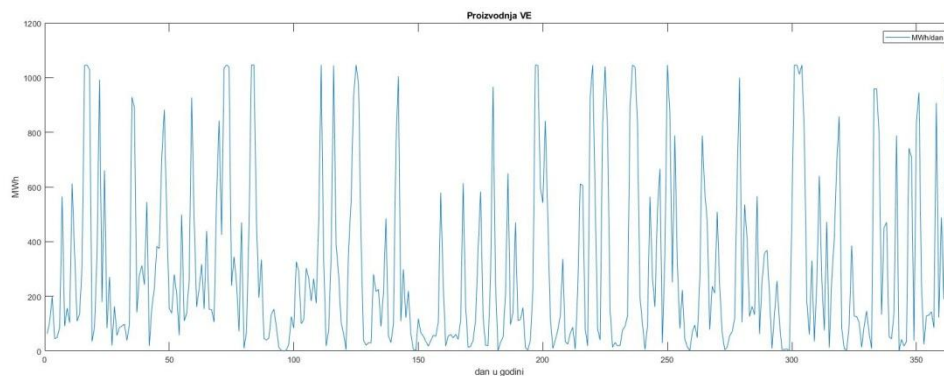
Slika 19. Karakteristika odabrane turbine SWT-3.0MW¹⁴⁵

Provedenom simulacijom dobivena je godišnja satna proizvodnja projektne vjetroelektrane, prikazana na grafu 9. Iz grafa je vidljiva velika dnevna varijabilnost proizvodnje električne energije, koja je uzrok specifičnih karakteristika vjetra na projektnoj lokaciji. Također, u godini je zabilježeno nekoliko gašenja vjetroelektrane nakon što je brzina vjetra prešla 25 m/s - upravo je navedeni scenarij najgori te predstavlja najveće opterećenje za elektroenergetski sustav jer

¹⁴⁴ izrada autor

¹⁴⁵ Ibid

u jako kratkom vremenu treba osigurati snagu koja je "ispala" iz sustava, u projektom slučaju to iznosi 45 MWh/h.



Graf 9. Godišnja proizvodnja VE prema dnevnoj proizvodnji¹⁴⁶

4.3.3. Visokoučinkovita kogeneracijska plinska elektrana

Treća komponenta analiziranog projektog tj. virtualne elektrane je visokoučinkovita kogeneracijska plinska elektrana procijenjene neto izlazne snage 68 MW. Razlog za odabir upravo ovakvog tipa elektrane je nekoliko, prvenstveno jer je riječ o elektrani čija proizvodnja ne ovisi o vremenskim uvjetima te samim time daje smisao projektnoj ideji virtualne elektrane koja u svakom trenutku može isporučiti 65MW sumirane električne energije u mrežu. Druge potencijalne opcije kao zamjena plinskoj elektrani su elektrane na biomasu, hidroelektrane ili velike akumulacijske jedinice za električnu energiju. Svaki od navedenih zamjena ima svojih prednosti i mana, ali odabir na plinskoj elektrani je upravo u stabilnosti njene proizvodnje, visokoj učinkovitosti, dostupnosti plina u svakom trenutku te mogućnosti brze reakcije pri potrebi za smanjenjem odnosno povećanjem isporuke električne energije u mrežu. Također, osim tehničkih prednosti postoje i zakonske prednosti koje definiraju mogućnost premijske cijene električne energije za visokoučinkovita kogeneracijska postrojenja.

Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji koji je na snazi od 20.8.2018. godine¹⁴⁷, definirano je da elektrane čiji je izvor

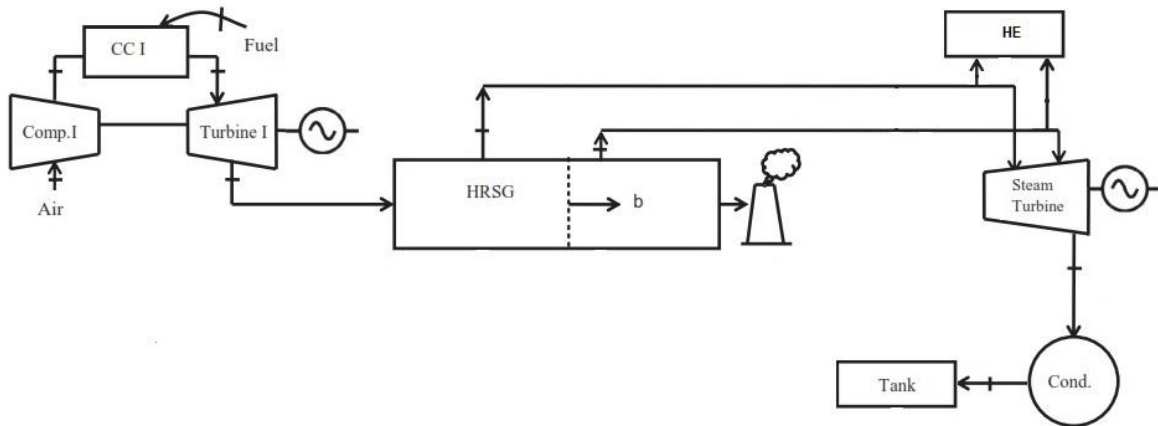
¹⁴⁶ izrada autor

primarne energije fosilno gorivo, spadaju u sustav poticaja, ukoliko zadovoljavaju kriterij visokoučinkovitosti te kogeneracije tj. istovremene proizvodnje električne i toplinske energije. S tim da je visokoučinkovitost definira člankom 4. stavkom 35. koji glasi: "Visokoučinkovita kogeneracija - kogeneracijsko postrojenje koje osigurava uštedu primarne energije od najmanje 10% u usporedbi s referentnom odvojenom proizvodnjom električne i toplinske energije..."

Preglednom analizom učinkovitosti elektrana na fosilna goriva, možemo izdvojiti dvije kategorije, a to su elektrane pogonjene plinom te elektrane pogonjene ugljenom. Elektrane koje kao primarne izvor koriste ugljen u prosjeku mogu postići stupanj učinkovitosti od 40%, dok najbolje elektrane dostižu maksimalan stupanj iskoristivosti od 46%¹⁴⁸. Elektrane koje kao primarni energent koriste plin mogu se podijeliti u dvije skupine elektrana, a to su jednociklusne elektrane koje imaju sličnu učinkovitost kao i elektrane na ugljen, te kombinirano ciklusne elektrane kojima se ukupna energetska učinkovitost u proizvodnji električne energije podiže do 62%. Ukoliko se osim proizvodnje električne energije otpadna toplina iskoristi za grijanje ili hlađenje industrijskih postrojenja ili gradova tada ukupna efikasnost generirane toplinske i električne energije dostiže 80%, što je jedan od najoptimalnijih načina korištenja primarne energije te predstavlja optimalnu proizvodnju CO₂ plina tj. omjera proizvedene korisne energije i ispuštenog plina.

¹⁴⁷ Narodne novine (2018) Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji. Zagreb: Narodne novine d.d. br. 111/18, dostupno na <https://www.zakon.hr/z/827/Zakon-o-obnovljivim-izvorima-energije-i-visokou%C4%8Dinkovitoj-kogeneraciji>

¹⁴⁸ Blumberga, T. et al. (2017) Comparative exergoeconomic evaluation of the latest generation of combined-cycle power plants. *Energy Conversion and Management* br. 153, str. 616–626.



Slika 20. Shema kogenerirajuće-kombinirano ciklusne plinske elektrane¹⁴⁹

Zbog navedenih tehničkih, zakonskih i ekoloških uvjeta izabrana je plinska visokoučinkovita kogenerirajuća elektrana kao treća komponenta projektne virtualne elektrane, a čija je shema rada tj. postrojenja prikazana na slici 20. Ciklus proizvodnje električne energije kreće od dovoda komprimiranog zraka u plinsku turbinu elektrane gdje u miks s prirodnim plinom dolazi do izgaranja i ekspanzije zagrijane mase plina koja pokreće turbinu koja generira električnu energiju. Izlazni zrak iz turbine i dalje ima veliku količinu sadržane toplinske energije koja se onda provodi do rekuperatora toplinske pare koji dovedenu energiju pretvara u energiju vodene pare tj. istoj predaje dovedenu toplinu s velikim stupnjem učinkovitosti. Vodena para se u trećoj fazi odvodi u parnu turbinu gdje se proizvodi električna energija po drugi put iz istog primarnog energenta¹⁵⁰. Višak pare ili planirani dio pare odvodi se prema izmjenjivaču topline u kojem se pretvara u toplinsku energiju, kao npr. vrelovodu, koja se onda dalje koristi za grijanje objekta za stanovanje, industrijska ili poljoprivredna postrojenja.

Prema navedenim parametrima i potrebnim funkcionalnostima odabrano je postrojenje SCC 800 1x1 C, proizvođača Siemens. Primarni dijelovi postrojenja su:

- Plinska turbina SGT-800 nominalne snage 50 MW

¹⁴⁹ Ersayin, E. i Ozgener, L. (2015) Performance analysis of combined cycle power plants: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* br. 43, str. 832–842.

¹⁵⁰ Ibid

- Rekuperator topline i jedinica za proizvodnju pare HRSG 2-p s dimnjakom
- Parna turbina
- Kondenzator za vodeno hlađenje i sustav za izmjenu topline

Tablica 3. Proizvodni parametri postrojenja SCC 800 1x1 C¹⁵¹

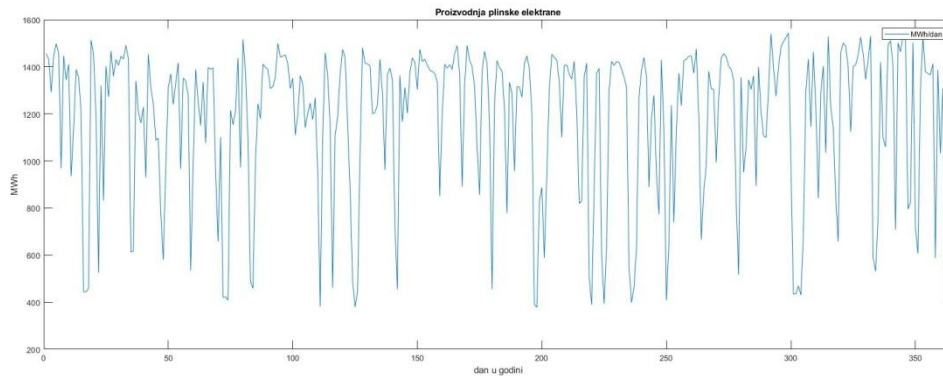
Nazivna neto izlazna snaga	71,2 MW(e)
Nazivna efikasnost postrojenja	57,2%
Nazivna stopa toplinskog omjera	6298 kJ/kWh

Odabrano tehničko rješenje projektirane snage 68 MW, bilo bi smješteno u blizini planiranih postrojenja fotonaponske i vjetroelektrane, uz uvjet spajanja na magistralni plinovod, a čija je najjužnija točka čvorište Dugopolje. Osim navedenog potrebno je postrojenje postaviti uz rijeku zbog potreba za hlađenjem te korištenjem vode kao prijenosnog sredstva topline. Projektirana cijena postrojenja iznosila bi 636 milijuna kuna bez PDV-a, u ukupni godišnji potencijal proizvodnje električne energije bi iznosio 594 400 MWh, pri konstantnoj proizvodnji 65 MWh/h.

4.3.3.1. Proizvodnja električne energije za održavanje izlazne snage

Provedenom simulacijom dobivena je godišnja satna proizvodnja projektne plinske elektrane, prikazana na grafu 10. Iz grafa je vidljiva velika dnevna varijabilnost proizvodnje električne energije, te je ona upravo suprotnog predznaka od proizvodnje vjetroelektrane tj. plinska elektrana će proizvoditi maksimalno električne energije kada ne puše vjetar te nema Sunca.

¹⁵¹ SGT-800 gas turbine, dostupno na mrežnoj stranici: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbines/sgt-800.html> [17.11.2019.]



Graf 10. Godišnja proizvodnja PE prema dnevnoj proizvodnji za potrebe virtualne elektrane¹⁵²

Grafom proizvodnje zadovoljen je tehnološki uvjet proizvodnje električne energije virtualne elektrane od 65 MWh/h te na ovaj način virtualna elektrana ne predstavlja opterećenje za mrežu te joj nisu potrebne elektrane iz sustava koje bi balansirale odstupanja od proizvodnje pri normalnom režimu rada. Kroz navedeni režim rada elektrana bi prosječno godišnje proizvodila 427 000 MWh električne energije, a gledajući na ukupni mogući angažman isto iznosi 75% angažiranosti.

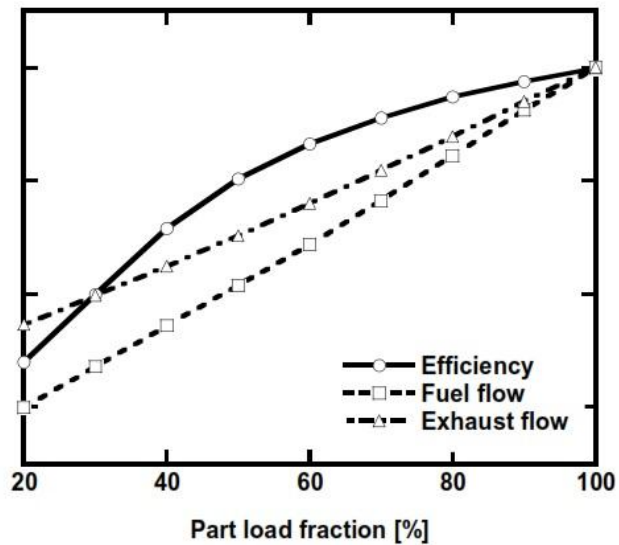
4.3.3.2. Proizvodnja električne energije, tržište uravnoteženja i toplinska energija

Ukupni potencijal proizvodnje električne energije plinske elektrane nije u potpunosti iskorišten ukoliko bi se ista samo koristila za proizvodnju energije virtualne elektrane tj. zadatka za konstantom izlaznom snagom od 65MW. S tim više ukoliko bi istu koristili samo u svrhu proizvodnje energije za virtualnu elektranu proizvodnja ne bi bila učinkovita jer bi u pojedinim satima opterećenost postrojenja bila podoptimalna što bi značajno smanjilo učinkovitost proizvodnje.

Naime, kako bi plinska elektrana mogla proizvoditi električnu energiju pri visokoj učinkovitosti potrebno ju je planski držati u visokom opterećenju tj. visokom režimu rada. To znači da bi faktor opterećenosti trebao biti minimalno veći od 0,7, što je faktor manji to efikasnost opada progresivnom stopom te isto nije poželjan slučaj niti s tehničke niti s ekonomske strane¹⁵³.

¹⁵² izvor autor

¹⁵³ Hong Lee, J., Seop Kim, T. i Kim, E. (2017) Prediction of power generation capacity of a gas turbine combined cycle cogeneration plant. Energy br. 124, str. 187-197.

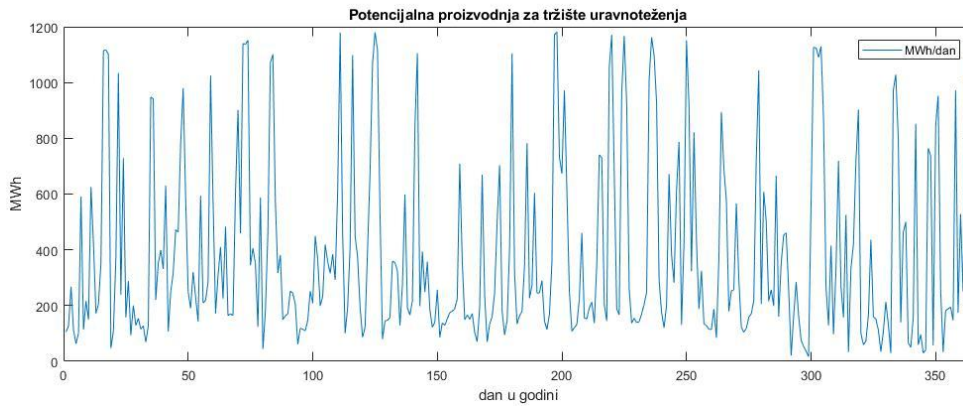


Slika 21. Efikasnost PE prema faktoru opterećenosti¹⁵⁴

Kako bismo održali faktor opterećenja što većim potrebno je dodatno angažirati plinsku elektranu, u prvih 14 godina, dok bi ista bila u sustavu poticaja predviđena je prodaja električne energije direktno u sustav koji ima obavezu preuzimanja cjelokupne energije. Nakon protoka perioda povlaštenog proizvođača predviđeno je energiju i snagu plasirati na tržište pomoćnih usluga tj. tržištu uravnoteženja. Što znači da bi s potencijalnom viškom energije do pune proizvodnje ista mogla uravnotežavati cjelokupan elektroenergetski sustav ili direktno sklopiti ugovore s drugim proizvođačima električne energije iz obnovljivih izvora energije te njima direktno pružati usluge uravnoteženja.

Preostali dio do satne proizvodnje od 65 MWh prikazan je na grafu 11. iz kojeg je vidljivo da u određenim danima postoji veliki potencijal za sudjelovanje na tržištu pomoćnih usluga ili u drugom vidu opskrbe elektroenergetskog sustava. Pri ukupnoj iskoristivosti elektrane moguće je na tržište ponuditi 99 000 MWh električne energije tj. 25% ukupnog potencijala godišnje proizvodnje.

¹⁵⁴ Hong Lee, J., Seop Kim, T. i Kim, E. (2017) Prediction of power generation capacity of a gas turbine combined cycle cogeneration plant. Energy br. 124, str. 187-197.



Graf 11. Godišnja proizvodnja PE prema dnevnoj proizvodnji za tržište uravnoteženja¹⁵⁵

Također, ukoliko se navedena količina električna energija ne uspije prodati na tržištu, ista se može staviti na raspolaganje sustavima grijana. Osim moguće upotrebe za proizvodnju toplinske energije u razlici od projektiranih 68 MW, bitno je istaknuti da ukupna efikasnost plinske elektrane ovisi o vanjskoj temperaturi zraka pri kojoj se događa sagorijevanje te će povećanjem temperature smanjiti efikasnost plinske elektrane. Što znači da u ljetnim mjesecima kada i nema puno potrebe za toplinskom energijom, ista neće moći proizvoditi u predviđenom potencijalu te će skoro cijelo postrojenje biti upotrijebljeno za proizvodnju električne energije, a kada za istom postoji velika potražnja.

Predviđena je prosječna proizvodnja toplinske energije od 19 MWh toplinske energije, što je na godišnjoj razini predstavlja 169 000 MWh. Navedenu energiju namjerava se plasirati obližnjim industrijskim postrojenjima te kućanstvima. Predviđena ukupna efikasnost plinske elektrane, u sumi proizvodnje toplinske i električne energije, iznosi 75%.

¹⁵⁵ izvor autor

5. Analiza poslovnog slučaja ulaganja u virtualnu elektranu

Definiranjem poželjnih tehničkih karakteristika sustava, osnovnih pretpostavki za rad te analiziranih primarnih parametara može se krenuti u ekonomsku analizu isplativosti investicije.

5.1. Investicijski troškovi

Kao prvo potrebno je definirati samu veličinu investicijskog ulaganja, tj. veličinu za sve tri komponente virtualne elektrane. Veličina investicijskog ulaganja definirana je u iznosima same izgradnje i opreme te pripremnih radova za izgradnju koje su definirane u postotnom iznosu kao 1% ukupnog troška izgradnje, iste uključuju izradu dokumentacije te ishođenje potrebnih suglasnosti i dozvola za rad. Navedeno bi se odnosilo na izradu projektne dokumentacije te razne potrebne dozvole i prethodne suglasnosti. Troškovi priključenja sastavni su dio investicijskog ulaganja uz pretpostavku relativne blizine mogućeg priključka te relativno povoljnog stanja infrastrukture. U tablici 4. definirani su iznosi te ukupna svota investicije od 1.529 milijardi kuna.

Tablica 4. Investicijsko ulaganja

Br.	Stavka ulaganja	Iznos (HRK)
1.	Pripremni radovi solarna elektrana	1.260.000
2.	Pripremni radovi vjetroelektrana	4.592.650
3.	Pripremni radovi plinska elektrana	6.298.500
4.	Solarna elektrana	126.000.000
5.	Vjetroelektrana	455.625.000
6.	Plinska elektrana	629.850.000
8.	Ukupno investicija	1.223.626.150
9.	PDV	305.906.538
10.	Ukupno s PDV-om	1.529.532.688

Kako je riječ o investiciji privatnog sektora u kojoj postoji mogućnost predodbitka PDV-a, daljnja investicijska razmatranja uzet će u obzir ukupan iznos investicije bez PDV-a koji iznosi 1.223 milijarde kuna. Osim investicijskog troška predviđena su i obrtna sredstva u iznosu od 5% ukupne investicije bez PDV-a te ona iznose 61.181 milijun kuna. Skupa s obrtnim sredstvima ukupna investicija iznosi 1.284 milijarde kuna te je ista prikazana u tablici 5.

Tablica 5. Ukupna investicijska sredstva

Br.	Stavka ulaganja	Iznos (HRK)
1.	Investicijsko ulaganje	1.223.626.150
2.	Obrtna sredstva - 5% iznosa investicije	61.181.308
3.	Ukupno investicija	1.284.807.457,50

Kako bi projekt bio usporediv sa stajališta pokazatelja investicijskog troška u energetske projektima, trošak pojedine komponentne virtualne elektrane prikazan je kao trošak po kW/MW instalirane snage. Isto je prikazano u tablici 6.

Tablica 6. Investicijski trošak po jedinici instalirane snage

Br.	Stavka ulaganja	Iznos (HRK)	Instalirana snaga (MW)	Investicijski omjer HRK/MW	Investicijski omjer €/kW
1.	Solarna elektrana	127.260.000	20	6.363.000	848,40
2.	Vjetroelektrana	460.217.650	45	10.227.059	1.363,61
3.	Plinska elektrana	636.148.500	68	9.355.125	1.247,35

Prema pokazateljima za 2018. godinu prosječna cijena instalacije fotonaponskih elektrana u svijetu iznosila je oko 1000 \$/kW ili 900€/kW, dok je raspon varirao od najnižih 713 €/kW do 2184 €/kW. Ovakve razlike nastaju na temelju raznih zakonskih odredbi, veličine instaliranih kapaciteta te razvijenosti tržišta fotonaponskih elektrana u pojedinoj zemlji. Usporediv primjer za Republiku Hrvatsku je cijena instalacije u susjednoj Italiji koja je iznosila 783 €/kW¹⁵⁶. S obzirom na navedeno procijenjena cijena instalacijskih radova za projekt fotonaponske elektrane je prihvatljiva te postoji i mala mogućnost smanjenja cijene zbog daljnjeg tehnološkog napretka.

Prosječna cijena instaliranog kapaciteta vjetroelektrana u svijetu, u 2018., iznosila je 1350 €/kW¹⁵⁷. Prema navedenoj analizi postajala je velika oscilacija u cijeni i to od najnižih 1080 €/kW u Kini do maksimalnih 2000 €/kW, u Europi je

¹⁵⁶ IRENA (2019), Renewable Power Generation Costs in 2018, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, dostupno na: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf [15. rujna 2019.]

¹⁵⁷ Ibid

cijena išla i do 1800 €/kW u pojedinim zemljama. S obzirom na navedeno, procijenjena cijena instalacije vjetroelektrane od 1363 €/kW trenutno nema potencijala za daljnje smanjenje, dok s druge strane zbog zakonskih prepreka te nepredviđenih događaja postoji mogućnost blagog povišenja cijene instalacije.

Cijena instalacije plinskih elektrana jako varira s obzirom na način izvedbe instalacije te jednog ili više ciklusa proizvodnje električne ili toplinske energije, ali i same veličine instaliranog kapaciteta. Referentna prosječna cijena, u Europi, bi se kretala između 800 €/kW i 1000 €/kW¹⁵⁸. Procijenjena cijena investicije od 1247 €/kW je realna te u sebi sadrži cjenovnu instalaciju potrebnih toplovoda i priključaka na magistralni plinovod te upravljački projekt kontrole virtualne elektrane.

5.2. Operativni prihodi i troškovi

Operativni prihodi virtualne elektrane proizlaze iz proizvedene električne energije za svaku od tri komponenti, tj. prema ukupno proizvedenim MWh. Ukupna godišnja proizvodnja pojedinih komponenti definirana je u poglavlju 4.3, dok je otkupna cijena proizvedene električne energije definirana tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije¹⁵⁹. Prema navedenom sustavu te izračunu HROTE-a povlaštena cijena otkupa za 2018. godinu iznosila je 0.53 HRK/kWh ili 530 HRK/MWh te je ista postavljena kao referentna cijena otkupa električne energije za prvih 14 godina projekta, na koliko vremena se ugovori o povlaštenom otkupu potpisuju. Ukoliko navedeni model otkupa električne energije više ne bude aktivan/važeći otkup električne energije treba se osigurati ugovorom s opskrbljivačem. Nakon isteka 14 godina, proizvedene električna energija se prodaje kroz dvije komponente. Prva komponenta je 65 MW po satu električne energije, a ista će se prodavati na tržištu

¹⁵⁸ Gržeta, I, (2016) Konkurentnost obnovljivih izvora energije na otvorenom tržištu električne energije s posebnim osvrtom na zemlje JI Europe. Poslijediplomski specijalistički rad. Rijeka: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Rijeci.

¹⁵⁹ Narodne novine (2013) Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. Zagreb: Narodne novine d.d. br. 133/2013, dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_11_133_2888.html

električne energije prema tada uspostavljenim tržišnim cijenama. Prema napravljenomj analizi prosječna cijena u 2017. godini na dvije burze, HUPX-u¹⁶⁰ i BSP-u¹⁶¹, iznosila je 50 €/MWh ili 375 HRK/MWh, za razdoblje nakon 14 godina pretpostavljena tadašnja cijena iznosila bi 60€/MWh ili 450 HRK/MWh što predstavlja ukupno povećanje od 20% u 14 godina ili 1,3% postupno povećanje na godišnjoj razini. Navedena pretpostavka je napravljena na temelju očekivanog povećanja udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji, što poskupljuje proizvodnju, te činjenicom budućeg povećanja potrošnje električne energije u vidu elektrifikacije transportnih sustava te sustava grijanja i hlađenja. Druga komponenta je ostatak električne energije koju može proizvesti plinska elektrana te će se ona ponuditi na tržište pomoćnih usluga ili tržište uravnoteženja. Cijena prema kojoj će se ista prodavati proizlazi iz Zakona o tržištu električne energije te Metodologije za određivanje cijena za pružanje usluge uravnoteženja¹⁶², a ista iznosi 1.3 puta prosječna cijena. U slučaju projekcije tržišne cijene od 450 HRK/MWh tada bi referentna cijena za uslugu uravnoteženja iznosila 585 HRK/MWh. Također, kao pretpostavku opreznosti definirano je da se cijela električna energija neće moći prodati na tržištu nego samo 70% iste, te je ukupna proizvodnja samim time umanjena za 30%.

U pogledu toplinske energije proizvedene u plinskoj elektrani, istu se planira ponuditi na tržište po minimalnoj cijeni 170 HRK/MWh toplinske energije, kako bi ista bila konkurentna. Cijena od 170 HRK/MWh je najniža prodajna cijena toplinske energije iz koogeneracije, za grad Zagreb, koju na tržištu nudi HEP toplinarstvo¹⁶³, ukoliko se toplinska energija bude prodavala industrijskim kupcima tada se može postići dvostruka cijena od navedene.

¹⁶⁰ Mađarska burza električne energije, dostupno na: <https://hupx.hu/en/> [16. listopada 2019.]

¹⁶¹ Slovenska burza električne energije, dostupno na: <https://www.bsp-southpool.com/home.html> [17. listopada 2019.]

¹⁶² Narodne novine (2015) Metodologija za određivanje cijena za pružanje usluge uravnoteženja. Zagreb: Narodne novine d.d. br. 88/2015, dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_08_85_1667.html

¹⁶³ Cijene toplinske energije HEP toplinarstvo, dostupno na: <http://www.hep.hr/toplinarstvo/krajnji-kupci/cijene-30/30> [13. studenog 2019.]

Projekcija prihoda je napravljena na 20 godina te su isti po stavkama prikazani u tablici 7.

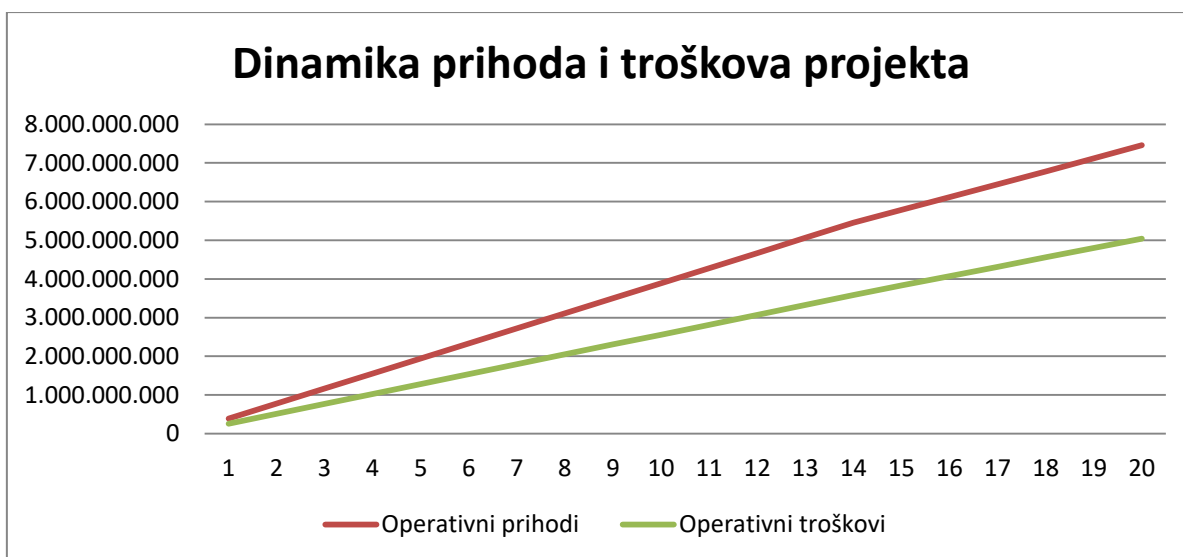
Ukupni godišnji prihodi virtualne elektrane variraju od 329 do 390 milijuna kuna godišnje.

Operativni troškovi kao i operativni prihodi elektrane podijeljeni su prema mjestu nastanka, tj. prema elektrani koja ih je generirala, a projicirani su na 20 godina i prikazani u tablici 9. Također, radi jednostavnosti prikaza sve tri elektrane imaju jednako strukturirane troškove, a oni su izraženi po MWh proizvedene električne energije. Troškovi O&M (engl. *Operation and Maintenance*) te troškovi osiguranja i pravnih poslova definirani su na temelju analize većeg broja referentnih izvora te su prosječnim ukupnim troškom nivelirani na definirani model troškova. Administrativni troškovi odnose se na upravljanje virtualnom elektranom te su raspodjeljeni prema zastupljenosti pojedine elektrane u ukupnoj snazi, dok su koncesijski troškovi obveza prema općini u kojoj se elektrana nalazi.

Fotonaponska elektrana te vjetroelektrana imaju četiri segmenta operativnih troškova. Za fotonaponsku elektranu to su administrativni troškovi fiksnog iznosa od 75 tisuća kuna godišnje, fiksni iznos O&M od 1,5 milijuna kuna godišnje, fiksni iznos troškova osiguranja i pravnih poslova od 600 tisuća kuna godišnje te naknada za korištenje zemljišta i koncesijske naknade od 10 HRK/MWh proizvedene energije. Troškovi Vjetroelektrane su administrativni troškovi fiksnog iznosa od 187,5 tisuća kuna godišnje, O&M od 75 HRK/MWh proizvedene energije, troškovi osiguranja i pravnih poslova od 67 HRK/MWh te naknada za korištenje zemljišta i koncesijske naknade od 10 HRK/MWh proizvedene energije.

Plinska elektrana ima šest definiranih troškova, četiri su ista kao i kod ostalih elektrana, a to su administrativni troškovi fiksnog iznosa 255 tisuća kuna godišnje, O&M iznosa 82,5 HRK/MWh proizvedene električne energije, troškovi osiguranja i pravnih poslova od 30 HRK/MWh te naknada za korištenje zemljišta i koncesijske naknade od 10 HRK/MWh proizvedene energije. Dva zasebna troška plinske elektrane su troškovi goriva tj. prirodnog plina koji je projektiran na 150 HRK/MWh te troškovi za emisiju CO₂ plina od 150 HRK po toni proizvedenog CO₂. Troškovi emisije CO₂ detektirani su na temelju povijesnih podataka¹⁶⁴ koji su se kretali od 23 do 225 HRK/tCO₂ te očekivanih političkih odluka. Trošak plina procijenjen je na temelju povijesnih podataka iz centralno-europskog plinskog čvora CEGH (engl. Central European Gas Hub) sa sjedištem u Beču, Austrija¹⁶⁵. U promatranom razdoblju od 5 godina dnevna cijena je varirala od 60 do 420 HRK/MWh s trendom smanjenja prosječne cijene plina.

Neto financijski kumulativni tokovi projekta iznose 2.481 milijardi kuna kroz 20 godina efektuiranja projekta te su prikazan na grafu 12.



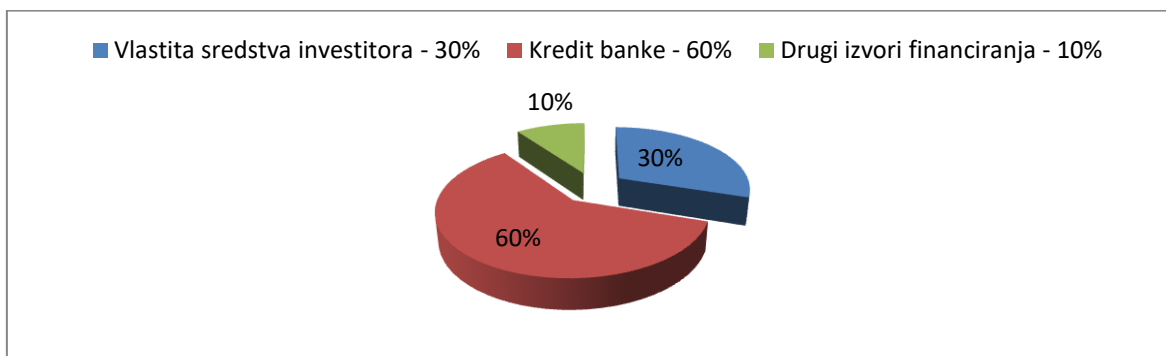
Graf 12. Dinamika prihoda i troškova projekta

¹⁶⁴ Cijena emisije CO₂ plina, dostupno na: <https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/> [17. listopada 2019.]

¹⁶⁵ Cijena plina na CEGH, dostupno na: <https://www.cegh.at/en/exchange-market/market-data/> [15. prosinca 2019.]

5.3. Izvori kapitala i prosječni trošak kapitala

Nakon definiranja ukupnog iznosa investicije te operativnih troškova i prihoda potrebno je zatvoriti financijsku konstrukciju tj. definirati izvore financiranja projekta. Investicija u virtualnu elektranu će se financirati iz 3 izvora, kao što je prikazano na grafu 13.



Graf 13. Izvori financiranja projekta

Vlastita sredstva investitora iznositi će 30% ukupnog iznosa, kredit komercijalne banke 60%, dok će preostalih 10% biti namireno iz drugih izvora financiranja. S obzirom na energetske aspekt projekta i veličinu investicije preostalih 10% planira se financirati putem povoljnijeg kapitala i to od strane HBOR-a, jamstava Hrvatska agencija za malo gospodarstvo, inovacije i investicije ili putem Europske banka za obnovu i razvoj. U tablici 9. prikazani su očekivani troškovi kapitala, iznosi te ponderirani prosječni trošak kapitala ukupnog projekta koji je izračunat prema formuli za ponderirani prosječni trošak kapitala. S tim da je trošak kapitala vlasnika definiran prema formuli da on iznosi 1,5 troška normalnog kreditnog zaduženja, dok su troškovi kapitala kreditnih zaduženja temeljeni na tržišnim uvjetima za velike i srednje rizične projekte. Prema izračunu prosječni trošak kapitala projekta iznosi **4,4%**, bez poreza na dobit tj. sa stopom poreza 0%.

Tablica 9. Ponderirani trošak kapitala

Izvori financiranja projekta	Iznos HRK	Trošak kapitala
Vlastita sredstva investitora - 30%	385.442.237	6%
Kredit banke - 60%	770.884.475	4%
Drugi izvori financiranja - 10%	128.480.746	2%
Ukupno ulaganje	1.284.807.458	4,40%

Također, planira se ročnost kredita od oba izvora na razdoblje 20 godina, što implicira ukupan povrat sredstava, glavnica i kamate, 1.284 milijardi kuna tj. godišnji financijski trošak projekta 63.85 milijun kuna.

Kako je kasnije definirano u poglavlju 5.4, vrijednost poreza na dobit u prvih 10 godina iznosi 0%, dok će u drugih 10 godina iznositi 18%. Na temelju toga doći će do korekcije diskontne stope u 11. godini efektuiranja projekta te će ista biti reducirana zbog utjecaja poreza na dobit te će iznositi **3,93%**.

S obzirom na navedeno prosječna stopa za svih 20 godina iznosi **4,16%** te će se ista koristiti za izračun MIRR-a kao stopa investicije i reinvesticije.

5.4. Osnovni scenarij analize isplativosti

Nakon definiranja operativnih troškova i prihoda, definiraju se godišnji novčani tokovi projekta. Kako bi se definirali novčani tokovi projekta potrebno je definirati iznose amortizacija te stope poreza na dobit. Vijek trajanja fotonaponske elektrane i vjetroelektrane predviđen je na 20 godina, dok je vijek trajanja plinske elektrane projektiran na 30 godina. Predviđena je linearna amortizacijska stopa te ona iznosi 5% tj. 3.33%. Nakon proteka 20 godina, knjigovodstvena rezidualna vrijednost plinske elektrane je jedina veća od nule te iznosi 212 milijuna kuna, dok je godišnji iznos amortizacije u razdoblju efektuiranja projekta 50.57 milijuna kuna.

Tablica 10. Stope amortizacije

Ulaganje u dugotrajnu materijalnu imovinu	Iznos (HRK)	Vijek trajanja	Stopa amortizacije	Ostatak vrijednosti
Solarna elektrana	127.260.000	20	5,00%	0
Vjetroelektrana	460.217.650	20	5,00%	0
Plinska elektrana	636.148.500	30	3,33%	212.049.500
UKUPNO	1.223.626.150	-	-	212.049.500

Predviđena stopa poreza na dobit iznosi 0% za prvih 10 godina projekta te 18% za drugih 10 godina, ista proizlazi iz Zakona o poticanju ulaganja¹⁶⁶ koji predviđa smanjenje stope poreza na dobit za velike investicijske projekte koji ostvaruju dodanu vrijednost.

¹⁶⁶ Narodne novine (2018) Zakon o poticanju ulaganja. Zagreb: Narodne novine d.d. br. 114/18, dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/829/Zakon-o-poticanju-ulaganja>

Novčani tok projekta za svih 20 godina je pozitivan tj. veći od nule te je prikazan u tablici 11. S tim da je investicija prikazana u 1. godini projekta, dok će se ona izvoditi kroz četiri godine prije početka rada te će sve komponente virtualne elektrane započeti s radom u 1. godini projekta. Tablica za svih 20 godina je prikazana u prilogu rada.

Tablica 11. Novčani tok projekta za 1., 2., 8., 15. i 20. godinu

Opis stavke	1	2	8	15	20
Solarna elektrana	15.803.223	15.803.223	15.803.223	13.217.767	13.349.475
Vjetroelektrana	59.650.707	59.650.707	59.650.707	50.142.381	50.896.505
Plinska elektrana	226.328.070	226.328.070	226.328.070	192.869.852	198.454.148
Plinska elektrana - tržište uravnoteženja	57.811.290	57.811.290	57.811.290	44.026.298	44.488.196
Operativni prihodi - plin - toplinska energija	28.780.749	28.780.749	30.219.787	29.537.765	30.451.935
Vlastita sredstva investitora - 30%	385.442.237	0	0	0	0
Kredit banke - 60%	770.884.475	0	0	0	0
Drugi izvori financiranja - 10%	128.480.746	0	0	0	0
Ostatak vrijednosti investicije	0	0	0	0	212.049.500
UKUPNI PRILJEVI	1.673.181.497	388.374.040	389.813.077	329.794.063	549.689.759
Investicijsko ulaganje	1.284.807.458	0	0	0	0
Operativni troškovi - solar 20 MW	2.473.174	2.473.174	2.473.174	2.468.728	2.464.349
Operativni troškovi - vjetroelektrana 45 MW	17.294.873	17.294.873	17.294.873	17.124.482	16.955.788
Operativni troškovi - plin 68 MW	236.422.333	236.422.333	236.422.333	223.289.101	223.478.171
Finacijski troškovi	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452
UKUPNI ODLJEVI	1.604.854.289	320.046.832	320.046.832	306.738.763	306.754.760
NETO	68.327.208	68.327.208	69.766.245	23.055.301	242.934.999
AMORTIZACIJA	50.578.833	50.578.833	50.578.833	50.578.833	50.578.833
POREZ NA DOBIT 5%	0	0	0	-4.954.236	34.624.110
NETO VRIJEDNOST	68.327.208	68.327.208	69.766.245	28.009.536	208.310.889

5.4.1. Čista sadašnja vrijednost i drugi pokazatelji

Na temelju novčanih tokova projekta definiraju se slobodni novčani tokovi koji za razliku od novčanih tokova ne sadrže financijske troškove. Također, pretpostavka vremena realizacije ukupnog projekta iznosi 4 godine. Stoga je potrebno, pod pretpostavkom da je nulta godina projekta prva godina efektuiranja, ukamatiti troškove investicije nastale prije nulte godine projekta, što je prikazano u tablici 12. Ukamaćivanje je provedeno po prosječnoj stopi za svih 20 godina koja iznosi 4,16%. S obzirom na navedeno trošak investicije raste na 1.356 milijardi kuna.

Tablica 12. Ukamaćivanje investicije

Opis stavke	-1	-2	-3	-4
INVESTICIJSKO ULAGANJE	305.906.538	305.906.538	305.906.538	305.906.538
KUMULATIVNI VP	305.906.538	611.813.075	917.719.613	1.223.626.150
FAKTOR UKUMAČIVANJA	1,04	1,09	1,13	1,18
UKAMAĆENI KUM. VP	318.650.604	650.576.192	996.329.800	1.356.487.503

Također, obrtna sredstva su dodana na stavku investicijsko ulaganje u prvoj godini projekta. Navedeni čisti novčani tokovi za prvu, desetu, jedanaestu, petnaestu i dvadesetu godinu projekta prikazani su u tablici 12. Tablica za svih 20 godina je prikazana u prilogu rada.

Tablica 13. Čisti novčani tokovi

Opis stavke	1	10	11	15	20
Solarna elektrana	15.803.223	15.803.223	15.755.813	13.217.767	13.349.475
Vjetroelektrana	59.650.707	59.650.707	59.531.406	50.142.381	50.896.505
Plinska elektrana	226.328.070	226.328.070	226.494.781	192.869.852	198.454.148
Plinska elektrana - tržište uravnoteženja	57.811.290	57.811.290	57.644.579	44.026.298	44.488.196
Operativni prihodi - plin - toplinska energija	28.780.749	30.219.787	31.428.578	29.537.765	30.451.935
Ostatak vrijednosti investicije	0	0	0		212.049.500
UKUPNI PRILJEVI	388.374.040	389.813.077	390.855.157	329.794.063	549.689.759
Investicijsko ulaganje	1.417.668.811	0	0	0	0
Operativni troškovi - solar 20 MW	2.473.174	2.473.174	2.472.279	2.468.728	2.464.349
Operativni troškovi - vjetroelektrana 45 MW	17.294.873	17.294.873	17.260.658	17.124.482	16.955.788
Operativni troškovi - plin 68 MW	236.422.333	236.422.333	236.422.333	223.289.101	223.478.171
Amortizacija	50.578.833	50.578.833	50.578.833	50.578.833	50.578.833
Bruto dobit	81.604.827	83.043.864	84.121.054	36.332.920	256.212.618
Porez na dobit	0	0	15.141.790	6.539.926	46.118.271
NETO bez amortizacije	81.604.827	83.043.864	68.979.264	29.792.994	210.094.347
NETO	132.183.659	133.622.697	119.558.097	80.371.827	260.673.180
KUMULATIVNI VP	1.285.485.151	-88.637.029	30.921.068	469.322.240	1.065.723.625
DISKONTNI FAKTOR	1,00	0,68	0,65	0,56	0,46
DISKONTIRANI KUM. VP	1.285.485.151	-314.994.290	236.916.912	24.633.222	315.622.738

Na temelju slobodnih novčanih tokova izračunati su financijski pokazatelji projekta, a koji su prikazani u tablici 13. Na temelju pokazatelja NPV-a koji iznosi 217,7 milijuna kuna te IRR-a koji iznosi 7,15% možemo zaključiti da je projekt prihvatljiv za investiciju. MIRR projekta iznosi 5,43%, a vrijeme povrata iznosi 10 godina i 7 mjeseci, dok je diskontirano vrijeme povrata 14 godina i 6 mjeseci. Ukoliko NPV-u pridodamo rezidualnu vrijednost tada je rezultat još bolji te iznosi 315,6 milijuna kuna.

Tablica 14. Kriteriji financijskog odlučivanja

Pokazatelj	Vrijednost
Diskontni faktor	4,16%
NPV	217.754.917,22 HRK
IRR	7,15%
MIRR	5,43%
TP	10 godina i 7 mjeseci
dTP	14 godina i 6 mjeseci
NV	1.065.723.625 HRK
NPV + ostatak vrijednosti	315.622.738 HRK

5.4.2. Financijski povrat i prinos kapitala investitora

Iz aspekta investitora tj. alociranih sredstava investitora analiziran je povrat i prinos kapitala. Isti je definiran kao prinos na uložena sredstva investitora te su slobodnom novčanom toku oduzeti i financijski troškovi, a sredstva investitora su ukamaćena unazad 4 godine. IRR na kapital u ovom slučaju iznosi 17.89%, a diskontirano vrijeme povrata 6 godina i 2 mjeseca. Tablica za svih 20 godina prikazana je u prilogu rada.

5.5. Analiza osjetljivosti

Nakon provedene analize financijskih kriterija potrebno je provesti analizu osjetljivosti NPV-a te IRR-a u odnosu na moguće promjene rizičnih ulaznih varijabli. Što je veće promjena financijskih kriterija u odnosu na ulazne varijable to je varijabla rizičnija i potrebno je iste dodatno analizirati.

Tablica 15. Analiza osjetljivosti rizičnih varijabli

Rizični faktor	NPV	postotna promjena
Ukupno investicija + 5%	244.407.144,15 kn	-22,56%
Toplinska energija - 5%	296.436.491,64 kn	-6,08%
PC nakon 14 godina -5%	277.587.092,42 kn	-12,05%
Vjetar O&M +5%	310.226.969,30 kn	-1,71%
Vjetar ostalo +5%	310.802.517,97 kn	-1,53%
Plin O&M +5%	287.578.283,57 kn	-8,89%
Plin - prirodni plin +5%	226.479.526,06 kn	-28,24%
Plin - emisije +5%	297.794.095,66 kn	-5,65%
Stopa diskontiranja +5%	280.954.127,34 kn	-10,98%

U tablici 15. prikazane su rizične varijable te njihov utjecaj na NPV projekta, najrizičnije su upravo one varijable koje imaju nadprosječan utjecaj na rezultat tj. ukoliko se varijabla promjeni za 5%, a NPV se promjeni za više od 5%. Prema tom

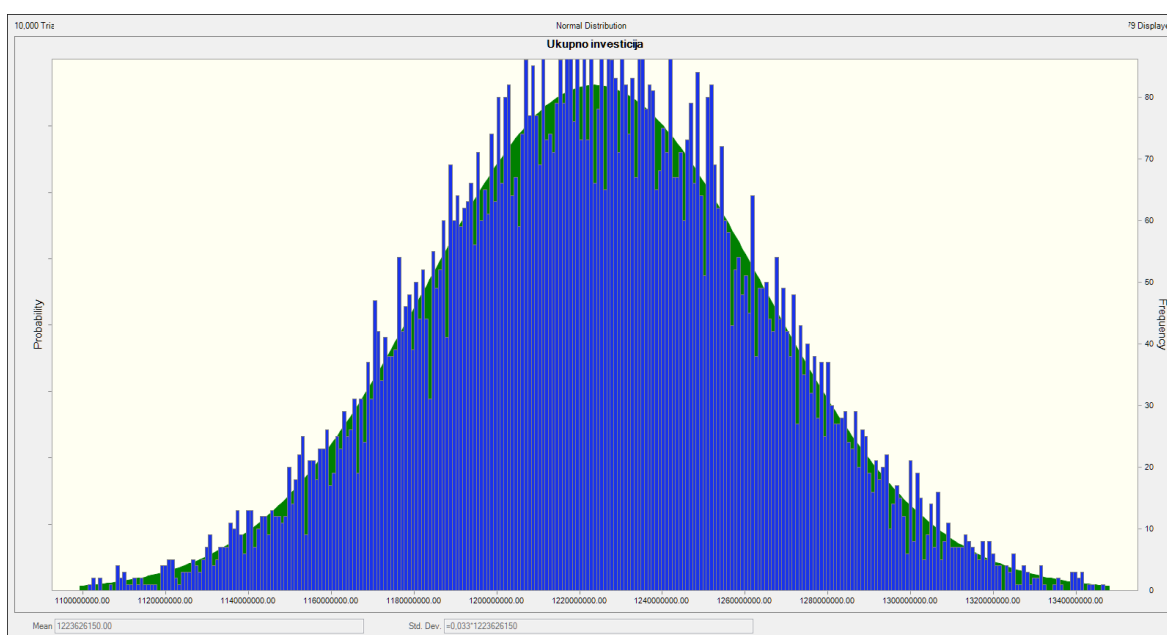
kriteriju najrizičnije varijable su cijena plina, iznos ukupne investicije, tržišna cijena struje nakon 14 godina te stopa diskontiranja. Srednje rizične varijable su one koje imaju prosječan utjecaj na rezultat, a u ovom slučaju to bi bile O&M troškovi plinske elektrane, cijena ili prodana količina toplinske energije te troškovi emisije CO₂ plina. U nisko rizične varijable ulaze O&M troškovi vjetroelektrane te ostali troškovi vjetroelektrane jer imaju ispodprosječan utjecaj na rezultat tj. NPV. Troškovi fotonaponske elektrane jako su niski u odnosu na troškove vjetroelektrane te plinske elektrane te njihova promjena minimalno utječe na rezultat projekta.

5.6. Monte Carlo simulacija analize isplativosti

Na temelju baznog scenarija, obrađenog u prethodnim poglavljima, te analize osjetljivosti rizičnih varijabli projekta definiraju se parametri Monte Carlo simulacije. Prvo se definiraju ulazne varijable simulacije, a to su one koje su detektirane kao rizične u analizi osjetljivosti. Nakon analize i definiranja razdiobi ulaznih varijabli pokreće se simulacija te se promatraju definirane izlazne varijable, u ovom slučaju to su NPV i IRR.

5.6.1. Definiranje razdioba ulaznih varijabli

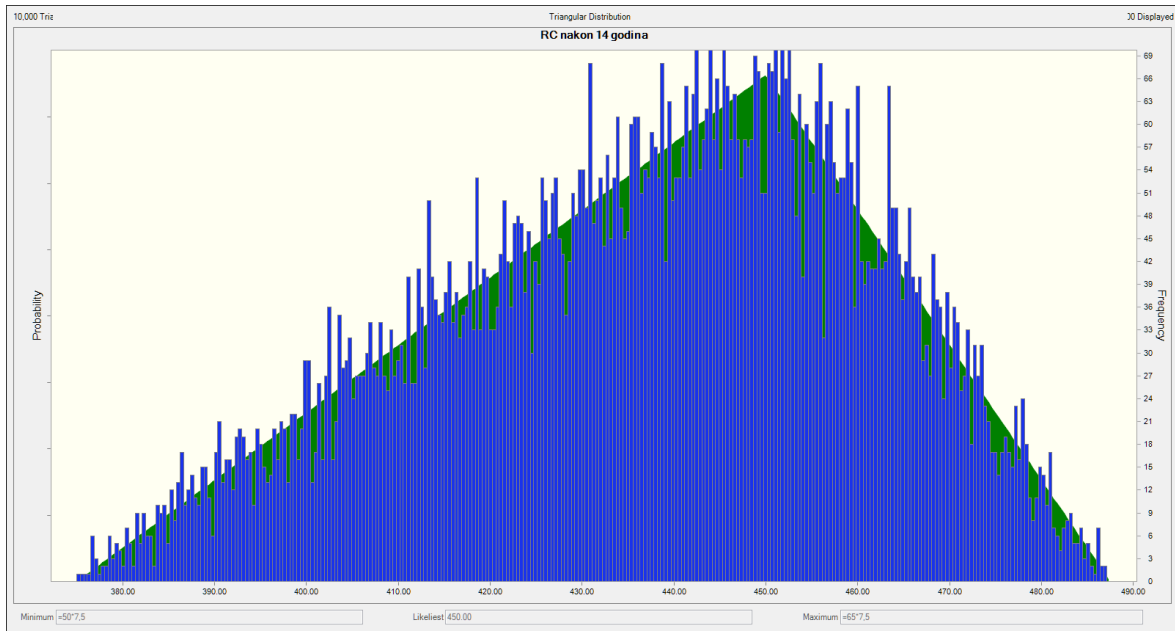
Prva varijabla koju definiramo je ukupna investicija, s obzirom da je ona bazična ulazna varijabla. Istu definiramo na temelju analize u poglavlju 5.1 u kojem su analizirani investicijski troškovi te uspoređeni prema investicijskim komponentama sa sličnim projektima u svijetu, ali i u susjednim državama. Prema navedenom najgori slučaj promjene bi bio povećanje investicije od 10%, ali isto tako moguće su i uštede ukoliko dođe do napretka u tehnologiji proizvodnje pojedinih komponenata. Kako o veličini investicije nemamo povijesne podatke ili neke druge mjerljive pokazatelje, definirana je ulazna varijabla normalne distribucije. Kako se u normalnoj distribuciji, 68% rezultata nalazi u intervalu $\pm\sigma^2$ (standardna devijacija), 95% rezultata u intervalu $\pm 2\sigma^2$, a 99.7% rezultata intervalu $\pm 3\sigma^2$, definirana je standardna devijacija iznosa 3.33% ukupne investicije. Na taj način je definirano da će 99.7% simulacija iznosa ukupne investicije biti u okviru $\pm 10\%$ ukupne investicije.



Graf 14. Distribucija ulazne varijable ukupne investicije

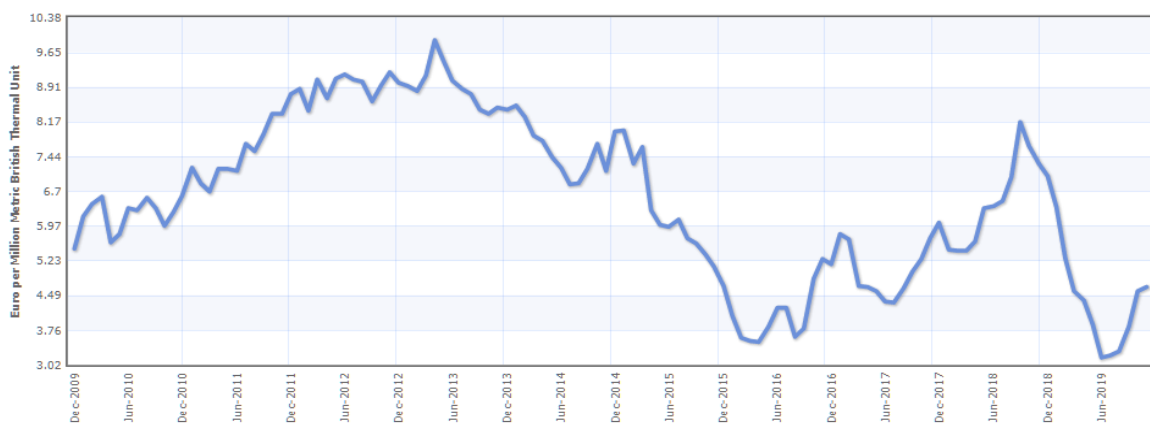
Druga ulazna varijabla koju definiramo je cijena električne energije na burzi nakon 14 godina, tj. nakon proteka vremena subvencioniranog otkupa električne energije. U poglavlju 5.3 je definirana cijena nakon 14 godina i metodologija projekcije cijene u odnosu na današnju cijenu električne energije na burzi. Pretpostavljena prosječna cijena električne energije iznosila bi 60€/MWh ili 450 HRK/MWh, pretpostavka navedene cijene može se opravdati i u LCOE (engl. *Levelized Cost Of Energy*) ili prosječnom trošku proizvodnje energije koji se za vjetroelektrane predviđa u rasponu od 50 €/MWh do 70 €/MWh¹⁶⁷. Pretpostavka ovog izračuna je da će i dalje najviše instalirane nove snage biti upravo kroz vjetroelektrane. Stoga ćemo za najgori slučaj pretpostaviti vrijednosti od 50 €/MWh ili 375 HRK/MWh, a za najbolji slučaj cijenu od 65 €/MWh ili 487,5 HRK/MWh. S obzirom na navedeno za simulaciju ulazne varijable koristit ćemo trokutastu razdiobu $T(375,450,487,5)$.

¹⁶⁷ Bruck, M., Sandborn, P. i Goudarzi, N. (2018) A Levelized Cost of Energy (LCOE) model for wind farms that include Power Purchase Agreements (PPAs). *Renewable Energy* 122, str. 131-139.



Graf 15. Distribucija ulazne varijable RC električne energije nakon 14 godina

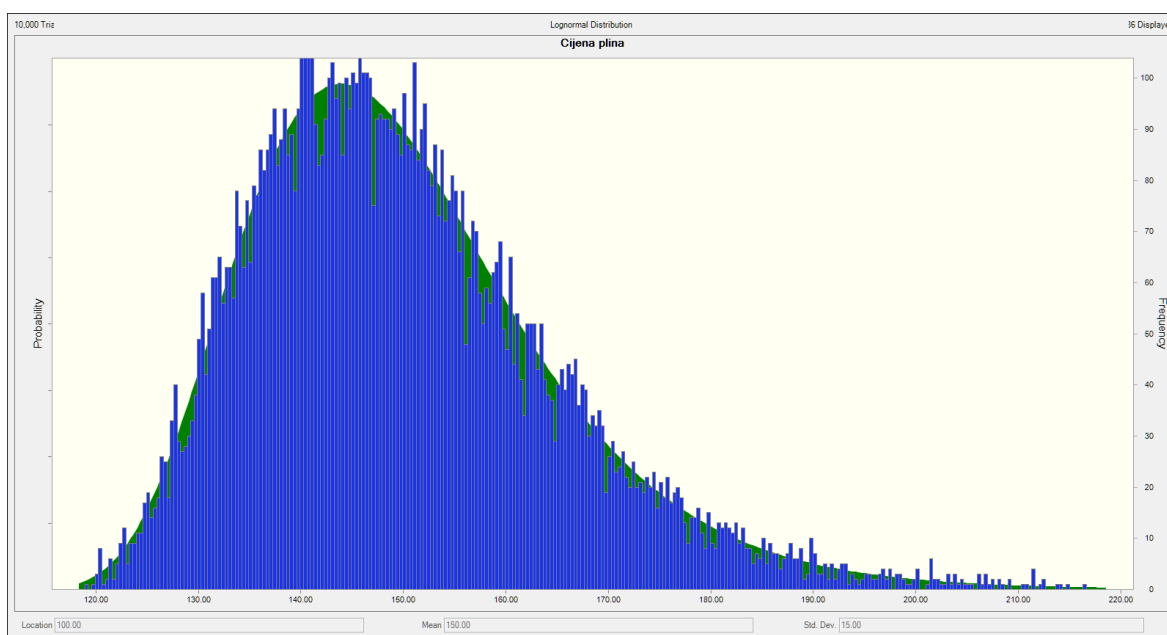
Treća ulazna varijabla je ulazna cijena prirodnog plina s kojom će se opskrbljivati plinska elektrana. Osnovna cijena 150 HRK/MWh (20 €/MWh) definirana je u poglavlju 5.3., a analiza je napravljena na temelju prosječnih cijena plina u proteklih 5 godina u plinskom čvorištu CEGH te pretpostavke kretanja cijene plina u budućnosti. Iako je trenutna cijena plina manja od pretpostavljene te su projekcije cijene za sljedećih nekoliko godina manje od pretpostavljene, kreću se od 17 do 19 €/MWh, cijena je zaokružena na 20 €/MWh kao mjera opreznosti/rizika.



Slika 22. Kretanje prosječnih cijena plina u Europi kroz proteklih 10 godina¹⁶⁸

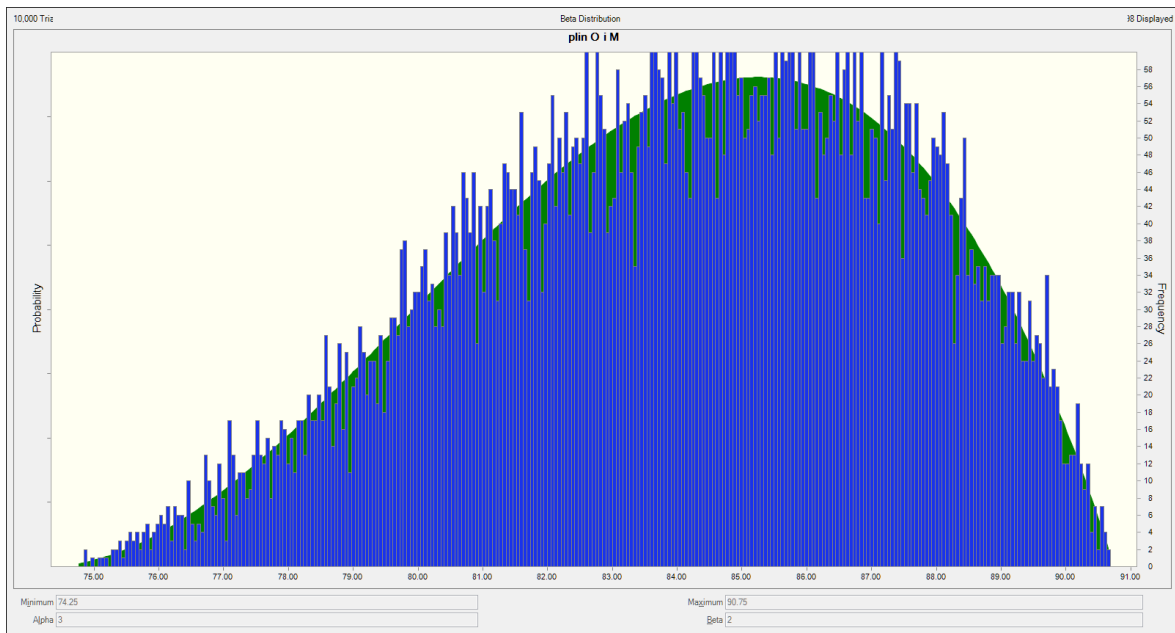
¹⁶⁸ Prosječna cijena plina u kontinentalnoj Europi, dostupno na: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=russian-natural-gas&months=120¤cy=eur> [15. prosinca 2019.]

U pregledu simulacije cijene plina uzeta je obzir šira slika formiranja cijene plina na svim europskim tržištima te njihovi prosjeci koji su prikazani na slici 22. Vidljivo je postojanje ekstrema u cijeni plina koji idu do najviše cijene 33 €/MWh, također ovisno o sezoni cijena plina se smanjuje i do minimalnih 12 €/MWh. Zbog navedene analizi raspona cijene za simulaciju varijable cijene plina izabrana je log-normalna razdioba srednje vrijednosti 150 HRK/MWh, standardne devijacije 15 HRK/MWh. Za pomak u desno definirana je gornja granica cijene plina 220 HRK/MWh tj. 30 €/MWh. Ukupan raspon predviđenih cijena je u intervalu od 120 HRK/MWh do 220 HRK/MWh, a isto je vidljivo na grafu 16.



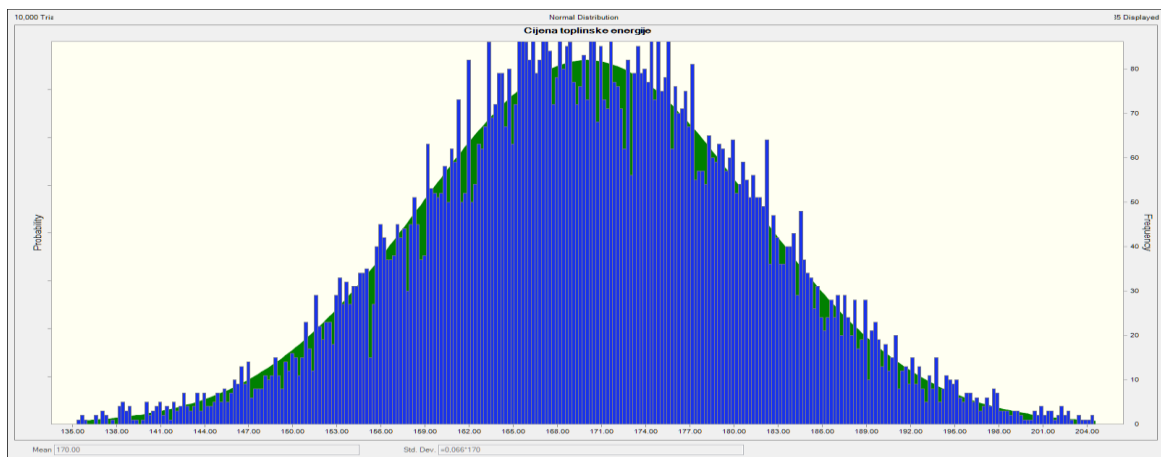
Graf 16. Distribucija ulazne varijable cijene plina

Četvrta ulazna varijabla je Plin O&M (troškovi rada i upravljanja), varijabla je prema utjecaju na ishod projekta četvrta po snazi te ima nadprosječan utjecaj na NPV projekta. Za distribuciju ulazne varijable izabrana je beta distribucija minimalne vrijednosti 74,25 HRK/MWh, maksimalne vrijednosti 90,75 HRK/MWh, dok je alfa koeficijent iznosa 3, a beta iznosa 2. Ovako definirana ulazna varijabla u području $\pm 10\%$ osnovne definirane vrijednosti, 82,5 HRK/MWh pretpostavlja veću vjerojatnost povećanja cijene tj. ukupnog troška komponente Plin O&M, dok s druge strane uzima u mogućnost sinergijski učinak više elektrana te mogućnost smanjenja troška kroz integrirano upravljanje, s obzirom da će za isto biti potrebno iskustvo i vrijeme ovakvom razvoju događaja dana je manja vjerojatnost.



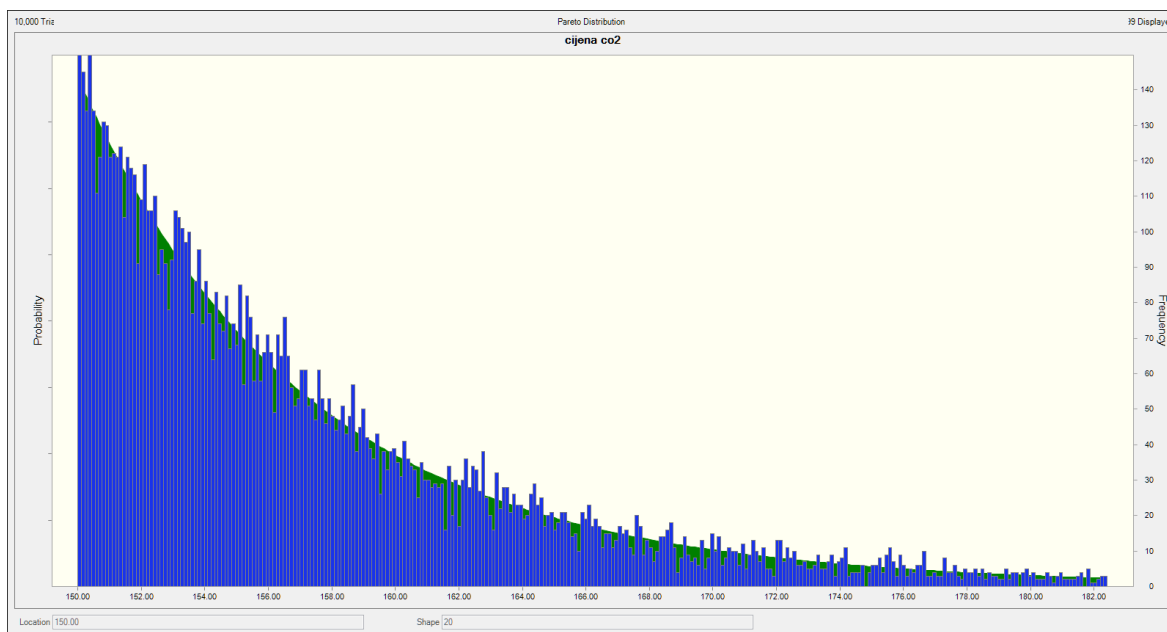
Graf 17. Distribucija ulazne varijable Plin O&M

Peta ulazna varijabla je količina prodane toplinske energije tj. prihoda proisteklog iz prodaje, kako za istu nemamo povijesne podatke ili potencijalne slične usporedne projekte ista se definira normalnom razdiobom. Normalna razdioba definira je putem srednje vrijednosti prodajne cijene toplinske energije od 170 HRK/MWh, dok je standardna devijacija iznosa 6.66% cijene. Na taj način je definirano da će 99.7% simulacija iznosa prodane toplinske energije biti u okviru $\pm 20\%$ vrijednosti iz osnovnog scenarija. Šira distribucija u odnosu na distribuciju investicije definirana je iz razlog mogućih problema prodaje toplinske energije tj. smanjenja količine prodaje, dok mogućnost povećanja prihoda je na strani cijene toplinske energije koja je u baznom slučaju definirana kao minimalna cijena na tržištu.



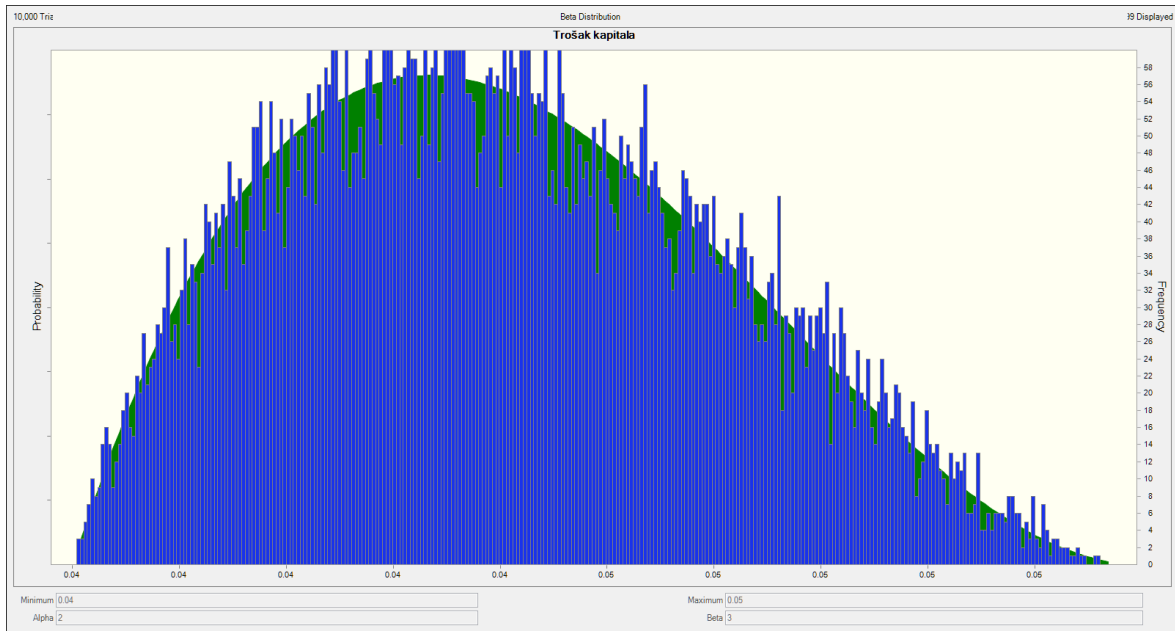
Graf 18. Distribucija ulazne varijable prihoda iz prodaje toplinske energije

Šesta simulirana ulazna varijabla je cijena emisije CO₂ plina, ona je pretpostavljena kao čisto politička odluka te se ne očekuje moguće smanjenje cijene emisije, dok je uslijed političkog pritiska moguće daljnje povećanje cijene. Stoga je za simulaciju ulazne varijable odabrana pareto distribucija početne vrijednosti baznog scenarija tj. 150 HRK/TCO₂, dok je alfa koeficijent jednak 20. Stoga je distribucija pozitivno usmjerena do +20% vrijednosti baznog scenarija s opadajućom vjerojatnosti događaja.



Graf 19. Distribucija ulazne varijable cijena emisije CO₂ plina

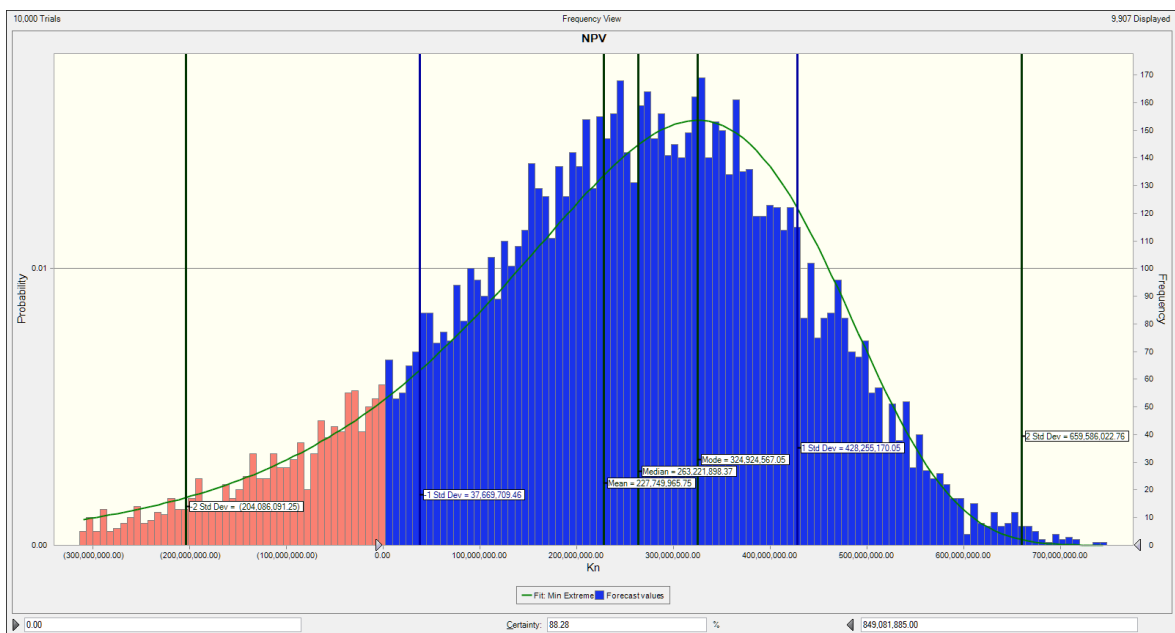
Sedma ulazna varijabla je stopa diskontiranja tj. trošak kapitala investicijskog projekta. Projekt se diskontira po dvije stope, za prvih 10 godina to je stopa od 4.4%, a za drugih 10 godina stopa iznosi 3.93%. Kako bismo simulirali ulaznu varijablu za svih 20 godina postavljeni su u odnos stopa za prvih 10 godina i stopa za drugih 10 godina te je simulirana samo stopa za prvih 10 godina tj. stopa bez utjecaja poreznih olakšica. Za simulaciju izabrana je beta distribucija minimalne vrijednosti 4%, maksimalne vrijednosti 5%, dok je alfa koeficijent iznosa 2, a beta iznosa 3. S obzirom na vrijednost osnovnog scenarija od 4.4%, definirana raspodjela predviđa veću vjerojatnost troška kapitala manjeg od osnovnog scenarija tj. u području od 4% do 4.4% nego povećanje troška kapitala prema stopi od 5%. Navedeno je pretpostavljeno s obzirom na povijesno niske kamate te postojanja velike količine novca koja se može angažirati na velikim i financijski prihvatljivim projektima, što ovaj projekt prema provedenoj analizi je.



Graf 20. Distribucija ulazne varijable trošak kapitala

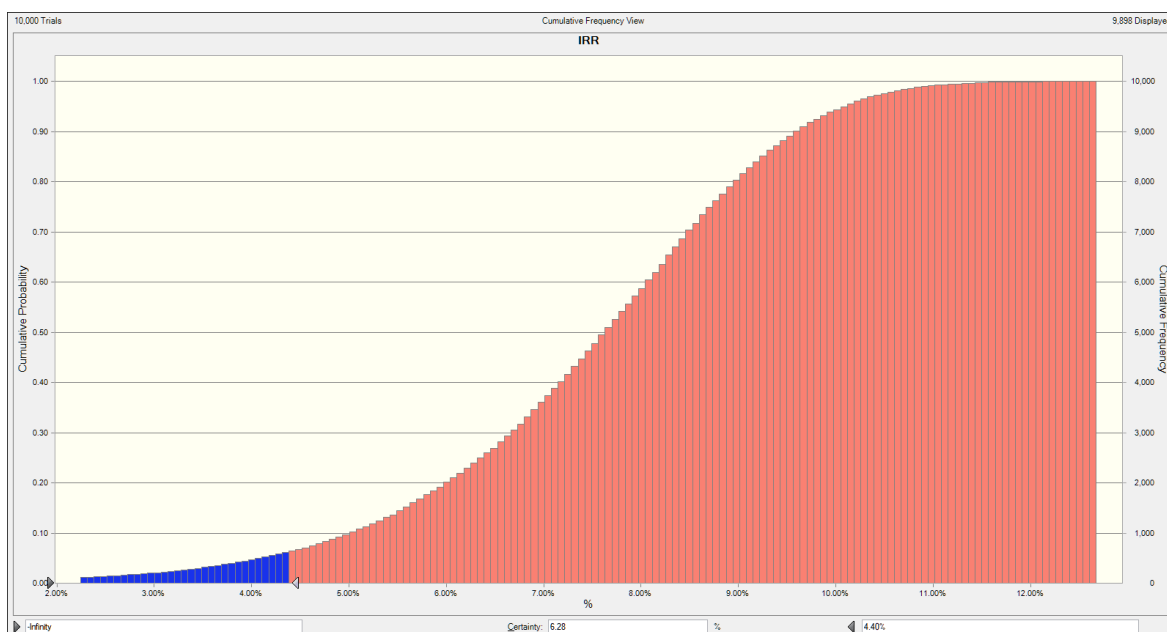
5.6.2. Rezultati simulacije

Nakon definiranja ulaznih varijabli, definirane su izlazne varijable tj. varijable koje promatramo nakon završetka simulacije. Promatrane izlazne varijable su NPV, IRR te NPV s uključenom diskontiranom rezidualnom vrijednošću projekta. Rezultati simulacije se dobivaju na bazi od 10.000 pojedinačnih simulacija te se od pojedinačnih simulacija definiraju grafovi distribucija izlaznih varijabli.



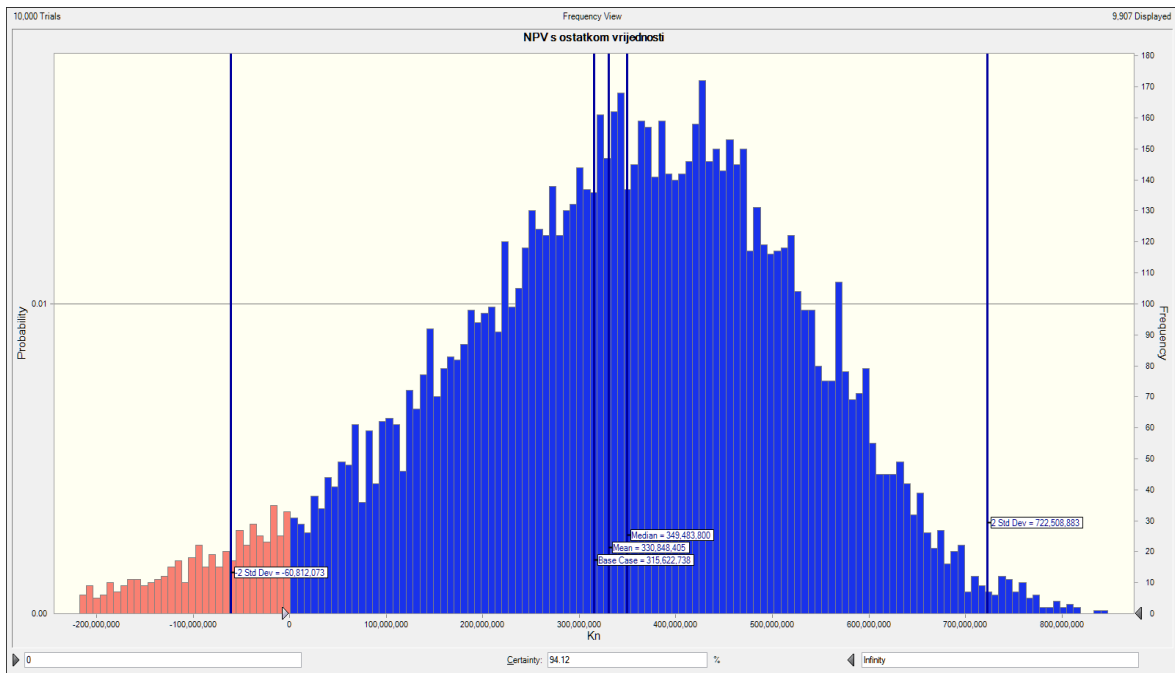
Graf 21. Simulirana distribucija NPV-a virtualne elektrane

Prema dobivenom grafu 21. koji prikazuje distribuciju NPV-a vidljivo je da rizici imaju veliki utjecaj na projekt, tj. da se kombinacijom većeg broja rizika može dogoditi da NPV projekta ima negativan rezultat i samim time da projekt bude neprihvatljiv. Pojedini slučajevi iskazuju negativnu vrijednost NPV-a i preko 300 milijuna kuna. Ipak, takvi slučajevi su u manjini te je za 88,28% slučajeva NPV-e pozitivan tj. projekt je prihvatljiv. Isto tako pogledamo li rezultate simulacije IRR-a na grafu 22., možemo iščitati kako će IRR biti manji od 4.4% u samo 6.28% slučajeva te manji od 4.16% u samo 5.18%. IRR pokazuje bolje vrijednosti od NPV-a jer su u prihode uključena rezidualna vrijednost. Srednja vrijednost dobivene izlazne varijable NPV-a iznosi 227 milijuna kuna, što je povećanje u odnosu na bazni scenarij za 4.6%. Granična vrijednost tj. medijan iznosi 263 milijuna kuna, što znači da će u 50% slučajeva NPV-e biti manji tj. veći.



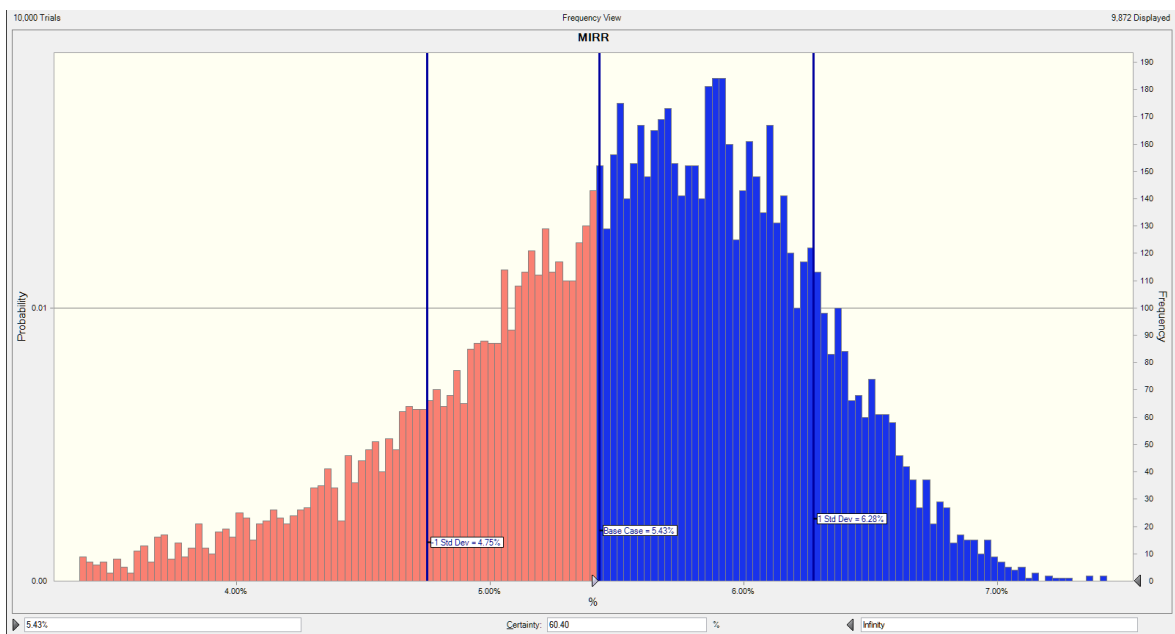
Graf 22. Simulirana kumulativna distribucija IRR-a virtualne elektrane

Ukoliko promotrimo parametar NPV-a s dodanom rezidualnom vrijednošću projekta tada je rezultat simulacije još bolji, tj. NPV-e će imati pozitivnu vrijednost za 94,12% slučajeva. U pogledu boljih rezultata od predviđenog baznog scenarija moguće je ostvariti NPV-e i preko vrijednosti od 840 milijuna kuna, no takvi scenariji su mogući za samo 1% slučajeva. 95% rezultata simulacije u intervalu $\pm 2\sigma^2$ se nalazi u intervalu NPV-a od -60 do 722 milijuna HRK.



Graf 23. Simulirana distribucija NPV-a s rezidualnom vrijednošću virtualne elektrane

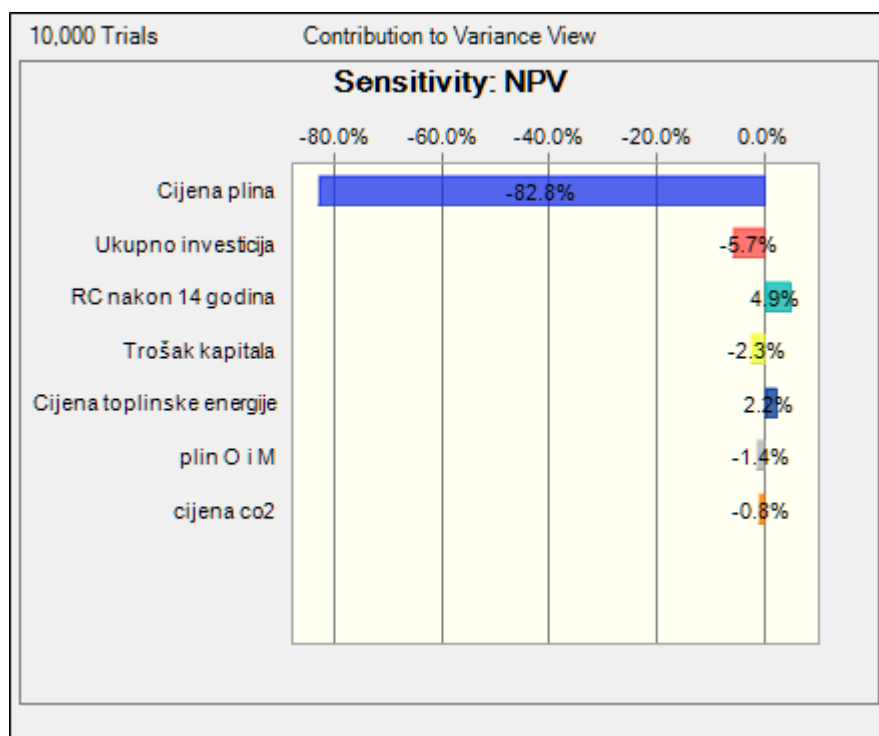
Pokazatelj modificirane interne stope profitabilnosti napravljen je u odnosu na prosječni trošak kapitala od 4.16% te je izlazna vrijednost simulacije prikazana na grafu 24. Na grafu možemo vidjeti da je za 60.4% slučajeva vrijednost MIRR veća od baznog scenarija, dok je u intervalu $\pm 1\sigma^2$ vrijednost MIRR od 4.75% do 6.28%.



Graf 24. Simulirana kumulativna distribucija MIRR-a virtualne elektrane

Najveći utjecaj na rezultate simulacije NPV-a prikazan je na grafu 25. iz kojeg je vidljivo da maksimalni utjecaj na rezultate simulacije ima cijena plina, srednji

utjecaj imaju iznos ukupne investicije te cijene električne energije nakon 14 godina, dok minimalni utjecaj predstavlja cijena toplinske energije, trošak kapitala, plin O&M te cijena emisije CO₂ plina.



Graf 25. Utjecaj pojedinih ulaznih varijabli na rezultat simulacije

5.7. Mogućnosti upravljanja detektiranim rizicima

Sistemske pregled rizika investicijskog projekta napravljen je sukladno poglavljima 3.1 tj. prema definiranoj podjeli rizika na skupine. U pogledu strateških rizika možemo izdvojiti zakonski rizik, tj. rizik direktnih promjena zakona koji reguliraju proizvodnju električne energije te promjena zakona o investicijskim olakšicama. U pogledu projekta prema zakonskim rješenjima definirano je 14-godišnje razdoblje primjene otkupa struje po povlaštenim cijenama te bi promjena ovog zakona moguće učinila ovaj projekt neisplativim ili manje isplativim nego što je prema provedenoj analizi. Stoga je ovaj rizik potrebno iskorijeniti mjerom izbjegavanja rizika tj. ovaj rizik je potrebno ukloniti prije početka investicije, kao npr. potpisom ugovora o otkupu električne energije prema važećim zakonima s državnom nadležnom agencijom tj. zaduženim subjektom za isplatu zajamčene cijene.

U pogledu operativnog rizika vidljiv je rizik prodane količine i cijene toplinske energije koji potencijalno može jako varirati, iako navedeno prema grafu 25. nema

presudan značaj na ishod projekta s istim je potrebno upravljati. Stoga je potrebno ovaj rizik smanjiti raznim metodama, kao npr. dogovorom o otkupu toplinske energije već za vrijeme gradnje postrojenja. Rizik ljudskih resursa nije osobito izražen u ovom projektu, djelomičan financijski utjecaj vidljiv je u stavci Plin O i M, no ista ima minimalni utjecaj na projekt. Stoga je politiku ljudskih resursa potrebno voditi u skladu s normama struke, dok je za upravljanje rizikom moguće upotrijebiti mjeru pasivnog snošenja rizika.

Tehnološki rizik projekta detektiran je u riziku tehnoloških promjena te u riziku lošeg tehnološkog rješenja, u smislu upravljanja sustavom virtualne elektrane. Odabir lošeg upravljačkog sustava ili neadekvatnog tehnološkog rješenja može dovesti do povećanja troškova pri investicijskom ulaganju te kasnijih operativnih problema u radu elektrane. Stoga je ovaj rizik potrebno izbjeći investicijom u najsuvremenije i najsigurnije tehničko rješenje.

Glavni financijski rizici ovog projekta su cijena plina, cijena električne energije nakon 14 godina te trošak kapitala. U pogledu cijene električne energije nakon 14 godina nije moguće osigurati trenutno rješenje rizika nego je potrebno isto razmatrati kroz cijeli period rada elektrane kako bi se u odgovarajućem trenutku mogle donijeti najprihvatljivije odluke. Rizik troška kapitala je potrebno izbjeći prije same investicije zatvaranjem financijske konstrukcije te definiranjem točnih troškova kapitala. Isto tako potrebno je napraviti kvalitetne izvedbeno-tehnološke projekte s kojima će se minimizirati naknadni radovi te izbjeći dodatna investiranja po višim stopama troška kapitala. Najveći rizik ovog projekta, a isto je vidljivo iz grafa 25., je cijena plina koja utječe na rizičnost NPV-e s 82.8% u odnosu na sve ostale rizike. Stoga je ovim rizikom potrebno upravljati i to mjerom transfera rizika za prvih 14 godina proizvodnje jer u navedenim godinama efektuiranja postoji fiksna otkupna cijena električne energije. Stoga bi neupravljanje s ovim rizikom potencijalno moglo stvoriti situaciju veće proizvodne cijene od prodajnih što bi rezultiralo i potencijalnom propašću projekta. Jedno od mogućih rješenja je hedžirati cijenu plina u određenom postotku kako bi se osigurala stabilnost cijene koja može jako oscilirati na godišnjoj razini. U periodu nakon 14 godina moguće su druge metode upravljanja rizikom jer će tada cijene prodane električne energije biti tržišne te je također moguće i korigirati količinu proizvedene energije u skladu s tržišnim uvjetima.

6. Zaključak

U okviru ovog specijalističkog poslijediplomskog rada razmatrana je mogućnost isplativosti investicije u veliku virtualnu elektranu koja se sastoji od tri komponente, a to su fotonaponska elektrana, vjetroelektrana te visokoučinkovita kogeneracijska plinska elektrana. Koncept virtualne elektrane predstavlja skupinu udruženih distribuiranih izvora energije koji su zajednički upravljani centralnom kontrolnom jedinicom te prema mreži daju jedan sumirani proizvodni kapacitet. Kako bi isto bilo uspješno analizirano prvo su definirani ekonomski parametri uspješnosti projekta putem metoda budžetiranja kapitala. Na temelju metodologije budžetiranja kapitala definirane su metode te prikazani i opisani temeljni kriteriji financijskog odlučivanja, posebice čista sadašnja vrijednost (NPV), interna stopa profitabilnosti (IRR) te je definirana rezidualna vrijednost i njen utjecaj na NPV.

Definirani su rizici, ekonomska podloga rizika, temeljne vrste rizika i metode upravljanja rizicima. Posebno je definiran rizik kao statistička funkcija, što predstavlja osnovu Monte Carlo simulacije investicijskog projekta. S time je ostvaren prvi cilj rada te stvoreni preduvjeti za daljnju analizu projektne investicije.

Drugi cilj rada bio je analizirati stanje elektroenergetskog sustava u Republici Hrvatskoj, što je i napravljeno u 4. poglavlju rada. Gdje je prikazana teoretska podloga upravljanja elektroenergetskim sustavom te problemi koji su događaju u sustavu integracijom obnovljivih izvora energije, posebice vjetroelektrana. Zaključeno je da daljnja integracija veće količine vjetroelektrana predstavlja problem sustavu zbog nemogućnosti predviđanja proizvodnje te samim time regulacije cijelog sustava. Također, definirane su tehnološko-ekonomske karakteristike proizvodnje virtualne elektrane te njenih sastavnih dijelova, njihove prednosti i mane te je time ostvaren treći cilj. Tehnološko-ekonomske karakteristike pretočene su u ekonomske pokazatelje te je napravljen ekonomski model rada virtualne elektrane. Ekonomski model virtualne elektrane definiran je na temelju metoda budžetiranja kapitala te osnova definiranja i upravljanjima rizicima.

Prema rezultatima ekonomskog modela virtualne elektrane, tj. baznog scenarija isplativosti zadovoljeni su uvjeti financijske isplativosti projekta te isti je pogodan za investiciju. Dodatna analiza rizika projekta napravljena je metodom Monte Carlo

simulacije projekta prema pravilima definiranim u 3. poglavlju ovog rada. Monte Carlo simulacija projektne investicije napravljena je na temelju baznog scenarija u kojem je definirano šest kritičnih ulaznih varijabli, rizičnih čimbenika te su iste u simulaciji predstavljene odgovarajućim statističkim funkcijama na temelju analize budućih stanja, a sve na temelju pretpostavke, očekivanja, analizirane literature i raznih izvora te podataka iz prošlosti.

Izlazni parametri Monte Carlo simulacije, a to su NPV-e, IRR-e te NPV s uključenom rezidualnom vrijednošću, prikazuju vrlo veliku uspješnost realizacije projekta. Za minimalno 97,64% slučajeva ili scenarija NPV postiže pozitivnu vrijednost te time opravdava ulaganje u projekt virtualne elektrane definirane unutar zakonskih okvira Republike Hrvatske te zemalja sa sličnim zakonskim rješenjima, a samim time ostvaren je i četvrti cilj ovog rada. U pogledu upravljanja rizicima izdvojeno je sedam glavnih rizika projekta te je njima potrebno upravljati.

Predložene su metode upravljanja rizicima za sve detektirane rizike, a posebice s zakonskim rizikom putem mjere izbjegavanje rizika te rizikom cijena plina putem mjere transfera rizika tj. hedžinga cijene plina, a sve kako bi se maksimizirala ekonomska korist analiziranog projekta.

Literatura

Knjige, poglavlja knjiga, časopisi, članci:

1. Agar, C. (2005) **Capital Investment & Financing: a practical guide to financial evaluation**. England: Butterworth-Heinemann.
2. Alexander, C. (2008) **Quantitative Methods in Finance**. England: John Wiley & Sons Ltd.
3. Andersen, T. J., Garvey, M. and Roggi, O. (2014) **Managing Risk and Opportunity: The Governance of Strategic Risk-Taking**. New York: Oxford University Press.
4. Andora, G., Mohanty, S. K. i Toth, T. (2015) **Capital budgeting practices: A survey of Central and Eastern European firms**, *Emerging Markets Review*, Vol. 23, str. 148-172.
5. Aven, T. (2016) **Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation**. *European Journal of Operational Research*, Vol. 253, str. 1-13.
6. Barreto, H. i Howland, F. (2006) **Introductory Econometrics: Using Monte Carlo Simulation with Microsoft Excel**. USA: Cambridge University Press.
7. Barry, A. Benedict (2017) **Benefits of Scenario Planning Applied to Energy Development**. *Energy Procedia*, Vol. 107, str. 304-308.
8. Baule, R. (2019) **The cost of debt capital revisited**. *Business Research*, Vol. 12, 2. izdanje, str. 721–753.
9. Birgham, E. F. i Ehrhardt, M. C. (2008) **Financial Management: Theory and Practice**. USA: Thomson South-Western.
10. Blumberga, T. et al. (2017) **Comparative exergoeconomic evaluation of the latest generation of combined-cycle power plants**. *Energy Conversion and Management* br. 153, str. 616–626.
11. Boroš, J. (2016) **Regulacija u elektroenergetskom sustavu s velikim udjelom vjetroelektrana**. Diplomski rad. Osijek: Elektrotehnički fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

12. Brandimarte, P. (2014) **Handbook in Monte Carlo Simulation: Applications in Financial Engineering, Risk Management, and Economics**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
13. Braun, M. (2009) **Virtual Power Plants in Real Applications: Pilot Demonstrations in Spain and England as part of the European project FENIX**. Internationaler ETG Kongress 27-28 listopada 2009., Düsseldorf, Germany, str. 41-46.
14. Bruck, M., Sandborn, P. i Goudarzi, N. (2018) **A Levelized Cost of Energy (LCOE) model for wind farms that include Power Purchase Agreements (PPAs)**. Renewable Energy 122, str. 131-139.
15. Buhlmann, H. (2005) **Mathematical Methods in Risk Theory**. Switzerland: Springer International Publishing.
16. Chapman, C. i Ward, S. (2003) **Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights**. England: John Wiley & Sons, Ltd.
17. Charnes, J. (2012) **Financial Modeling with Crystal Ball and Excel**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
18. Cherubini, U. i Della Lunga, G. (2007) **Structured Finance: The Object-Oriented Approach**. England: John Wiley & Sons, Ltd.
19. Dedi, L. (2006) **Istraživanje opcija kao mogućnosti unaprjeđenja financijske analize**. Doktorski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
20. Duspara, D. (2011) **Alokacija i realokacija resursa temeljena na postevaluaciji investicijskih projekata**. Magistarski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
21. Ehrhardt, M. C. i Brigham, E. F. (2011) **Financial Management: Theory and Practice, Thirteen Edition**. USA: South-Western Cengage Learning.
22. Ersayin, E. i Ozgener, L. (2015) **Performance analysis of combined cycle power plants: A case study**. Renewable and Sustainable Energy Reviews br. 43, str. 832–842.
23. Green, P. E. J. (2016) **Enterprise Risk Management**. England: Elsevier Inc.
24. Gržeta, I. (2016) **Konkurentnost obnovljivih izvora energije na otvorenom tržištu električne energije s posebnim osvrtom na zemlje JI**

- Europe.** Poslijediplomski specijalistički rad. Rijeka: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Rijeci.
25. Hampton, J. J. (2009) **Fundamentals of enterprise risk management : how top companies assess risk, manage exposure, and seize opportunity.** USA: AMACOM.
26. Hassani, B. K. (2016) **Scenario Analysis in Risk Management: Theory and Practice in Finance.** Switzerland: Springer International Publishing.
27. Hong Lee, J., Seop Kim, T. i Kim, E. (2017) **Prediction of power generation capacity of a gas turbine combined cycle cogeneration plant.** Energy br. 124, str. 187-197.
28. Jackel, P. (2002) **Monte Carlo Methods in Finance.** England: John Wiley & Sons Ltd.
29. Jakus, D. (2012) **Integracija vjetroelektrana u uvjetima ograničenog kapaciteta prijenosne mreže.** Doktorska disertacija. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu.
30. Jurenić, D. (2015) **Analiza investicijskih projekata u proširenje poslovanja tvrtke.** Poslijediplomski specijalistički rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
31. Klarić, M. (2011) **Isplativost proizvodnje vodika iz energije vjetra.** Specijalistički poslijediplomski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
32. Krndelj, H. (2003) **Monte Carlo simulacija u analizi investicijskih odluka.** Magistarski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
33. Lilford, E., Maybee, B. i Packey, D. (2018) **Cost of capital and discount rates in cash flow valuations for resources projects.** Resources Policy, Vol. 59, str. 525-531.
34. Mikulić, K. (2013) **Virtualne elektrane kao model za konkurentnost malih proizvođača na tržištu električne energije.** Diplomski rad. Zagreb: Fakultet elektrotehnika i računarstva, Sveučilište u Zagrebu.
35. Mikulić, M. (2013) **Optimalni modeli upravljanja distribuiranim energetske resursima virtualnih elektrana.** Diplomski rad. Zagreb: Fakultet elektrotehnika i računarstva, Sveučilište u Zagrebu.
36. Miloš Sprčić, D. (2013) **Upravljanje rizicima.** Zagreb: Sinergija-nakladništvo d.o.o.

37. Miloš Sprčić, D. i Radić, D. (2011) **Kvantifikacija izloženosti rizicima - usporedba i ocjena metoda Var i CFaR**. Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu, Vol. 9(1), str. 55-70.
38. Miloš Sprčić, D. i Sprčić, P. (2007) **Upravljanje financijskim rizikom u poduzećima članicama europskog udruženja trgovaca energijom**, Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu, Vol. 5 No. 1.
39. Miloš Sprčić, D., Puškar, J. i Zec, I. (2019) **Primjena modela integriranog upravljanja rizicima - Zbirka poslovnih slučajeva**. Zagreb: Ekonomski fakultet - Zagreb.
40. Mun, J. (2006) **Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Forecasting, and Optimization Techniques**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
41. Orešković Sulje, O. (2010) **Procjena vrijednosti poduzeća u realnom sektoru metodom diskontiranih novčanih tokova i metodom multiplikatora**. Specijalistički poslijediplomski rad. Zagreb: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
42. Orsag, S. (2002) **Budžetiranje kapitala- Procjena investicijskih projekata**. Zagreb: Masmedia d.o.o.
43. Orsag, S. (2015) **Poslovne financije**. Zagreb: Avantis d.o.o.
44. Orsag, S. i Gulin, D. (1996) **Poslovne kombinacije**. Zagreb: Hrvatska zajednica računovođa i financijskih djelatnika.
45. Perhot, D. (2011) **Upravljanje rizicima metodom analitičko hijerarhijskog procesa**. Magistarski rad. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu.
46. Peterson, P. P. i Fabozzi, F. J. (2002) **Capital Budgeting: Theory and Practice**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
47. Pijuk, A. (2016) **Upravljanje rizicima projekata i usporedba dvaju alata za upravljanje rizicima na primjeru projekta razvoja softvera**. Završni rad. Split: Ekonomski fakultet Split, Sveučilište u Splitu.
48. Pratt, S. P. (2002) **Cost of capital : estimation and applications - second edition**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
49. Pratt, S. P. i Grabowski, R. J. (2008) **Cost of Capital**. USA: John Wiley & Sons.

-
50. Pritchard, C. L. (2015) **Risk Management Concepts and Guidance**. London: Taylor & Francis Group, LLC.
51. Puška, A. (2011) **Analiza osjetljivosti u funkciji investicijskog odlučivanja**. Praktični menadžment, Vol. II, br. 3, str. 80-86.
52. Raychaudhuri, S. (2008) **Introduction to monte carlo simulation**. 2008 Winter Simulation Conference 7-10 prosinca 2008., Miami, FL, USA, str. 91-100.
53. Ross, S. M. (1999) **An Introduction to Mathematical finance: Options and Other Topics**. England: Cambridge University Press.
54. Saboori, H., Mohammadi, M. i Taghe, R. (2011) **Virtual Power Plant (VPP), Definition, Concept, Components and Types**. 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) 25-28 ožujka 2011., Wuhan, China, str. 1-4.
55. Sadgrove, K. (2016) **The Complete Guide to Business Risk Management**. England: Routledge Taylor & Francis Group.
56. Sagrestano, P. (2017) **Vjetroelektrane u Hrvatskoj i Europskoj uniji: Trenutno stanje i nadolazeći trendovi s posebnim osvrtom na tržište električne energije**. Poslijediplomski specijalistički rad. Rijeka: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Rijeci.
57. Schmidt, A. B. (2005) **Quantitive Finance for Physicists: An Intruduction**. USA: Elsevier Ltd.
58. Skoglund, J. i Chen, W. (2015) **Financial risk Management: Applications in Market, Credit, Asset and Liability Management and Firmwide Risk**. USA: SAS Institute Inc.
59. Stretcher, R., Gutierrez, J. i Johnson, S. (2015) **Illustrating Non-Constant Marginal Cost of Capital and the Interdependence of Independent Projects**. Journal of Financial Education, vol. 41, str. 11-31.
60. Šerman, B. (2017) **Ekonomska ocjena mjera energetske učinkovitosti**. Diplomski rad. Osijek: Elektrotehnički fakultet, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.
61. Tascikaraoglu, A. et al. (2014) **An adaptive load dispatching and forecasting strategy for a virtual power plant including renewable energy conversion units**. Applied energy, br. 119, str. 445–453.

62. Trgo, A. (2015) **Uvjetna rizičnost vrijednosti (cvar) u procjeni rizika na hrvatskom tržištu kapitala**, Poslijediplomski specijalistički rad. Split: Ekonomski fakultet, Sveučilište u Splitu.
63. Udovičić, A. i Kadlec, Ž. (2013) **Analiza rizika upravljanja poduzećem**, Praktični menadžment, Vol. IV, br. 1, str. 50-60.
64. Verbano, C. i Venturini, K. (2013) **Managing Risks in SMEs: A Literature Review and Research Agenda**. J. Technol. Manag. Innov., Vol. 8, Issue 3, str. 186 - 197.
65. Vidyamurthy, G. (2004) **Pairs trading: Quantitative Methods and Analysis**. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
66. Wissem, E. (2013) **Risks Management: New Literature Review**. Polish journal of management studies, vol. 8, str. 288-297.

Internetski izvori

1. Atlas vjetrova Hrvatske, dostupno na: https://meteo.hr/klima.php?section=klima_hrvatska¶m=k1_8 [10. prosinca. 2018.]
2. Cijena emisije CO2 plina, dostupno na: <https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/> [17. listopada 2019.]
3. Cijena plina na CEGH, dostupno na: <https://www.cegh.at/en/exchange-market/market-data/> [15. prosinca 2019.]
4. Cijene toplinske energije HEP toplinarstvo, dostupno na: <http://www.hep.hr/toplinarstvo/krajnji-kupci/cijene-30/30> [13. studenog 2019.]
5. Five key steps for managing future business risk, dostupno na: <https://www.patchapmanpincher.com/blog/five-key-steps-for-managing-future-business-risk/> [15. rujna 2018.]
6. HOPS: **Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u hrvatskoj za 2016. godinu**, Zagreb, veljača 2016.; dostupno na: <http://hops.hr/wps/portal/hr/web/dokumenti/Publikacije/izvjestajive> [15. ožujka 2018.]

7. HOPS: Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u hrvatskoj za 2019. godinu, Zagreb, veljača 2020.; dostupno na: <https://www.hops.hr/izvjestaji-o-proizvodnji-ve-u-rh> [10. ožujka 2020.]
8. IRENA (2019), **Renewable Power Generation Costs in 2018**, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, dostupno na: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf [15. rujna 2019.]
9. Mađarska burza električne energije, dostupno na: <https://hupx.hu/en/> [16. listopada 2019.]
10. Normalna distribucija, dostupno na: <https://stedy.hr/distribucije/normalna-distribucija> [25. rujna 2018.]
11. Ostvareni ciljevi obnovljive proizvodnje energije u Europskoj Uniji, dostupno na: <https://www.weforum.org/agenda/2019/02/these-11-eu-states-already-meet-their-2020-renewable-energy-targets/> [10. rujna 2019.]
12. Project SWOT Analysis of Virtual Power Plant Market 2025, dostupno na: <http://marketresearchupdates.over-blog.com/2018/09/virtual-power-plant-market.html> [13. ožujka. 2019.]
13. Prosječna cijena plina u kontinentalnoj Europi, dostupno na: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=russian-natural-gas&months=120¤cy=eur> [15. prosinca 2019.]
14. SGT-800 gas turbine, Dostupno na mrežnoj stranici: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/power-generation/gas-turbines/sgt-800.html> [17. studenog 2019.]
15. Slovenska burza električne energije, dostupno na: <https://www.bsp-southpool.com/home.html> [17. listopada 2019.]
16. Srednja godišnja ozračenost u Republici Hrvatskoj, dostupno na: <http://www.eihp.hr/> [20. kolovoza. 2018.]
17. Strateški ciljevi Europske unije do 2020. za klimu i energetiku, dostupno na: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en [9. ožujka 2018.]

Zakoni i vladini programi

1. Narodne novine (2013) *Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije*. Zagreb: Narodne novine d.d. br. 133/2013, dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_11_133_2888.html
2. Narodne novine (2015) *Metodologija za određivanje cijena za pružanje usluge uravnoteženja*. Zagreb: Narodne novine d.d. br. 88/2015, dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_08_85_1667.html
3. Narodne novine (2018) *Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji*. Zagreb: Narodne novine d.d. br. 111/18, dostupno na <https://www.zakon.hr/z/827/Zakon-o-obnovljivim-izvorima-energije-i-visokou%C4%8Dinkovitoj-kogeneraciji>
4. Narodne novine (2018) *Zakon o poticanju ulaganja*. Zagreb: Narodne novine d.d. br. 114/18, dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/829/Zakon-o-poticanju-ulaganja>

Popis slika

Slika 1. Grafički prikaz odnosa vremena i novca u investicijskom projektu	7
Slika 2. Rizik kao prijetnja, ali i prilika.....	24
Slika 3. Podjela na 6 kategorija rizika.....	27
Slika 4. Proces upravljanja rizicima.....	32
Slika 5. Mapa rizika	34
Slika 6. Mjere upravljanja rizicima	37
Slika 7. Funkcije razdiobe i gustoće vjerojatnosti	42
Slika 8. Standardna devijacija i funkcija gustoće vjerojatnosti.....	43
Slika 9. Simulacija scenarija	45
Slika 10. Izrada funkcije razdiobe iz seta podataka.....	56
Slika 11. Shema virtualne elektrane	59
Slika 12. Dnevni dijagram opterećenja	61
Slika 13. Odstupanje od planirane proizvodnje VE u RH	62
Slika 14. Sustav upravljanja virtualno elektranom u tržišnim uvjetima	66
Slika 15. Srednja godišnja ozračenost u Republici Hrvatskoj.....	68
Slika 16. Lokacija simulirane FNE	70
Slika 17. Središnja godišnja gustoća snage vjetra na 80 metara iznad tla u Republici Hrvatskoj.....	71
Slika 18. Simulirani parametri vjetra za razdoblje mjeseca listopada, studenog i prosinca.....	73
Slika 19. Karakteristika odabrane turbine SWT-3.0MW	73
Slika 20. Shema kogenerirajuće-kombinirano ciklusne plinske elektrane	76
Slika 21. Efikasnost PE prema faktoru opterećenosti.....	79
Slika 22. Kretanje prosječnih cijena plina u Europi kroz proteklih 10 godina....	95

Popis tablica

Tablica 1. Skup numeričkih pokazatelja	56
Tablica 2. NPV i IRR projekta u osnovnom scenariju	57
Tablica 3. Proizvodni parametri postrojenja SCC 800 1x1 C	77
Tablica 4. Investicijsko ulaganja	81
Tablica 5. Ukupna investicijska sredstva	82
Tablica 6. Investicijski trošak po jedinici instalirane snage	82
Tablica 7. Operativni prihodi virtualne elektrane	86
Tablica 8. Operativni troškovi virtualne elektrane	86
Tablica 9. Ponderirani trošak kapitala	88
Tablica 10. Stope amortizacije	89
Tablica 11. Novčani tok projekta za 1., 2., 8., 15. i 20. godinu	90
Tablica 12. Ukamaćivanje investicije	91
Tablica 13. Čisti novčani tokovi	91
Tablica 14. Kriteriji financijskog odlučivanja	92
Tablica 15. Analiza osjetljivosti rizičnih varijabli	92
Tablica 16. Novčani tok projekta s uključenim porezom na dobit	122
Tablica 17. Slobodni novčani tok - NPV	122
Tablica 18. Financijski prinos vlasničkog kapitala	123

Popis grafikona

Graf 1. Primjer grafa obične funkcije	39
Graf 2. Primjer funkcija normalne distribucije	50
Graf 3. Primjer funkcija trokutaste distribucije	51
Graf 4. Primjer funkcija uniformne distribucije	53
Graf 5. Primjer funkcija log-normalne distribucije	54
Graf 6. Izlazni parametar distribucije NPV-a	57
Graf 7. Izlazni parametar razdiobe vjerojatnosti IRR-a.....	58
Graf 8. Godišnja proizvodnja FNE prema dnevnoj proizvodnji.....	69
Graf 9. Godišnja proizvodnja VE prema dnevnoj proizvodnji	74
Graf 10. Godišnja proizvodnja PE prema dnevnoj proizvodnji za potrebe virtualne elektrane	78
Graf 11. Godišnja proizvodnja PE prema dnevnoj proizvodnji za tržište uravnoteženja.....	80
Graf 12. Dinamika prihoda i troškova projekta	87
Graf 13. Izvori financiranja projekta.....	88
Graf 14. Distribucija ulazne varijable ukupne investicije.....	94
Graf 15. Distribucija ulazne varijable RC električne energije nakon 14 godina	95
Graf 16. Distribucija ulazne varijable cijene plina	96
Graf 17. Distribucija ulazne varijable Plin O&M.....	97
Graf 18. Distribucija ulazne varijable prihoda iz prodaje toplinske energije.....	97
Graf 19. Distribucija ulazne varijable cijena emisije CO2 plina	98
Graf 20. Distribucija ulazne varijable trošak kapitala	99
Graf 21. Simulirana distribucija NPV-a virtualne elektrane.....	99
Graf 22. Simulirana kumulativna distribucija IRR-a virtualne elektrane	100
Graf 23. Simulirana distribucija NPV-a s rezidualnom vrijednošću virtualne elektrane.....	101

Graf 24. Simulirana kumulativna distribucija MIRR-a virtualne elektrane.....	101
Graf 25. Utjecaj pojedinih ulaznih varijabli na rezultat simulacije	102

Sažetak

Investicijski projekti u obnovljive izvore energije predstavljaju sve značajniju gospodarsku aktivnost u svim zemljama svijeta, a posebice u zemljama Europske Unije koje su kao svoje ciljeve postavile ambiciozne planove povećanja udjela proizvedene energije iz obnovljivih izvora energije. U tom pogledu analiza investicijskog energetskog projekta virtualne elektrane definirane u ovom radu predstavlja jedan od mogućih smjerova rješenja za daljnje povećanje udjela obnovljivih izvora energije. Virtualne elektrane predstavljaju dodatne mogućnosti instalacije elektrana iz obnovljivih izvora u elektroenergetskim sustavima država/regija koje su već opterećene varijabilnom i nepredvidivom proizvodnjom raznih obnovljivih izvora energija. Financijska analiza projekta provedena je na temelju metode budžetiranja kapitala te modernih koncepata upravljanja rizicima, prema kojima su rizici definirani kao razne statističke funkcije tj. kao kombinacija veličine utjecaja i vjerojatnosti pojave iste. Navedeno definiranje rizika omogućuje korištenje Monte Carlo simulacije, kao bilo koje numeričke metode statističke simulacije, kako bi se ispitala uspješnost bilo koje projektne investicije. Metode financijskog odlučivanja korištene za donošenje odluka o uspješnosti investicije u projektnu virtualnu elektranu, a to su NPV-e i IRR-e, su pogodne za korištenje u Monte Carlo simulacijama. Provedenom simulacijom dokazana je isplativost ulaganja u virtualnu elektranu uz primjenu pravila upravljanja rizicima kao osnovom za maksimalnu ekonomsku efikasnost projekta.

Summary

Investment projects in renewable energy sources represent an increasing economic activity in all countries of the world, especially in the countries of the European Union which had set ambitious plans to increase the share of produced energy from renewable energy sources as their main goals. In this regard, the analysis of the investment power project of the virtual power plant defined in this paper represents one of the possible directions of the solution for further increase of the share of renewable energy sources. Virtual power plants are an additional opportunity to install renewable power plants in power systems in countries / regions that are already burdened by the variable and unpredictable production of various renewable energy sources. The financial analysis of the project was carried out on the basis of the method of capital budgeting and modern concepts of risk management, according to which risks are defined as various statistical functions, ie as a combination of the magnitude of the impact and the probability of its occurrence. The above definition of risk enables the use of Monte Carlo simulation, as any numerical method of statistical simulation, to test the success of any investment project. The financial decision-making methods used to make decisions about the success of an investment in a project virtual plant, namely NPVs and IRRs, are suitable for use in Monte Carlo simulations. The simulation proved the profitability of investing in a virtual power plant using risk management rules as a basis for maximum economic efficiency of the project.

Ključne riječi

- Analiza rizika
- Rizik
- Budžetiranje kapitala
- Monte Carlo simulacija
- Modeliranje
- Virtualna elektrana
- Čista sadašnja vrijednost

Key words

- risk analysis
- risk
- capital budgeting
- Monte Carlo simulation
- Modelling
- Virtual power plant
- Net present value

Tablica 18. Financijski prinos vlasničkog kapitala

Opis stavke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Solarna elektrana	15.803.223	15.803.223	15.803.223	15.803.223	15.803.223	15.803.223	15.803.223	15.803.223	15.803.223	15.803.223	15.755.813	15.708.546	15.661.420	15.614.436	13.217.767	13.244.004	13.270.294	13.296.635	13.323.029	13.349.475	
Vjetroelektrana	59.650.707	59.650.707	59.650.707	59.650.707	59.650.707	59.650.707	59.650.707	59.650.707	59.650.707	59.650.707	59.531.406	59.412.343	59.293.518	59.174.931	50.142.381	50.292.306	50.442.680	50.593.504	50.744.778	50.896.505	
Plinska elektrana	226.328.070	226.328.070	226.328.070	226.328.070	226.328.070	226.328.070	226.328.070	226.328.070	226.328.070	226.328.070	226.494.781	226.661.111	226.827.062	226.992.633	192.869.852	193.974.839	195.085.732	196.202.560	197.325.355	198.454.148	
Plinska elektrana - tržište uravnoteženja	57.811.290	57.811.290	57.811.290	57.811.290	57.811.290	57.811.290	57.811.290	57.811.290	57.811.290	57.811.290	57.644.579	57.478.249	57.312.298	57.146.727	44.026.298	44.118.450	44.210.715	44.303.095	44.395.589	44.488.196	
Operativni prihodi - plin - toplinska energija	28.780.749	28.780.749	28.780.749	28.780.749	28.780.749	30.219.787	30.219.787	30.219.787	30.219.787	30.219.787	31.428.578	31.428.578	31.428.578	31.428.578	29.537.765	30.429.531	30.435.151	30.440.759	30.446.353	30.451.935	
Čistatka vrijednosti investicije	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212.049.500	
UKUPNI PRILJEVI	388.374.040	388.374.040	388.374.040	388.374.040	388.374.040	389.813.077	389.813.077	389.813.077	389.813.077	389.813.077	390.855.157	390.688.827	390.522.877	390.357.306	329.794.063	332.059.130	333.444.572	334.836.553	336.235.105	336.235.105	549.689.759
Investicijsko ulaganje	427.283.564	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operativni troškovi - solar 20 MW	2.473.174	2.473.174	2.473.174	2.473.174	2.473.174	2.473.174	2.473.174	2.473.174	2.473.174	2.473.174	2.472.279	2.471.388	2.470.498	2.469.612	2.468.728	2.467.847	2.466.968	2.466.093	2.465.219	2.464.349	
Operativni troškovi - vjetroelektrana 45 MW	17.294.873	17.294.873	17.294.873	17.294.873	17.294.873	17.294.873	17.294.873	17.294.873	17.294.873	17.294.873	17.260.658	17.226.512	17.192.434	17.158.424	17.124.482	17.090.608	17.056.802	17.023.063	16.989.392	16.955.788	
Operativni troškovi - plin 68 MW	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	236.422.333	223.289.101	223.327.088	223.364.989	223.402.803	223.440.630	223.478.171	
Financijski troškovi	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452	63.856.452
Porez na dobit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.647.628	3.623.996	3.600.419	3.576.897	-4.954.236	-4.547.105	-4.298.905	-4.048.324	-3.797.158	34.624.110	
UKUPNI ODLJEVI	747.340.395	320.046.832	320.046.832	320.046.832	320.046.832	320.046.832	320.046.832	320.046.832	320.046.832	320.046.832	323.659.351	323.600.680	323.542.136	323.483.718	301.784.527	302.194.889	302.446.906	302.700.086	302.954.435	341.378.870	
NETO	-358.966.356	68.327.208	68.327.208	68.327.208	68.327.208	69.766.245	69.766.245	69.766.245	69.766.245	69.766.245	67.195.807	67.088.147	66.980.741	66.873.587	28.009.536	29.864.241	30.997.667	32.136.467	33.280.670	208.310.889	
KUMULATIVNI VP	-358.966.356	-290.639.148	-222.311.940	-153.984.732	-85.657.524	-15.891.279	53.874.967	123.641.212	193.407.457	263.173.703	330.369.509	397.457.656	464.438.397	531.311.985	559.321.521	589.185.762	620.183.429	652.319.896	685.600.566	893.911.455	
DISKONTNI FAKTOR	1,00	0,96	0,92	0,88	0,84	0,81	0,77	0,74	0,71	0,68	0,65	0,63	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	
DISKONTIRANI KUM. VP	-358.966.356	-293.518.838	-230.829.646	-170.782.526	-113.266.129	-57.013.495	-3.131.662	48.479.288	97.915.065	145.267.342	189.149.542	231.303.925	271.798.571	310.698.875	326.375.588	342.458.004	358.519.261	374.540.620	390.504.704	486.647.033	

Životopis

Luka Štambuk rođen je 3. listopada 1989. godine u Splitu. U Splitu završava Osnovnu školu "Trstenik" te srednju školu III. gimnaziju Split (prirodoslovno-matematička). Nakon završetka srednjoškolskog obrazovanja, 2008. godine, upisuje Fakultet elektrotehnike i računarstva pri Sveučilištu u Zagrebu. Prvostupničku diplomu stječe 2011. na smjeru elektrotehnika i informacijska tehnologija. Magistarski stupanj stječe 2013. na smjeru elektrotehnika i informacijska tehnologija, profil Automatika. Za vrijeme studiranja dobiva posebnu Rektorovu nagradu. Nakon završetka FER-a 2014. upisuje poslijediplomski specijalistički studij MBA koji završava 2020. s radom na temu Analiza isplativosti i rizika na primjeru Monte Carlo simulacije virtualne elektrane.

Nakon završetka studija radi na raznim projektima te 2014. osniva vlastitu tvrtku Proper digital advice d.o.o. i u kojoj je trenutno zaposlen. Tvrtka se bavi consulting, informatičkim te turističkim uslugama.

Sudjeluje u raznim društvenim aktivnostima, član je raznih udruga i društava, aktivno govori engleski, a pasivno talijanski jezik.