

Procjena ekonomskog rizika u proizvodnim procesima

Sačer, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:111642>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Ana Sačer

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Ana Sačer

PROCJENA EKONOMSKOG RIZIKA U PROIZVODNIM PROCESIMA

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: doc.dr.sc. Igor Dejanović

Članovi povjerenstva:

doc.dr.sc. Igor Dejanović

prof.dr.sc. Vesna Tomašić

izv.prof.dr.sc. Domagoj Vrsaljko

Zagreb, rujan 2018.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Igoru Dejanoviću na iskazanom strpljenju, povjerenju i vodstvu tijekom izrade ovog rada.

SAŽETAK RADA

PROCJENA EKONOMSKOG RIZIKA U PROIZVODNIM PROCESIMA

Ovaj rad bavi se procjenjivanjem troškova i profitabilnosti te analizama osjetljivosti i rizika prilikom planiranja inženjerskog projekta. Planirane novčane tokove najbolje je prikazati dijagramom toka novca koji predočuje dobitke i isplate vezane za projekt. Nakon njihove procjene, slijedi analiza profitabilnosti, pri čemu su najčešće korištene tehnike ocjene profitabilnosti sadašnja vrijednost, unutarnja stopa povrata i diskontirano vrijeme povrata. S obzirom da u prikupljenim podacima, odnosno predviđenim tokovima novca zasigurno postoje nesigurnosti, potrebno je u analizu unijeti i određenu procjenu rizika. Alati koji se pri tome koriste su analiza osjetljivosti te *Monte Carlo* analiza. Analizom osjetljivosti se ispituje koliko pojedina nezavisna varijabla utječe na profitabilnost, kako bi se identificirale one varijable kojima treba posvetiti najveću pozornost. Podaci o relativnoj osjetljivosti pojedinog pokazatelja profitabilnosti mogu biti prikazane u *tornado* ili *spider* dijagramu. *Monte Carlo* analiza koristi se kako bi se ispitao simultani utjecaj nezavisnih varijabli na profitabilnost te na taj način analizirao rizik. Kako bi se procijenio i analizirao rizik, potrebno je najprije izračunati vjerojatnost s kojom se pojavljuje neki događaj, vizualno prikazati stablo ekonomskih odluka te *Monte Carlo* simulacijom izračunati i grafički prikazati raspodjelu vjerojatnosti pojedinih pokazatelja profitabilnosti te identificirati stavke koje najznačajnije doprinose projektnom riziku.

Ključne riječi: dijagram toka novca, profitabilnost, sadašnja vrijednost, analiza osjetljivosti, analiza rizika, *Monte Carlo* simulacija

SUMMARY

ECONOMIC RISK ESTIMATION IN PRODUCTION PROCESSES

This paper deals with cost and profitability estimations, sensitivity analysis and risk analysis during the engineering process planning. Planned cash flows are best shown by cash-flow diagrams which visualizes revenues and expenses in the project. After this estimation, it follows profitability analysis with present worth (PW), internal rate of return (IRR) and discounted payback (DPB) as most commonly-employed profitability evaluation techniques. Considering that there can be found certain insecurities in collected data, it is necessary to introduce risk estimation in the analysis. The tools used during the risk estimation are sensitivity analysis and Monte Carlo analysis. Sensitivity analysis tests the causality of certain independent variable on profitability with the intention of identification of the variable whom the greatest attention should be dedicate. What's more, information about relative sensitivity of the certain profitability indicator can be summed up by a tornado diagram and spiderplots. Monte Carlo analysis is used to test simultaneous influence of all independent variables on profitability with the intention to analyze the risk. When estimating and analyzing the risk, it is necessary first to calculate probability of certain event. After that, visualizing economy decision tree follows, and, in the end, using Monte Carlo simulation, calculate and show graphically probability distribution of each profitability indicator and identifies items which contribute the most to project risk.

Keywords: cash flow diagram, profitability, present worth (PW), sensitivity analysis, risk analysis, Monte Carlo simulation

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. TROŠKOVI, TOKOVI NOVCA I NJIHOVA PROCJENA | 2 |
| 2.1. Klasifikacija troškova | 2 |
| 2.2. Procjena troškova | 3 |
| 2.3. Dijagram toka novca..... | 7 |
| 3. PROFITABILNOST | 8 |
| 3.1. Sadašnja vrijednost (PW) | 8 |
| 3.2. Unutarnja stopa povrata (IRR)..... | 12 |
| 3.3. Diskontirano vrijeme povrata (DPB)..... | 12 |
| 4. ANALIZA OSJETLJIVOSTI..... | 13 |
| 4.1. Usporedba Tornado i <i>spider</i> dijagrama..... | 15 |
| 4.2. Višestruke alternative | 17 |
| 5. RIZIK | 18 |
| 5.1. Vjerojatnost i raspodjela vjerojatnosti | 18 |
| 5.2. Stablo ekonomskih odluka..... | 20 |
| 5.3. Kompromis rizika i povrata..... | 22 |
| 5.4. Analiza rizika | 24 |
| 6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA BIOGORIVA, STUDIJA SLUČAJA | 26 |
| 6.1. Procjena troškova | 28 |
| 6.2. Analiza profitabilnosti | 28 |
| 6.3. Analiza osjetljivosti..... | 28 |
| 6.4. Analiza nesigurnosti <i>Monte Carlo</i> simulacijom | 30 |
| 7. ZAKLJUČAK | 33 |
| 8. POPIS SIMBOLA | 34 |
| 9. LITERATURA..... | 36 |
| 10. ŽIVOTOPIS | 37 |

1. UVOD

Procjena troškova i analiza osjetljivosti i rizika nužna su aktivnost pri izradi studija isplativosti investiranja u novu opremu ili proizvodni proces, odnosno prilikom usporedbe različitih projekata. Analize profitabilnosti mogu biti različitog stupnja složenosti, ovisno o kompleksnosti projekta i visini investicije.

Profitabilnost nekog inženjerskog projekta često se vidi tek nakon desetljeća, ili duže, zato je potrebno procijeniti novčane tokove tijekom izgradnje i životnog vijeka postrojenja. Pod pojmom procjene troškova, podrazumijeva se procjena troškova početnog ulaganja, modifikacije ili izgradnje objekata, radne snage, dijelova i materijala, obuke operatera, pribora i alata, tehničke podrške itd. Razvijene su mnoge tehnike i modeli pomoću kojih se mogu procijeniti troškovi. U ovom radu su objašnjeni „bottom-up“ i „design-to-cost“ principi, pravilo 60% te grafička metoda procjene krivulje rasta.

Na temelju procijenjenih pozitivnih i negativnih tokova novca tijekom određenog vremenskog perioda, mogu se izračunati razni pokazatelji profitabilnosti koji mogu, a i ne moraju uzeti u obzir vremensku vrijednost novca, kao što su neto sadašnja vrijednost ili unutarnja stopa povrata investicije.

Sljedeći korak u ekonomskoj analizi projekta je analiza osjetljivosti koja se provodi u svrhu donošenja boljih odluka i odlučivanja koji procijenjeni podaci trebaju usavršavanje. Informacije o relativnoj osjetljivosti moguće je prikazati pomoću Tornado i *spider* dijagrama. Prije analize rizika, potrebno je procijeniti vjerojatnost da pojedina procijenjena varijabla poprima određenu vrijednost. Ona se obično izvodi iz povijesnih podataka, matematičkih modela i subjektivnih procjena. Za analizu rizika su razvijeni mnogi algoritmi, a najpoznatija je *Monte Carlo* analiza kojom se može istražiti velik broj scenarija, odnosno kombinacija nezavisnih varijabli, čime se određuje raspodjela vjerojatnosti određenog pokazatelja profitabilnosti.

2. TROŠKOVI, TOKOVI NOVCA I NJIHOVA PROCJENA

2.1. Klasifikacija troškova¹

U inženjerskoj ekonomiji, vrlo je važno da se prije upuštanja u neki projekt naprave detaljne kalkulacije procjene troškova. Troškovi se mogu podijeliti u sljedeće skupine: izravni troškovi, neizravni troškovi, opći troškovi, standardni troškovi, zajednički troškovi, troškovi obavljanja rada i troškovi procesa.

Izravni troškovi nazivaju se i glavni troškovi i mogu se izravno pratiti tijekom proizvodnje. U izravne troškove se ubrajaju troškovi materijala, sklopova i dijelova koji su potrebni za dovršetak projekta, troškovi za prijenos materijala, što uključuje prijevoz, osiguranje i carinske pristojbe, troškovi koji uključuju plaće radnicima koji sudjeluju u dovršetku projekta, prekovremeni rad, porez na socijalnu sigurnost, naknadu za godišnji odmor, praznike, bolovanje itd. Također su tu uključeni i troškovi svih ostalih čimbenika koji utječu na dovršetak projekta.

Neizravni troškovi su svi troškovi koji se ne mogu klasificirati kao izravni troškovi jer ili nije praktično ili je nemoguće. Moderna tehnologija teži povećati udio neizravnih troškova, a smanjiti udio izravnih radnih troškova. To je i svrha automatizacije, zamijeniti izravne troškove rada s neizravnim troškovima strojeva. Inženjeri koji se bave procjenom troškova trebaju poznavati zahtjeve i omogućiti da projekt bude završen u okviru odgovarajućih ograničenja troškova.

Opći troškovi obuhvaćaju troškove proizvoda koji ne predstavljaju glavne troškove. U ovu skupinu spadaju indirektni materijali (pomagala), materijali koji ne postaju dio glavnog proizvoda (npr. maziva), indirektni rad, koji predstavlja trošak plaće radnicima koji nisu direktno povezani s proizvodnjom, kao na primjer nadglednici, radnici na održavanju, radnici zaduženi za unutarnji prijevoz. U ovu skupinu troškova također se ubrajaju i troškovi postrojenja i servisnih odjela, to jest odjela koji podržavaju proizvodnju (trgovine, laboratoriji, računovodstvo).

Standardni troškovi obično se odnose na jedinicu proizvodnje. Njihova svrha je izraditi proračun i povratni sustav, pružiti pomoć pri predviđanjima i pri proračunima tokova novca te nastojati uštedjeti na troškovima knjigovodstva.

Pojam **zajedničkog troška** odnosi se na dva ili više proizvoda koji se proizvode istodobno i ne mogu se identificirati kao pojedinačni tipovi proizvoda sve dok se ne postigne određeni

stupanj proizvodnje, točka razdvajanja. Proizvod za koji postoji mala ili nikakva potražnja naziva se nus-proizvod.

Kod **troškova obavljanja rada** proizvodni ciklus i ciklus troškova jednako dugo traju. Troškovi obavljanja rada koriste se za proizvodne procese u kojima se troškovi mogu precizno zabilježiti.

Troškovi procesa koriste se za kontinuirane procese koji rade 24 sata na dan. Proizvodni ciklus se nastavlja bez prekida dok je ciklus troškova prekinut nakon određenog vremena kako bi se utvrdio rezultat poslovanja. Troškovi procesa koriste postotke i manje su točni od troškova obavljanja rada.

2.2. Procjena troškova

Kako bi se procijenio skup različitih alternativa, potrebno je napraviti detaljne analize mnogih troškova. To su na primjer troškovi za početno ulaganje, modifikaciju objekta, radnu snagu, dijelove i materijal, inspekciju i kontrolu kvalitete, radove izvođača i kooperanata, obuku, pribor i alat, tehničku podršku itd.

Kada pričamo o procjeni troškova potrebnih za projektiranje i izgradnju nekog projekta, možemo definirati tri osnovna tipa procjene koji se razlikuju po svrsi, preciznosti i temeljnim metodama: procjena reda veličine, procjena budžeta i detaljna procjena. Procjena reda veličine ili gruba procjena koristi se u početnoj fazi planiranja i procjene procesa. Očekivana točnost ovih procjena je između -30% i +60%. Procjene budžeta su detaljnije procjene i zahtijevaju dodatno vrijeme i sredstva kako bi se napravile procjene. Temelje se na proračunskim tablicama, rasporedima i opisima opreme te je njihova točnost između -15% i +20%. Detaljna procjena koristi se tijekom detaljnog dizajna projekta i izrađuje se na temelju detaljnih nacrti, popisa dobavljača, ponuda za opremom. Ovakve procjene iziskuju najviše vremena te su samim time mnogo točnije od grubih procjena i procjena budžeta. Njihova točnost je između -3% i +5%.²

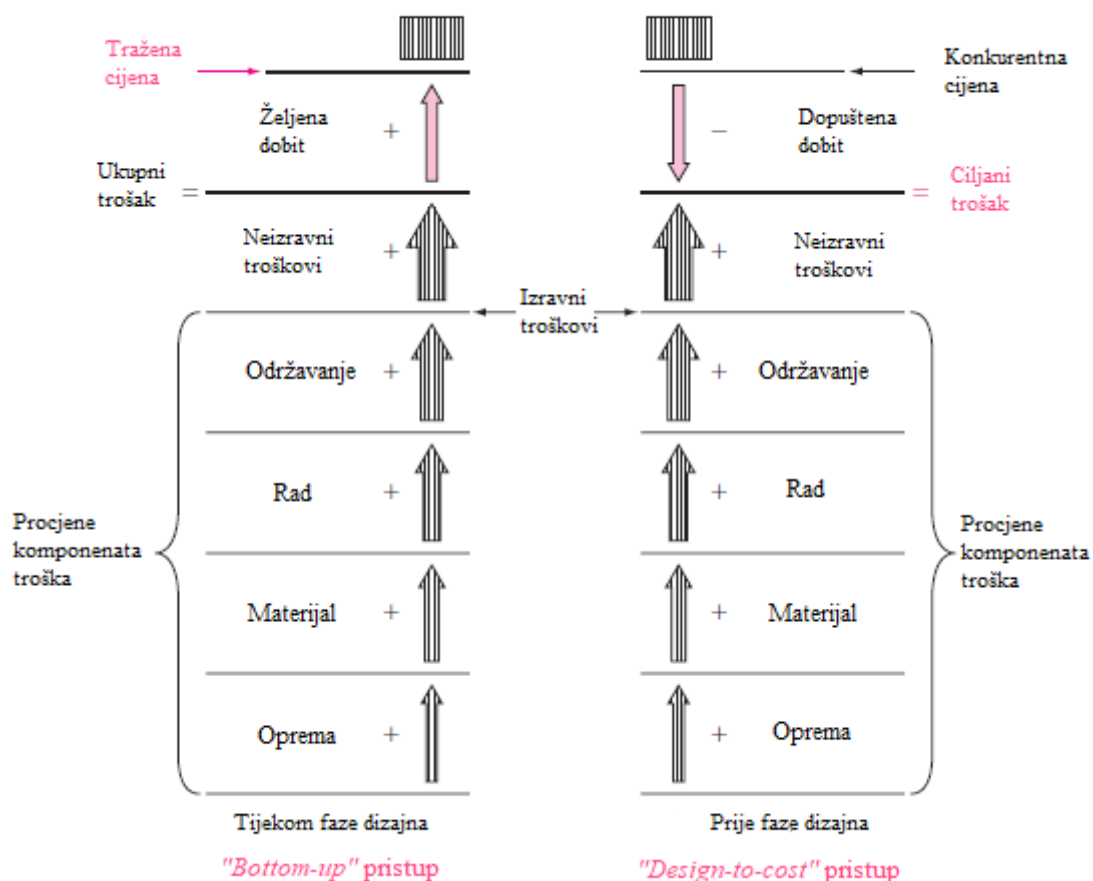
Procjene troškova mogu se napraviti koristeći tri izvora podataka:

1. Troškovi sličnih projekta
2. Vlasničke datoteke s podacima o troškovima: povijesni troškovi tvrtke i projekti unutar tvrtke
3. Objavljeni podaci o troškovima.

Potrebno je biti oprezan kod korištenja podataka o troškovima jer razina točnosti tih podataka nije poznata.

Kod procjene troškova, postoje dva osnovna principa koja se koriste, „*bottom-up*“ i „*design-to-cost*“. „*Bottom-up*“ pristup tradicionalno se koristi u industriji, poslovanju i javnom sektoru. Princip je sljedeći: identificiraju se komponente troška i njihovi elementi, procjenjuju se elementi troška, a troškovi se zbrajaju kako bi se dobili ukupni izravni troškovi. Cijena se tada određuje dodavanjem neizravnih troškova i željene dobiti, što čini postotak ukupnog troška. Ovaj pristup dobro funkcionira kada konkurencija nije dominantan čimbenik u određivanju cijena proizvoda ili usluge. Tražena cijena je izlazna varijabla, a procjena troškova je ulazna varijabla.³

Drugi pristup je „*design-to-cost*“ ili „*top-down*“ pristup, u kojem konkurentna cijena određuje ciljani trošak. Kod ovog pristupa, konkurentna cijena je ulazna varijabla, a procjena troškova je izlazna varijabla. Više pažnje se posvećuje točnosti procjene troškova, a ciljani trošak mora biti realan, inače postaje teško napraviti razumne procjene troškova za različite komponente. Najbolje se primjenjuje u ranim fazama dizajna projekta, u poticanju inovacija, novog dizajna, poboljšanje procesa i učinkovitosti. Obično je pristup koji se koristi za procjenu troškova kombinacija ovih dvaju pristupa, međutim, korisno je unaprijed odrediti koji će biti dominantan.³ Slika 1. ilustrira prethodno objašnjena dva pristupa.



Slika 1. Pojednostavljeni postupci procjene troškova za pristupe „bottom-up“ i „design-to-cost“³

Kako bi procijenili troškove nekog postrojenja, možemo se služiti i raznim modelima. Jedan od njih je model funkcije kapaciteta koji koristi parametre kapaciteta za procjenu troškova industrijskih postrojenja i opreme. Veća postrojenja koštaju više, ali je obično u njihovim konstrukcijama zastupljena ekonomija razmjera. Prema njoj, s porastom obujma proizvodnje neki troškovi ostaju relativno fiksni i sve manje opterećuju jedinične troškove, tako da se isplati ići na veći obujam ili dulje serije proizvodnje ako cijena po kojoj se prodaje jedinica proizvoda ostaje ista ili se smanjuje manje nego jedinični troškovi.⁴ Jednadžba kojom se opisuje model kapaciteta je:

$$C_x = C_k \left(\frac{S_x}{S_k} \right)^n$$

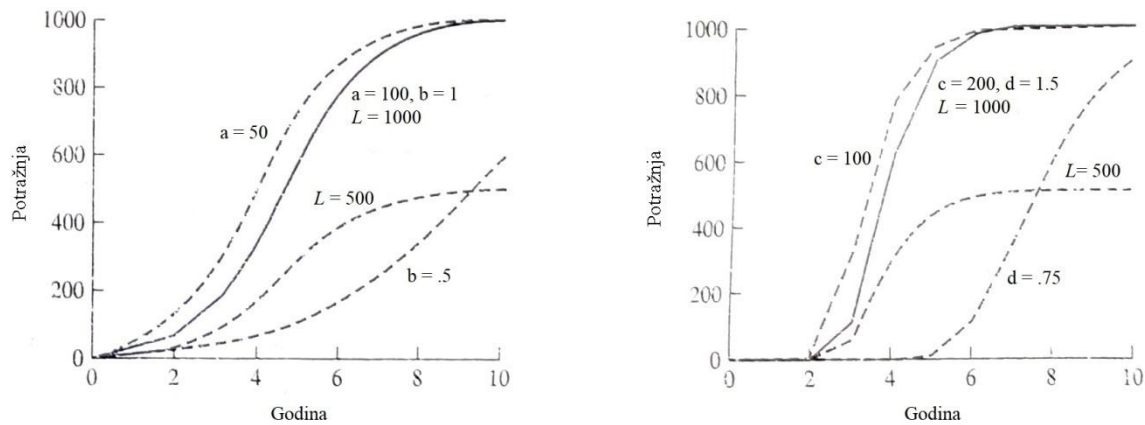
gdje je C_x procijenjena cijena postrojenja veličine S_x , C_k poznata cijena postrojenja veličine S_k , n eksponent kapaciteta (<1).

Ova jednadžba se naziva Pravilo 60%, jer je eksponent kapaciteta uglavnom oko 60%. Za poboljšanje točnosti modela, eksponenti su identificirani za specifična postrojenja, kao rafinerije ili postrojenja za proizvodnju energije. U tablici 1. dan je popis eksponenata. Postoje ograničenja koliko mogu biti različite procijenjene i točne veličine postrojenja. Generalno taj omjer treba biti manji od 2, a ne bi smio biti veći od 5.

Tablica 1. Eksponenti kapaciteta⁵

| Eksponent | Postrojenje | Eksponent | Postrojenje |
|-----------|---|-----------|-------------------------------------|
| 0,70 | Oporavak UNP-a u rafinerijama | 0,65 | Postrojenja s kisikom |
| 0,73 | Polimerizacija, mala postrojenja | 0,65 | Postrojenja sa stirenom |
| 0,91 | Polimerizacija, velika postrojenja | 0,98 | Amonijak, dušična kiselina ili urea |
| 0,61 | Generator pare, veliki, 200 psi | 0,75 | Postrojenja s klorom, elektrolitska |
| 0,81 | Generator pare, veliki, 1000 psi | 0,57 | Rafinerije, male |
| 0,88 | Generator snage, 2,000-20,000 kW | 0,67 | Rafinerije, velike |
| 0,50 | Generator pare, naftno polje, 20-200 kW | 0,55 | Uklanjanje sumporovodika |
| 0,64 | Sumpor iz H ₂ S | | |

Potražnja, prodaja te tako i prihodi obično se procjenjuju grafički krivuljom rasta ili S-krivuljom. Ovi modeli pokazuju da je potražnja u početku mala, a nakon usavršavanja produkta i tržišne svijesti, prodaja naglo raste sve dok se volumen ne približi granici nakon čega se rast smanjuje. Neke od krivulja rasta su Pearlova krivulja i Gompertzova krivulja, koje su prikazane na slici 2. Na x-osi nalazi se vrijeme, a na y-osi potražnja. Pearlova krivulja je simetrična s obzirom na točku infleksije, dok Gompertzova nije. Krivulje su definirane tako da je potražnja (D) funkcija vremena (t) i gornje granice (L). Jednadžba Pearlove krivulje je $D = \frac{L}{1+ae^{-bt}}$, a jednadžba Gompertzove krivulje je $D = Le^{-ce^{-dt}}$. Za predviđanje koeficijenata a , b , c i d može se koristiti regresijska metoda s tri ili više para podataka. Ako nije proteklo dovoljno vremena da se dostigne granica L , ona ne može biti procijenjena na temelju podataka korištenih za procjenu a , b , c i d .⁵

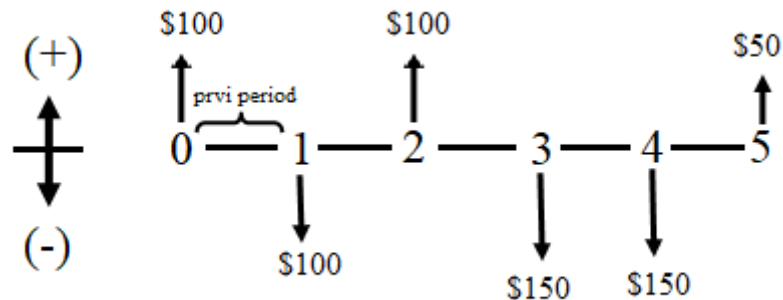


Slika 2. Primjeri Pearlove krivulje (lijevo) i Gompertzove krivulje (desno)⁵

2.3. Dijagram toka novca

Novčani tokovi mogu biti procijenjene ili promatrane vrijednosti. Svaka osoba ili tvrtka ima novčane dobitke-prihode i isplate-troškove. Ovi novčani tokovi označuju se kao pozitivni kada predstavljaju dobitke, a kao negativni kada predstavljaju isplate. Novčani primici mogu uključivati: prihode od prodaje, smanjenje troškova poslovanja, ušteda troškova postrojenja i izgradnje, ušteda na porezu na dohodak, primici od prodaje dionica itd. Novčani izdaci ili isplate pak uključuju: početni trošak imovine, troškove inženjeringa, operativne troškove, troškove povremenog održavanja i obnove, otplatu kamata, porez na dohodak itd.³ Ovi tokovi novca odvijaju se kroz određeni vremenski period i sažeti su u dijagramu roka novca. On nastaje crtanjem vodoravne linije koja predstavlja vrijeme i u odgovarajućim je vremenskim jedinicama. To mogu biti godine, mjeseci ili bilo koja druga vremenska jedinica. U svakom vremenu u kojem postoje novčani tokovi, dodaje se okomita strelica - gore ako se radi o primitku, dolje ako se radi o izdatku. Jednostavan primjer dijagrama toka novca prikazan je na slici 3. U vremenu 0 (sadašnje vrijeme), prisutan je pozitivan tok novca od \$100; u prvom vremenskom periodu negativan tok novca od \$100 itd. Kraj drugog perioda je ujedno i početak trećeg perioda. Izbor vremena 0 je proizvoljan. Može se postaviti u vremenu kada je neki projekt analiziran, kada je odobreno financiranje ili kada započne izgradnja. Kada su građevinski periodi kratki, pretpostavlja se da će se prvi troškovi pojaviti u vremenu 0, a prvi godišnji prihodi i troškovi počinju na kraju prvog razdoblja. Kada su građevinski periodi dugi, vrijeme 0 je obično vrijeme puštanja postrojenja u pogon. Je li određeni tok novca pozitivan ili negativan ovisi o stajalištu - novčani izdatak jedne osobe ili tvrtke je novčani dobitak druge osobe ili tvrtke. Tako na primjer, oprema u vrijednosti od \$5.000,00 je trošak tvrtki koja ju kupuje i na njihovom dijagramu toka novca to je negativan tok, dok je tvrtki koja ju prodaje to

dobitak i pozitivan smjer strelice na dijagramu toka novca. Obično se za jednu godinu crtaju dva ili više dijagrama toka novca za pojedine kategorije troškova (remont, trošak proizvodnje i održavanja), koji se onda povezuju je jedan zajednički dijagram toka.²



Slika 3. Primjer dijagrama toka novca²

3. PROFITABILNOST

Profitabilnost možemo definirati kao skup pokazatelja uspješnosti, odnosno mjera viška prihoda nad rashodima tijekom određenog razdoblja.¹ Analiza profitabilnosti počinje s procjenom graničnih tokova novca koji su povezani s projektom koji se promatra. Pod pojmom graničnih tokova novca podrazumijevaju se tokovi novca raspoloživi nakon izravnih troškova, a postoje kako bi se zadovoljio profit. Najčešće korištene tehnike ocjenjivanja profitabilnosti su neto sadašnja vrijednost, unutarnja stopa povrata, računovodstvena stopa povrata, povrat investicija i diskontirani povrat investicija. Nabrojene tehnike možemo svrstati u diskontirane i nediskontirane, prema tome ovisi li tok novca o vremenu ili ne. Tako su diskontirane sadašnja vrijednost, unutarnja stopa povrata i diskontirani povrat, dok su ostale nediskontirane.⁶ Ovaj rad se bavi s diskontiranim metodama koje su primjerenije za analizu velikih projekata.

3.1. Sadašnja vrijednost (PW)

Prije analize sadašnje vrijednosti (PW-present worth), potrebno je definirati alternative i objasniti njihovu podjelu. Kako bi se postigla željena svrha projekta, inženjeri moraju iz projektnih prijedloga razviti alternative. One se dijele u dvije vrste, međusobno isključive i neovisne. Kod međusobno isključivih alternativa, svaki održivi projekt je jedna alternativa, ali se može odabrati samo jedan, najbolji projekt. One su najčešći izbor u inženjerskoj praksi. Ako nijedna alternativa nije ekonomski opravdana, preporučeni izbor je „do-nothing“. Kod neovisnih alternativa, više od jednog održivog projekta može se odabrati za investiranje. Ova

alternativa se bira kada postoje zavisni projekti ili slučajni projekti u kojem jedan projekt može biti zamijenjen drugim.³ Pod pojmom slučajni projekt podrazumijeva se projekt koji će biti prihvaćen samo ukoliko je prije njega prihvaćen neki drugi projekt ili više njih.

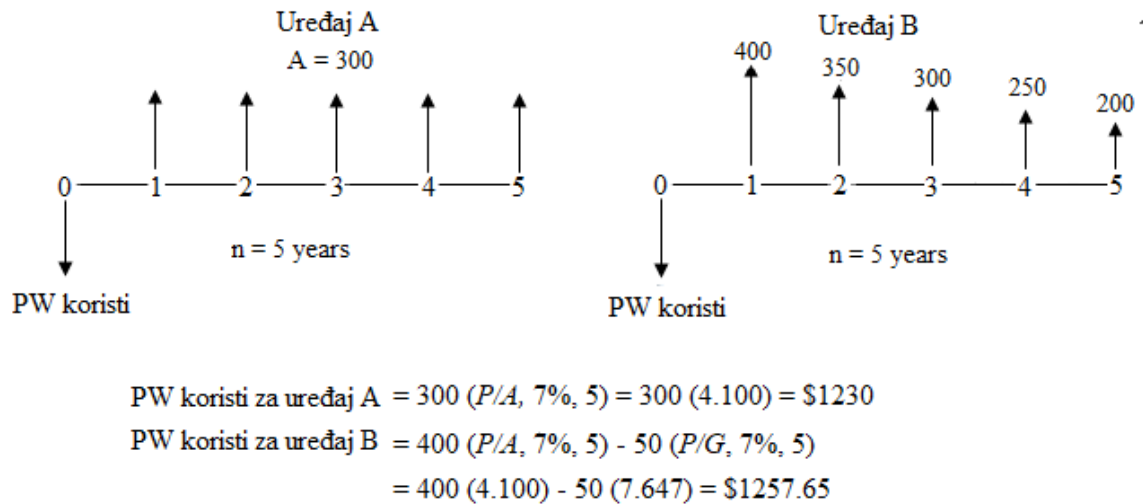
Analiza sadašnje vrijednosti najčešće se koristi za određivanje sadašnje vrijednosti budućih novčanih primanja i isplata. To pomaže kod određivanja sadašnje vrijednosti imovine koja ima proizvodni dohodak, na primjer nafta ili kuća za odmor. Ako su nam poznati budući prihodi i troškovi, možemo upotrebljavati prikladnu kamatnu stopu za izračunavanje sadašnje vrijednosti nekretnine, a to bi nam omogućilo dobru procjenu cijene po kojoj se nekretnina može prodati ili kupiti. Drugi pristup je odrediti vrijednost dionica ili obveznica na temelju očekivanih budućih koristi od njihovih posjedovanja. Kod analize sadašnje vrijednosti, potrebno je pažljivo odrediti vremensko razdoblje obuhvaćeno analizom. Obično određeni zadatak ima vremenski period u kojem mora biti dovršen. U tom slučaju, posljedice svake alternative moraju biti razmotrene za taj period koji se obično naziva period analize. U industrijama s tehnologijama koje se brzo mijenjaju, period analize je kratak, u industrijama sa stabilnijim tehnologijama (proizvodnja čelika), period analize je otprilike 10-20 godine, dok državne agencije koriste periode analize koji se pretežu kroz 50 ili više godina. U ekonomskoj analizi problema susreću se tri situacije perioda analize:

1. Životni vijek svake alternative je jednak periodu analize
2. Alternative imaju drugačiji životni vijek od perioda analize
3. Postoji beskonačni period analize, $n=\infty$.²

Prilikom odabira alternativa, ako postoji jedna alternativa, ona je financijski održiva ako je vrijednost PW veća od nule. Kod dvije ili više alternativa, izračuna se PW i odabere onaj projekt koji ima numerički veću vrijednost.

U nastavku je prikazan primjer kod kojeg je životni vijek svake alternative jednak periodu analize, a ilustracija primjera prikazana je na slici 4. Pretpostavka je da tvrtka razmatra dva mehanička uređaja kojima bi smanjila troškove u određenim situacijama, A i B. Oba uređaja koštaju \$1.000 i imaju životni vijek od pet godina. Kod uređaja A, očekivana ušteda je \$300 godišnje. Uređaj B osigurat će uštedu od \$400 za prvu godinu, a ta ušteda smanjivat će se za \$50 godišnje, tako će u drugoj godini uštedjeti \$350, u trećoj \$300 i tako dalje. Ako kamata iznosi 7%, pitanje je koji uređaj bi trebala tvrtka uzeti. Fiksni, odnosno ulazni trošak iznosi \$1.000 za oba uređaja. Odlučujući kriterij odluke jest odabrati alternativu s većom sadašnjom vrijednosti koristi. Prema slici 4., vidimo da uređaj B ima veću sadašnju vrijednost koristi i

stoga je to poželjnija alternativa. Kada bi zanemarili vremensku vrijednost novca, obje alternative donose korist od \$1.500 u petogodišnjem razdoblju. Uređaj B daje veću korist u prve dvije godine, a manju u zadnje dvije godine. Upravo taj brži tok koristi kod uređaja B rezultira većom sadašnjom vrijednosti.²

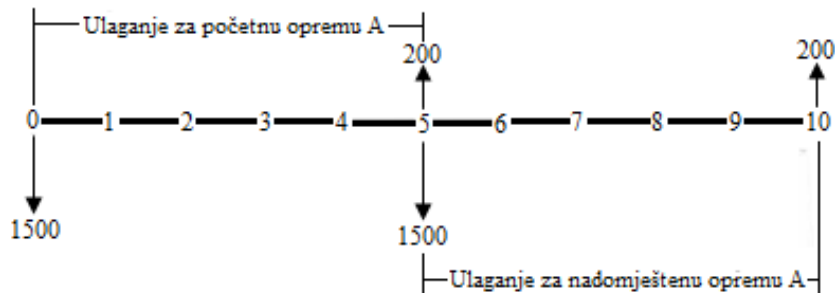


Slika 4. Primjer odabira alternativa kada je životni vijek alternativa jednak periodu analize²

Analiza sadašnje vrijednosti zahtjeva da razmatrani broj godina bude jednak za sve alternative. Ako broj godina nije jednak, alternative koje traju kraće bit će preferirane na osnovi niže sadašnje vrijednosti ukupnih troškova, iako možda nisu ekonomski isplativije. Postoje dva načina za analizu sadašnje vrijednosti alternativa s različitim životnim vijekom: procjena tijekom određenog perioda studija ili korištenje najmanjeg zajedničkog višekratnika života za svaki par alternativa. Ako je očekivani životni vijek duži od perioda analize, procijenjena tržišna vrijednost alternative koriste se kao „otpisana vrijednost“ u posljednjoj godini perioda analize.³ Nadalje je prikazan primjer u kojem se koristi najmanji zajednički višekratnik života za odabir preferirane alternative. Recimo da se razmatraju ponude za novu opremu za poštanski ured. Dva proizvođača dala su ponudu, A i B. Kod proizvođača A početni trošak je \$1.500, životni vijek je 5 godina, a otpisana vrijednost je \$200. Kod proizvođača B početni trošak je \$1.600, životni vijek 10 godina, a otpisana vrijednost je \$325. Kamata iznosi 7%. Sadašnja vrijednost troška za slučaj A je \$2.325, a za slučaj B \$1.435. S obzirom da životni vijek alternativa nije jednak, koristi se metoda najmanjeg višekratnika za odabir razdoblja analize. Uspoređuje se desetogodišnji život opreme B s početnom opremom

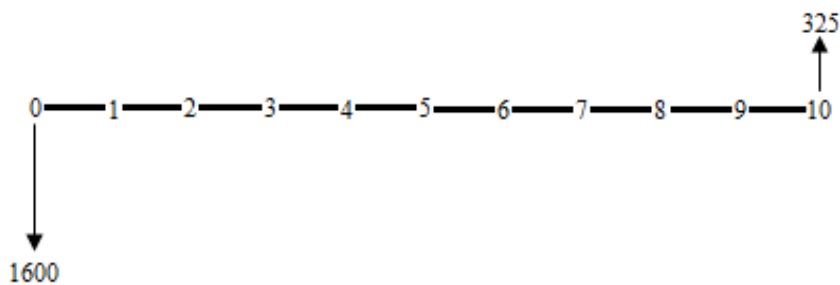
A, nadomještenom s opremom A u sljedećih 5 godina. Ekonomska analiza prikazana je na slici 5. Prema slici je vidljivo da je preferirana oprema B, zbog manje sadašnje vrijednosti troška.²

Oprema A



$$\begin{aligned}
 \text{PW troška} &= 1500 + (1500-200) (P/F, 7\%, 5) - 200 (P/F, 7\%, 10) \\
 &= 1500 - 1300 (0.7130) - 200 (0.5083) \\
 &= 1500 + 927 - 102 = \$2325
 \end{aligned}$$

Oprema B



$$\text{PW troška} = 1600 - 325 (P/F, 7\%, 10) = 1600 - 325 (0.5083) = \$1435$$

Slika 5. Primjer odabira alternativa kada životni vijek alternativa nije jednak periodu analize²

Treći slučaj u analizi sadašnje vrijednosti troškova jest kada postoji beskonačni period analize, $n=\infty$. Takva analiza susreće se na primjer kod izgradnje cesta, brana, cjevovoda i drugim sastavnicama nacionalne, državne ili lokalne infrastrukture, čija se potreba smatra trajnom. Ova posebna analiza naziva se kapitalizirani trošak. To je sadašnji iznos novca koji treba biti odvojen, po nekoj kamatnoj stopi, kako bi se ostvarila sredstva potrebna za pružanje usluge na neodređeno vrijeme. On je jednak kvocijentu godišnje isplate i kamatne stope. To se može predočiti jednadžbom:

$$P = \frac{A}{i}$$

gdje je P kapitalizirani trošak, A godišnja isplata, i kamatna stopa.²

3.2. Unutarnja stopa povrata (IRR)

Unutarnja stopa povrata (IRR-internal rate of return) je diskontirana stopa koja čini neto sadašnju vrijednost imovine jednaku tekućem trošku. Formalno, ako će imovina koja danas košta P_0 generirati tokove novca C_i u svakom razdoblju i za T perioda u budućnosti, onda je IRR jednaka vrijednosti r^* :

$$\sum_{i=1}^T \left[\frac{C_i}{(1 - r^*)^i} \right] - P_0 = 0$$

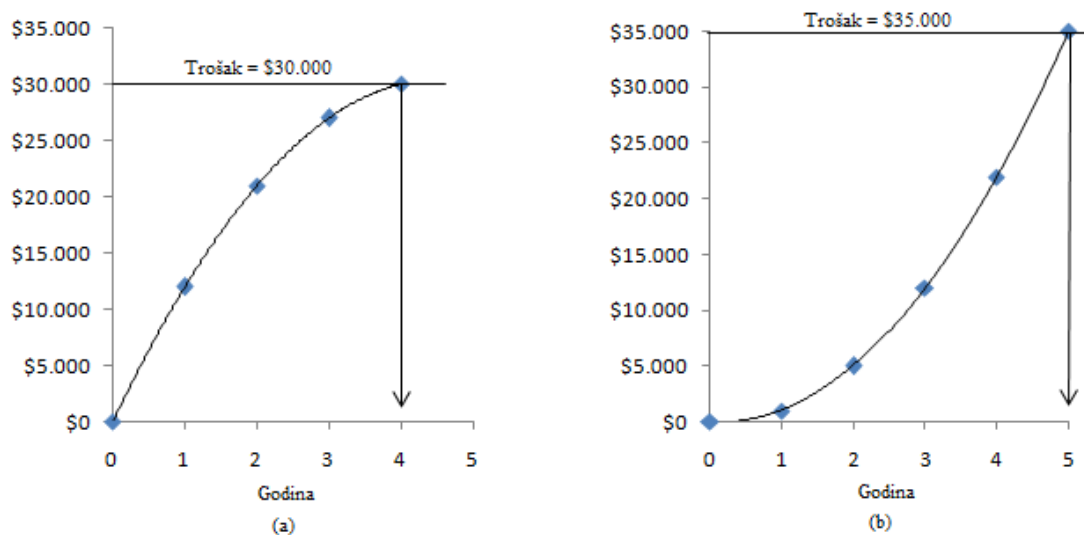
IRR u suštini mjeri očekivanu stopu povrata investicija. Ako IRR ulaganja premašuje trošak kapitala, trebalo bi se ulagati. IRR možda neće biti jedinstven ako su budući tokovi novca naizmjenično između pozitivne i negativne vrijednosti, a rangiranje alternativa s obzirom na ovaj kriterij neće biti isto kao s obzirom na metodu sadašnje vrijednosti.⁷

3.3. Diskontirano vrijeme povrata (DPB)

Diskontirano vrijeme povrata (DPB-discounted payback) predstavlja vrijeme potrebno da diskontirani budući pozitivni tokovi novca budu jednaki početnom ulaganju. Projekt je prihvatljiv ako je povrat manji od unaprijed određenih direktiva.⁶ Poduzeća i industrijske firme često su veoma zainteresirane za period povrata zato što brzi povrat investiranog kapitala znači da se on može prije ponovno upotrijebiti za druge svrhe. Međutim, ne smiju se zamijeniti brzina povrata investicija, mjerena periodom povrata, s ekonomskom efikasnošću. Prvi pojam označava brzinu kojom se uložena sredstva vraćaju tvrtki, a drugi uzima u obzir ukupnu profitabilnost ulaganja. Naveden je primjer kojim se objašnjava odabir alternative pomoću analize perioda povrata. Recimo da tvrtka kupuje proizvodnu opremu za novu tvornicu. Razmatrane su dva alternativna stroja za određenu operaciju. U tablici 2. dani su podaci potrebni za crtanje grafa pomoću kojeg se odabire preferirana alternativa.

Tablica 2. Primjer analize perioda povrata²

| | Stroj A | Stroj B |
|---|---|--|
| Trošak | \$30.000 | \$35.000 |
| Neto godišnja korist nakon što su oduzeti svi godišnji troškovi | \$12.000 za prvu godinu nakon toga smanjenje za \$3.000 na godinu | \$1.000 za prvu godinu nakon toga povećanje za \$3.000 na godinu |
| Korisni život u godinama | 4 | 8 |



Slika 6. Grafovi za analizu perioda povrata za stroj (a) A i (b) B²

Stroj A ima pad godišnje koristi, dok stroj B ima sve veću godišnju korist. Iz slike 6. Vidljivo je da stroj A ima 4-godišnje razdoblje povrata, dok stroj B ima 5-godišnje razdoblje povrata. Odabran je stroj A kako bi se minimizirao period povrata.²

4. ANALIZA OSJETLJIVOSTI

Analiza osjetljivosti ispituje kako nesigurnost u procjenama tokova novca utječe na preporučene odluke. Ispituje nesigurnost svih podatkovnih stavki koje uzrokuju problem kod toka novca. To uključuje sam tok novca, kamatnu stopu, pravilo amortizacije, poreznu stopu, količinu prodaje i tako dalje. Kao grupa, ove stavke se nazivaju elementi toka novca. Ispitivanjem njihove nesigurnosti i uspoređivanjem njihovog utjecaja, analizom osjetljivosti može se identificirati koja nesigurnost je najvažnija. Elementi toka novca mogu biti nesigurni

zbog mjernih pogrešaka, nejasne specifikacije ili promjenjive budućnosti. Tako na primjer broj praznika i prekovremenog rada, broj zaposlenika i broj dana koji se trebaju platiti tijekom mjeseca utječu na mjerenje trenutnog radnog učinka i mjesečnog radnog troška. Studije izvedivosti često imaju nejasne specifikacije, a nerijetko i dobro definirani građevinski projekti nisu potpuno određeni. Određivanje veličine zgrade i soba uvelike utječe na cijenu gradnje. U ranoj fazi dizajna, podaci o unutarnjim i vanjskim finim obradama je izostavljena, iako odabir pločica, namještaja i drugih elemenata bitno utječe na cijenu. Nadalje, procjene kao što su potražnja za proizvodom, količina korozije u cjevovodima na naftnom polju, povećanje potražnje za električnom energijom su bitno nesigurne jer ovise o budućnosti koja se djelomično može predvidjeti. Razlozi zbog kojih se provodi analiza osjetljivosti su donošenje boljih odluka, odlučivanje koji procijenjeni podaci trebaju usavršavanje te obraćanje pažnje na ključne upravne stvari tijekom izvršavanja.²

Prvi korak analize osjetljivosti trebao bi biti odrediti granice svakog elementa toka novca. Neki tokovi mogu biti sigurni, no neki nisu. Obično se nesigurnost prikazuje kao postotak oko najvjerojatnije vrijednosti. Npr., godišnji operativni trošak ili trošak na kupljenu opremu dan je sa $\pm 10\%$, odnosno nalazi se u intervalu između 90% i 110% od najvjerojatnije vrijednosti. Stvarni trošak konstrukcije za složeno postrojenje može biti između 70% i 150% od procijenjenog reda veličine. Granice nesigurnosti podataka su asimetrične. Rang reda veličine, budžeta i dane količine procjene je širi u pozitivnom smjeru nego u negativnom jer je, nažalost, veća vjerojatnost da će stvari krenuti krivim putem. Zato je vjerojatnije da će troškovi rasti, prihodi će padati, a kašnjenja će biti sve veća. Vremenska vrijednost novca osigurava da neki tokovi novca igraju veliku ulogu u kalkuliranju početne vrijednosti i ekvivalentnih godišnjih troškova. Tok novca u ranijim godinama je puno važniji od tokova novca nakon N godina, budući da su kasnije tokovi novca više diskontirani. Tokovi novca koji se javljaju svake godine, kao troškovi rada i prihodi od prodaje važniji su od troškova koji se javljaju jednom, kao remont.⁵

Nakon definiranja granica nesigurnosti za svaku varijablu, sljedeći korak je ispitati kako te nesigurnosti mijenjaju ekonomske kriterije izabrane iz sadašnje vrijednosti, ekvivalentne godišnje vrijednosti, unutarnje stope povrata itd. Za definiranje granica svake varijable, moguće je analizirati relativnu osjetljivost sadašnje vrijednosti na svaku varijablu, a također je moguće analizirati da li promjene u varijablama mogu nagovijestiti različite odluke. Umjesto donošenja odluka pomoću vrlo nesigurnih podataka, poželjnije je prikupiti više podataka, a umjesto oslanjanja na alternative riskirajući velike gubitke, moguće je izraditi nove

alternative. Informacije o relativnoj osjetljivosti mogu biti sumirane u tablice ili u dvije različite vrste dijagrama, Tornado dijagram i *spider* dijagram. *Spider* dijagram je najbolji način za naglasiti vezu između nesigurnosti svakog elementa toka novca i ekonomskih kriterija projekta. *Spider* dijagram s četiri varijable odlučno prikazuje koliko (%) se svaka varijabla može mijenjati i koliko svaka varijabla utječe na sadašnju vrijednost. Tornado dijagram fokusiran je na ekonomske kriterije – prikazuje raspon vrijednosti koje može postići svaka varijabla. „Dimnjak“ Tornado dijagrama izrađen je smještajući varijable s najvećim utjecajem na sadašnju vrijednost na vrh, a one s najmanjim utjecajem na dno. Lako može sažeti relativnu osjetljivost 10-20 varijabla za kompleksan problem.⁵

4.1. Usporedba Tornado i *spider* dijagrama⁸

Prilikom provedbe analize osjetljivosti, treba uzeti u obzir:

1. Razumne granice promjene za svaku nezavisnu varijablu
2. Utjecaj promjena na sadašnju vrijednost ili neku drugu mjeru kvalitete
3. Maksimalni utjecaj svake nezavisne varijable na ishod
4. Iznos promjene potreban za svaku nezavisnu varijablu čija krivulja prelazi preko linije loma.

Tornado i *spider* dijagrami bazirani su na jednadžbi modela i na relativnoj analizi osjetljivosti. Ishod osnovnog slučaja je deterministički rezultat. To definira vertikalnu os na Tornado dijagramu, to jest središte na *spider* dijagramu. Što je veća složenost *spider* dijagrama, on može prenijeti više informacija. Tornado dijagram prikazuje samo vrijednost ishoda (y-os) na kraju svake krivulja *spider* dijagrama. x-os tih završnih točaka na krivulji *spider* dijagrama opisuje granicu svake nezavisne varijable. Nagib krivulja *spider* dijagrama opisuje relativnu promjenu ishoda za jedinicu promjene nezavisne varijable. Oblik krivulje *spider* dijagrama također prikazuje da li je prisutna linearna ili nelinearna ovisnost. Tornado dijagram lakši je za konstruirati te se može konstruirati za više varijabli nego *spider* dijagram.

Prilikom konstrukcije ovih dijagrama, ponekad zna doći do ozbiljnih pogrešaka. Zbog svoje jednostavnosti, Tornado dijagrame je lako ispravno napraviti. Međutim, neoprezan korisnik mogao bi krivo zaključiti da smanjenje nezavisne varijable odgovara smanjenju ishoda. Analitičari *spider* dijagrama trebali bi početi analizu definiranjem razumnih granica neovisnih varijabli, pri čemu oni često koriste plus i minus za isti proizvodni postotak. Na primjer, koriste postotak od 0 do 200% za sve varijable. Ova pogreška je ozbiljna jer se time proteže krivulja *spider* dijagrama do lijevih i desnih rubova dijagrama. Tornado i *spider* dijagrami

tada bi pokazivali pogrešne ekstremne vrijednosti ishoda te bi bila preuveličana neizvjesnost za neke nezavisne varijable. U Tornado dijagramu bi se pri tome pogrešno odredio poredak nezavisnih varijabli. Treća pogreška je ignoriranje nesigurnosti granica. U *spider* dijagramu većina varijabli pokazuje padajući ili rastući povratak do skale (nagib apsolutne vrijednosti se smanjuje ili povećava) ili ravnu liniju, to jest proporcionalnu ovisnost ishoda. U inženjerskoj ekonomiji, početni trošak, periodična plaćanja ili primici i slično, obično imaju linearni odnos sa sadašnjom vrijednosti. Varijable kao što su diskontirana stopa, inflacija, životni vijek stroja, padajući se približavaju skali.

Sljedeći primjer predočuje kako izgledaju Tornado i *spider* dijagrami. U tablici su prikazane vrijednosti osnovnih slučaja i definirani pojmovi za jednostavan ekonomski model jednog projekta.

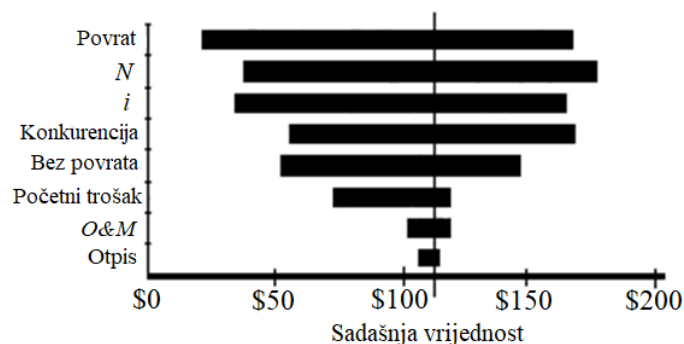
Sadašnja vrijednost u ovom primjeru može se izračunati iz jednadžbe:

$$PW = -FirstCost + Salvage \times (P/F, i, N) - O\&M \times (P/A, i, N) + Revenue \times (1 - FracComp) \times (P/A, i, N - NNoRev) \times (P/F, i, NNoRev)$$

Prilikom crtanja *tornado* dijagrama, kao što je rečeno, pri vrhu su smještene varijable koje imaju najveći utjecaj na sadašnju vrijednost. Kretajući se dijagramom prema dolje, smanjuje se i utjecaj varijabli na sadašnju vrijednost. Dakle, *tornado* dijagram naglašava koja je varijabla najosjetljivija. Na slici 7. prikazan je *tornado* dijagram za primjer opisan u tablici 3.

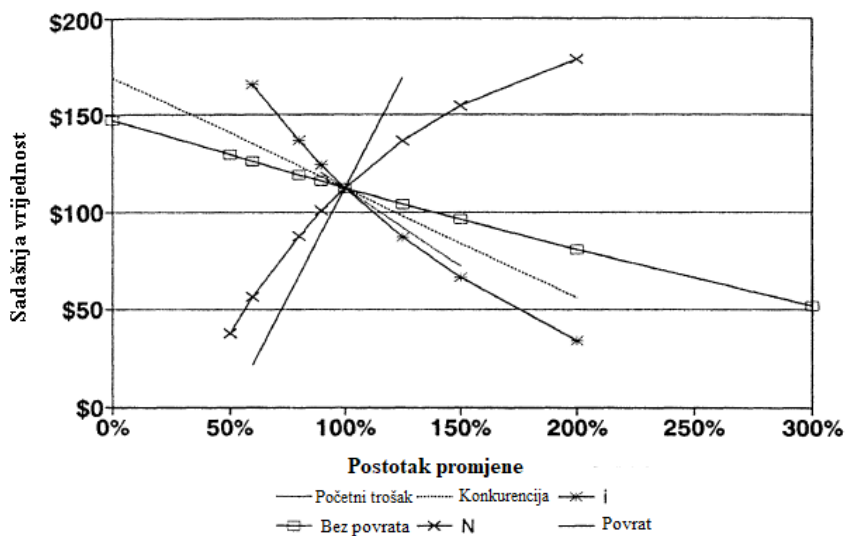
Tablica 3. Skup parametara potrebnih za model projekta

| Varijabala | Donja granica | Vrijednost osnovnog slučaja | Gornja granica |
|---|---------------|-----------------------------|----------------|
| Početni trošak (FirstCost) | 90% | \$120,000 | 150% |
| Otpis (Salvage) | 0% | \$20,000 | 150% |
| Životni vijek (<i>N</i>) | 50% | 12 godina | 200% |
| Diskontirana stopa (<i>i</i>) | 60% | 10% | 200% |
| Godišnji trošak (O&M) | 80% | \$6,000 | 125% |
| Godišnji povrat (Revenue) | 60% | \$55,000 | 125% |
| Broj godina bez povrata (NNoRev) | 0% | 1 | 300% |
| Udio prihoda izgubljen od konkurencije (FracComp) | 0% | 0.2 | 200% |



Slika 7. Primjer *tornado* dijagrama

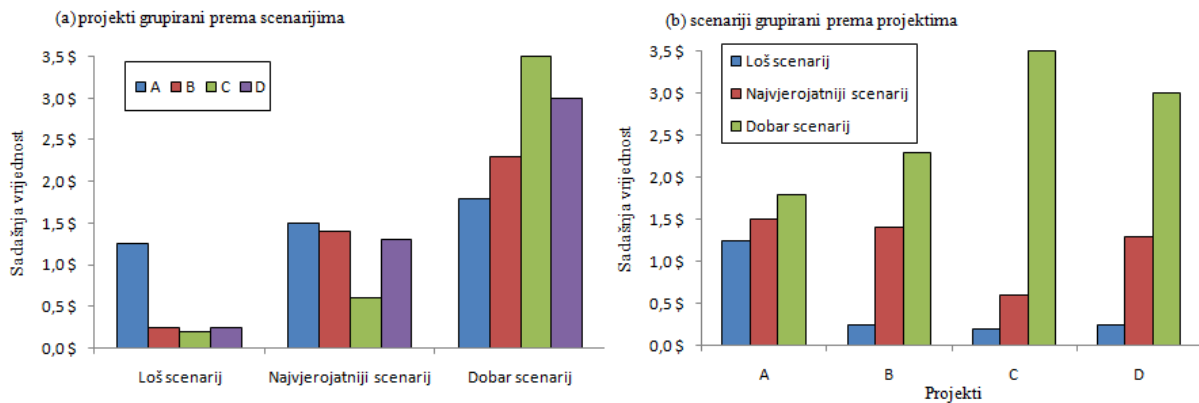
U *spider* dijagramu crta se jedna krivulja za svaku pojedinu varijablu. Kako bi dijagram bio pregledniji, idealno je prikazati četiri do pet varijabli. *Spider* dijagram koji odgovara podacima iz tablice 3. prikazan je na slici 8.



Slika 8. Primjer *spider* dijagrama

4.2. Višestruke alternative⁵

Broj „pauka“ u *spider* dijagramu odgovara broju alternativa, a kako smo već naglasili, idealan broj elemenata toka novca prikazan na *spider* dijagramu bio bi četiri do pet. Na slici 9. prikazani su grafički prikazi scenarija s višestrukim alternativama. Scenarij je reprezentativna, vjerodostojna kombinacija elemenata toka novca.



Slika 9. Međusobno isključivi projekti i scenariji

Grupiranjem sadašnje vrijednosti prema scenarijima (a), doznajemo koji projekt je najbolji za pojedini scenarij. Projekt A je najbolji pod lošim scenarijima i malo je bolji od projekata B i D pod najvjerojatnijim scenarijima. Projekt C je najbolji pod dobrim scenarijima, ali je najlošiji u druge dvije skupine. Grupiranjem sadašnje vrijednosti po projektima (b), doznajemo da projekt A ima najstabilnije izvođenje unutar različitih scenarija, a projekt C najmanje stabilno.

5. RIZIK

5.1. Vjerojatnost i raspodjela vjerojatnosti⁵

Vjerojatnost se definira kao mjera očekivane učestalosti. Vjerojatnost je izvedena iz:

- Povijesnih podataka;
- Matematičkih modela;
- Subjektivnih procjena.

Vjerojatnost da će padati kiša ili životni vijek računala izvedena je preko povijesnih podataka. Vjerojatnost koja strana kovanice će nam se okrenuti ili vjerojatnost nekih nasumičnih događaja može biti izvedena matematički preko modela. Vjerojatnost koja konkurentna tvrtka će iznijeti svoj projekt može biti subjektivno procijenjena od strane starijih i iskusnijih vlasti ili mladih inženjera. U svakom slučaju, vjerojatnost mora zadovoljiti tri aksioma:

1. Sve vjerojatnosti su veće ili jednake 0 (0-nikad)
2. Sve vjerojatnosti su manje ili jednake 1 (1-uvijek)
3. Zbroj vjerojatnosti međusobno isključivih i kolektivno iscrpnih ishoda jednak je 1.

Skup međusobno individualnih ishoda s njihovom vjerojatnosti nazvan je raspodjela vjerojatnosti. S obzirom na to da je vjerojatnost duga riječ, dogovoreno je da će se označavati kraće. Vjerojatnost događaja A označava se kao $P(A)$. Vjerojatnost da je sadašnja vrijednost veća od \$875 označava se $P(PW>875)$.

Očekivana vjerojatnost, E , najčešće je upotrebljavana mjera raspodjele vjerojatnosti. Svaka moguća vrijednost procijenjena je množenjem vrijednosti s njenom vjerojatnosti, a rezultati su zatim zbrojeni. Pomoću jednostavnog primjera objašnjena je jednadžbu kojom se izračunava očekivana vjerojatnost. Neka zgrada se planira graditi u kasnu jesen. Sudeći po povijesnim zapisima, vjerojatnost sunčanog vremena je 20%, a vjerojatnost rane zime je 30%. Ukoliko bi bilo sunčano, izgradnja bi koštala \$225.000, a u slučaju rane zime, troškovi izgradnje iznosili bi \$295.000. Ako bi vrijeme bilo između ova dva ekstrema, izgradnja bi koštala \$250.000. Kako bi izračunali kolika je vjerojatnost da vrijeme bude između dva ekstrema, koristi se treći aksiom vjerojatnosti prema kojem suma svih vjerojatnosti mora biti 1. Dakle, $1-0,2-0,3=0,5$, tj, vjerojatnost da vrijeme bude između dva ekstrema je 50%. Opća formula za izračunavanje očekivane vrijednosti glasi:

$$E = \sum_i x_i \times P(x_i)$$

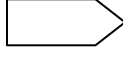


Dakle, za ovaj primjer, prosječan početni trošak dobit ćemo množenjem pojedinog početnog troška s njegovom vjerojatnosti:

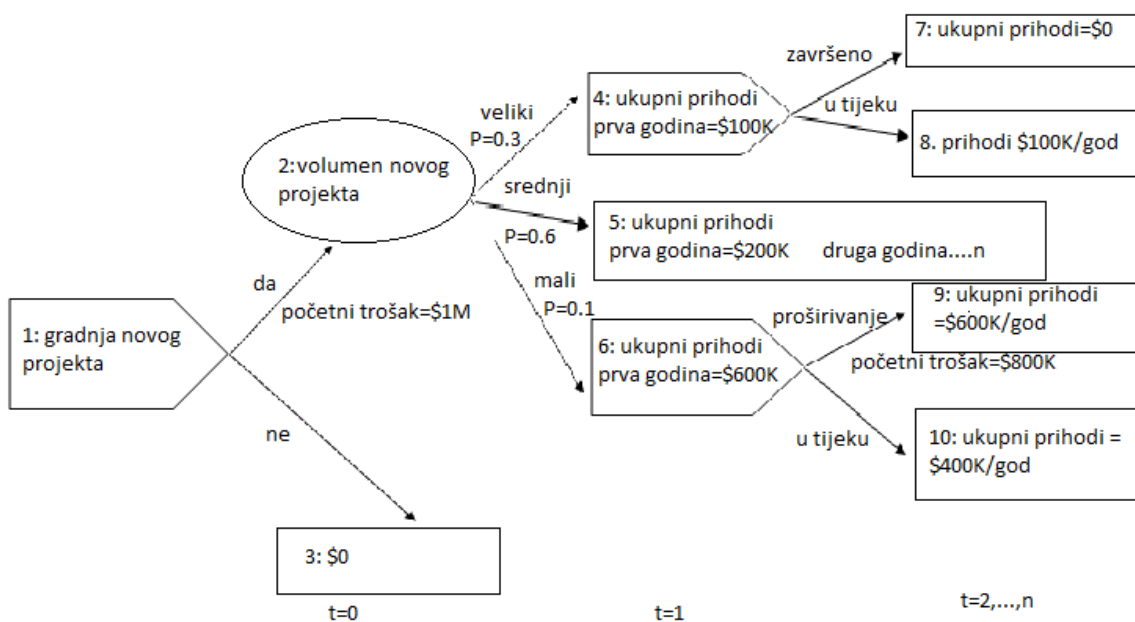
$$E_{\text{početni trošak}} = 0,2 \times 225.000 + 0,5 \times 250.000 + 0,3 \times 295.000 = \$258.500$$

Očekivana vrijednost je blizu srednje vrijednosti. Vrijednosti od \$258.500 koristi se u daljnjim proračunima očekivane sadašnje vrijednosti i za druge procijene projekta.

Kada se bira između alternativa, najbolji izbor je ona s najvećom očekivanom vrijednosti ili s najmanjom očekivanom cijenom. Računa se sadašnju vrijednost za svaku alternativu i bira ona koja ima najveću ili se računa ekvivalentni godišnji trošak i bira ona koja ima najmanji. Prvi korak je izračunati očekivanu vrijednost za svaki element toka novca. Na primjer, ako postoji raspodjela vjerojatnosti za početni trošak, godišnji prihod, trošak remonta, onda se mogu očekivati tri očekivane vrijednosti. Sljedeći korak je izračunati sadašnju vrijednost, ekvivalentni godišnji trošak ili unutarnju stopu povrata.

5.2. Stablo ekonomskih odluka

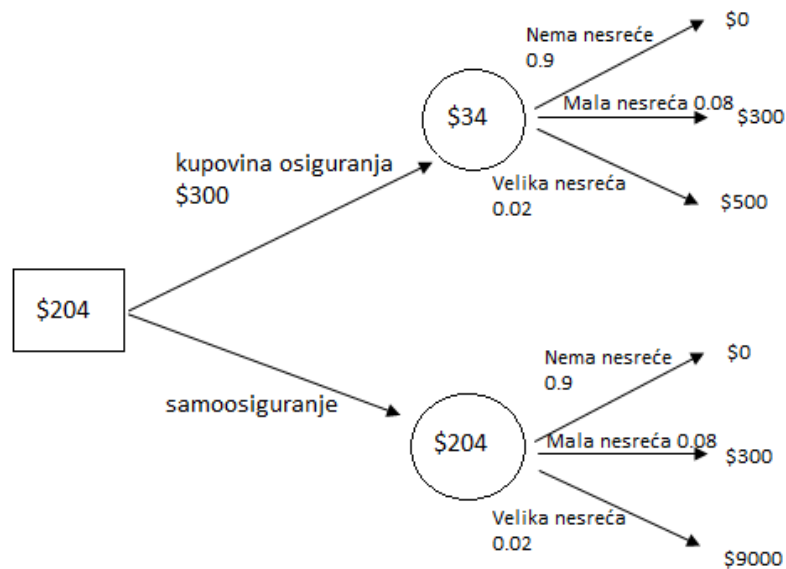
Problemi u inženjerskoj ekonomiji često su izazvani posljedicama odlučivanja koje mogu biti povezane sa slučajnim pojavama. Umjesto tablica, često se koriste stabla ekonomskih odluka kako bi se objasnila struktura problema. Stablo ekonomskih odluka sastoji se od čvorova i grana. Čvorovi mogu biti čvor odluke, koji se označava simbolom , čvor prilike  ili čvor ishoda . Detalji kao što su vjerojatnost ili troškovi, mogu biti dodani na grane koje povezuju čvorove. Prilikom crtanja stabla odluka, najprije se grafički prikazuje organizacija i struktura problema, a grane i čvorovi se dodaju tako dugo dok problem nije u potpunosti opisan. Ako se odluka mora dovesti prije nego se zna ishod bilo kojeg slučajnog događaja, onda je prvi čvor odlučujući čvor.



Slika 10. Primjer stabla ekonomskih odluka²

Stablo odluke ilustrirano na slici 10. opisuje problem počevši od odluke koja se mora napraviti, a zatim se logičnim redoslijedom dodaju čvorovi prilike i ishoda. Na čvorovima odluke glavni kriterij je da se maksimizira sadašnja vrijednost ili minimizira ekvivalentni godišnji trošak. Na čvorovima prilike treba se izračunati sadašnja vrijednost i ekvivalentni godišnji trošak. Nakon što su procijenjeni svi čvorovi koji se granaju od čvora, može se procijeniti i izvorni čvor. Ako je čvor odluke izvorni čvor, bira se grana s najboljom sadašnjom vrijednosti ili ekvivalentnim godišnjim troškom te se ta vrijednost zapiše u čvor. Ako je čvor prilike izvorni čvor, izračunava se očekivana vrijednost i upisuje u čvor.²

Osim sadašnje vrijednosti i ekvivalentnog godišnjeg troška, mogu se koristiti i drugi kriteriji kao što je rizik, koji je objašnjen uz sliku 11.



Slika 11. Primjer stabla odluka - osiguranje auta⁵

Na slici je prikazan primjer osiguranja auta u slučaju nesreće. Prvi čvor je čvor odluke s dvije alternative za sljedeću godinu – potrošiti \$300 za osiguranje u slučaju sudara s \$500 odbitka ili odabrati samoosiguranje za oštećenje imovine. Nakon donošenja odluke, nalazi se čvor prilike za nesreće različitih okolnosti. Svaka grana ima vjerojatnost od 0 do 1, a suma vjerojatnosti svih grana je 1. Budući da su navike vozača jednake sa i bez osiguranja, vjerojatnost nesreće je jednaka sa i bez osiguranja. Postoji 90% vjerojatnosti da neće doći do nesreće te godine, 8% vjerojatnosti da će se dogoditi mala nesreća (trošak do \$300, što je manje od odbitka) i 2% šanse da će se dogoditi velika nesreća s potpunim oštećenjem vozila (trošak od \$9000). Kada je drvo popunjeno, slijedi analiza očekivane vrijednosti, kako bi se odabrala najbolja alternativa. Ovdje se koristi princip maksimiziranja sadašnje ili ekvivalentne godišnje vrijednosti. Očekivane vrijednosti troška sa i bez osiguranja mogu se izračunati:

$$E_{\text{nesreća s osiguranjem}} = 0,9 \times 0 + 0,08 \times 300 + 0,02 \times 500 = \$34$$

$$E_{\text{nesreća bez osiguranja}} = 0,9 \times 0 + 0,08 \times 300 + 0,02 \times 9000 = \$204$$

Ovi očekivani troškovi upisuju se u čvor prilike, gdje se kombiniraju s troškovima za svaku odluku kako bi se vidjelo da samoosiguranje košta \$204 na godinu, što je \$130 manje od kupnje osiguranja i plaćanja odbitka koji ukupno iznose \$334. Ovakav ishod ne iznenađuje,

budući da prilikom kupnje osiguranja treba podmiriti troškove rada osiguravajuće kuće i očekivanu vrijednost isplate. Ovakav primjer dokazuje da se samo na temelju očekivane vrijednosti ne može donijeti odluka. Kupnjom osiguranja, očekivana vrijednost je za \$130 viša na godinu, ali osigurava maksimalni gubitak od \$500, a ne \$9000. Tih \$130 na godinu isplatilo bi se utrošiti kako bi se izbjegao takav gubitak. Ako se gleda dugoročno, u kasnijim godinama moguće je proširiti, ugovoriti i modificirati djelovanje i time povećati prihode i smanjiti troškove. Neke alternative su fleksibilnije na te promjene i one će biti mnogo vrijednije nego što bi to predvidjela analiza očekivane vrijednosti.⁵

5.3. Kompromis rizika i povrata

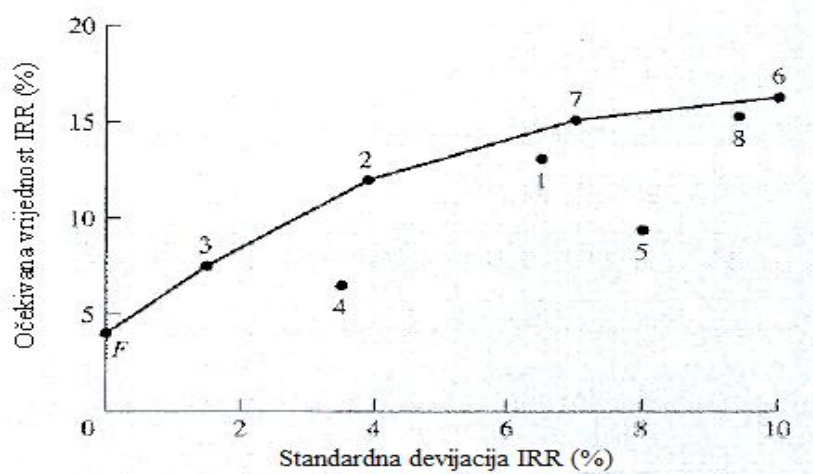
Rizik se može definirati kao vjerojatnost dobivanja ishoda drugačijeg od očekivanog, odnosno goreg od očekivanog. Rizik i povrat uzimaju se u obzir tako da tvrtke mogu uravnotežiti ciljeve maksimiziranjem sadašnje vrijednosti i minimiziranjem troška. Jedna od mjera rizika jest standardna devijacija, σ , koja predstavlja raspršenost oko očekivane vrijednosti. Najprije se računa raspršenost, razlika između mogućeg ishoda (X) i prosjeka (μ), $X-\mu$. Ta vrijednost se kvadrira za svaki ishod tako da i pozitivno i negativno odstupanje postanu pozitivne vrijednosti. Zatim se računa očekivana vrijednost ili prosječna težina tog odstupanja. Rezultat je kvadratni korijen prosječne težine srednje vrijednosti kvadratnog odstupanja, $\sqrt{E[(X - \mu)^2]}$. Ova formula vrijedi za jednako vjerojatne podatke iz slučajno uzorkovanog uzorka. Prilikom računanja napamet ili pomoću kalkulatora, lakše je koristiti formulu:

$$\sigma = \sqrt{E(X^2) - [E(X)]^2} = \sqrt{\sum_i x_i^2 \times P(x_i) - [\sum_i x_i \times P(x_i)]^2}$$

Riječima, ovo je kvadratni korijen razlike prosjeka kvadrata i kvadrata prosjeka. Ukoliko se izostavi korijen, tj. kvadriranjem standardne devijacije, dobiva se varijanca, σ^2 . Preferira se korištenje standardne devijacije budući da je u istim jedinicama kao očekivana vrijednost. Varijanca bi imala jedinicu “dolar na kvadrat“, što ne postoji.⁵

Pojam kompromisa rizika i zarade može se objasniti pomoću sljedećeg primjera. Ako se zamisli da pojedinac ili tvrtka kupuje osiguranje kako bi minimizirala ili eliminirala rizik od određene vrste nesreća. Vlasnici kuća i vozila kupuju osiguranje od odgovornosti, požara, krađe, sudara. Poduzeća kupuju osiguranje od odgovornosti, požara i osiguranje ključnih osoba. U svakom slučaju, troškovi rada osiguravajućih kuća i njihove dividende osiguravaju da ono što je plaćeno bude manje od onog što je uzeto. Kupovanje osiguranja može biti pametna odluka. Smrt ključne osobe u nezgodnom trenutku može uzrokovati bankrot tvrtke. Isto tako, požar može dovesti do bankrota tvrtke ili obitelji. Zato su mali određeni iznosi

osiguranja obično bolje rješenje od mogućeg neosiguranog gubitka. Najvažnije je balansirati rizik i povrat. Ponekad potencijalni gubitak nije katastrofalan i povećanje rizika mora biti uravnoteženo s povećanjem povrata. Tvrtke žele projekte koji imaju veliku očekivanu vrijednost za sadašnju vrijednost i ekvivalentnu godišnju vrijednost te malu standardnu devijaciju. Za početak je potrebno izračunati očekivanu vrijednost i standardnu devijaciju za svaku alternativu. Ponekad će alternativa biti dominantna jer će imati visoku očekivanu vrijednost i manji rizik od bilo koje druge alternative. Međutim, mnoga istraživanja u inženjerskoj ekonomiji i financijama usmjerena su na kompromise u kojem nijedna alternativa nije dominantna. Grafikon koji prikazuje kompromis rizika i povrata jedan je od načina da se zajedno razmotre te dvije stavke, a jedan takav grafikon prikazan je na slici 12. Rizik mjeren standardnom devijacijom prikazan je na x-osi, a povrat mjeren očekivanom vrijednosti prikazan je na y-osi.⁵

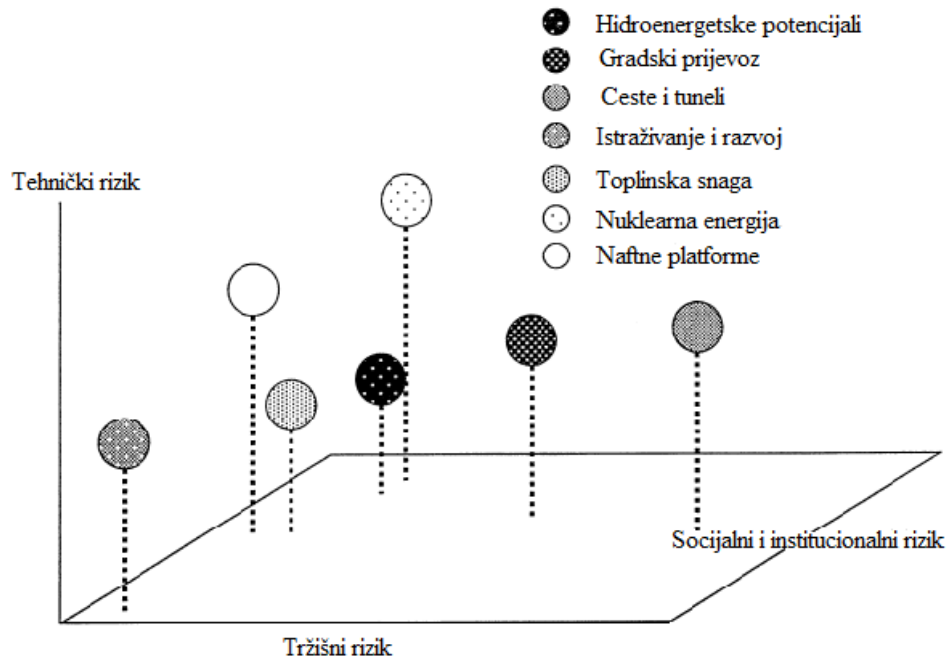


Slika 12. Primjer grafikona kompromisa rizika i povrata²

Cilj je postići što veći očekivani povrat i zato treba odabrati projekte koji se nalaze što je moguće više. Također se preferira i niži rizik, pa se biraju projekti koji se nalaze više nalijevo. Gledajući sliku 12., odmah se mogu eliminirati projekte 4 i 5 jer su oni dominantni projekti, a već je ranije spomenuto da se oni ne preferiraju u inženjerskoj ekonomiji. Projekt 3 je dominantan nad projektom 4 jer ima veći očekivani povrat i niži rizik. Iz istog razloga su projekti 1, 2 i 7 dominantni nad projektom 5. Linija koja povezuje F, 3, 2, 7 i 6 naziva se efektivna granica. Točka F prikazuje povrat bez rizika gdje je standardna devijacija jednaka \$0.²

5.4. Analiza rizika

Rizici se mogu razlikovati ovisno o vrsti projekta. Na slici 13. prikazani su neki projekti na kojima će se razmotriti rizici.



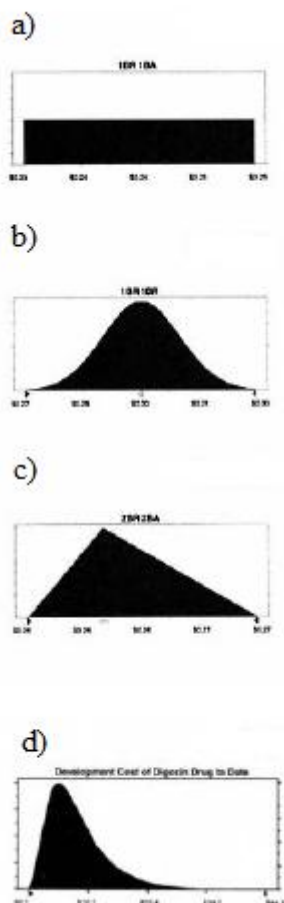
Slika 13. Primjeri projekata i razine rizika⁹

Naftne platforme tehnički su zahtjevne te su obično suočene s malim institucionalnim rizikom budući da se nalaze daleko od pažnje javnosti te su društveno poželjne zbog visokih prihoda koje donose zajednici i državi. Projekti vezani uz hidroenergetske potencijale nisu toliko zahtjevni što se tiče inženjeringa, ali nisu društveno prihvatljivi. Projekti vezani uz nuklearnu energiju predstavljaju veliki tehnički, socijalni i institucionalni rizik. Zbog nepoznate formacije stijena, projekti vezani uz izgradnju cesta i tunela izrazito su tehnički riskantni. Ukoliko se koriste korisničke pristojbe, veliki je i socijalni rizik, a tržišni rizik može biti velik ako ih financiraju privatni sponzori pod koncesijskim programima. Projekti gradskog prijevoza obično uključuju podzemni geološki rad, pa predstavljaju tehnički rizik. Istraživački i razvojni projekti predstavljaju znanstvene izazove te su suočeni s manjkom društvene prihvatljivosti i tržišnim poteškoćama.⁹

Ukoliko se želi procijeniti vjerojatnost prekoračenja troškova i količina slučajeva potrebnih za smanjenje vjerojatnosti prekoračenja na prihvatljivu razinu, koristi se računalna *Monte Carlo* analiza. Ona omogućuje inženjeru da brzo istraži velik broj scenarija kako bi se odredilo optimalno rješenje za gotovo bilo koju ekonomsku odluku. Osim što softver pruža inženjeru

da izbjegne prekoračenja na bilo kojoj razini vjerojatnosti, on identificira one stavke unutar procjene koje najznačajnije doprinose projektnom riziku, kao i one koje nude širok spektar mogućnosti. *Monte Carlo* simulacija razvijena je za vrlo precizne primjene (primjerice atomsku bombu) i kao takva zahtjeva veliku točnost i preciznost u unosima podataka i dobro definiranu funkciju raspodjele vjerojatnosti za različite varijable. Ukoliko se prilikom rada ne pridaje dovoljno pažnje ili se računalna analiza ne provodi ispravno, dolazi do izloženosti odluke, što uzrokuje veći rizik od procijenjenog. Kod analize projekta, menadžeri su oni koji gledaju koliko je velika ekonomska izloženost. Izloženost se definira kao potencijalni budući gubitak zadanog događaja bez mogućnosti oporavka. Rijetko koji menadžer će prihvatiti projekt s niskom vjerojatnošću uspjeha i velikom izloženosti. Upravo ta vjerojatnost uspjeha i stvarna izloženost mogu se izračunati *Monte Carlo* simulacijom. Ako se, primjerice, provede analiza rizika i utvrdi da projekt ima 80% vjerojatnosti za uspjeh, a izloženost iznosi 45%, menadžeri će htjeti pogledati rangirani popis rizika i mogućnosti, sazvat će tim i pokušati naći alternativne strategije i taktike. Te alternative mogu biti testirane u *Monte Carlo* simulaciji. Dakle, ona nije samo dobar alat za procjenu trenutnog plana, već je i odličan alat za razvijanje boljeg.¹

Rezultati *Monte Carlo* simulacije mogu se prikazati grafički, kako je prikazano na slici 14. Pod a) dan je primjer prikaza rezultata u obliku jednolike raspodjele, pod b) normalne raspodjele, pod c) trigonalne raspodjele te pod d) logaritamske raspodjele.



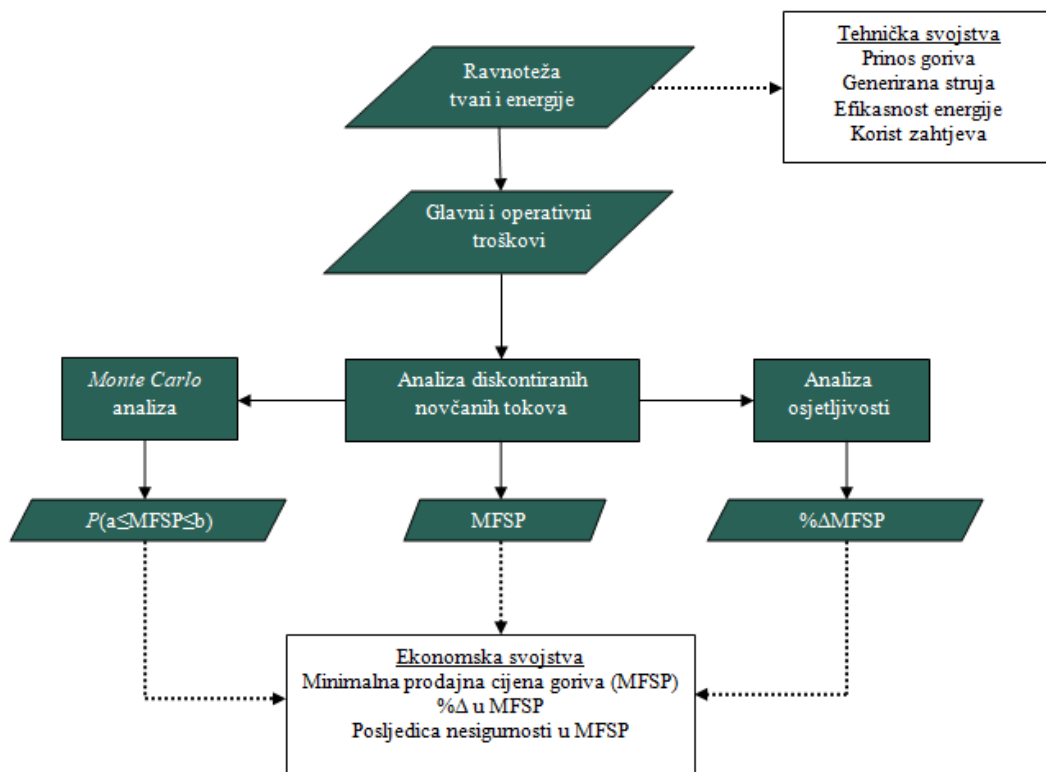
Slika 14. Primjeri rezultata dobivenih Monte Carlo simulacijom¹⁰

6. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA BIOGORIVA, STUDIJA SLUČAJA¹¹

Emisija CO₂ iz izgaranja fosilnih goriva i industrijski procesi ključni su izvor globalnih antropogenih emisija stakleničkih plinova i povezani su s naglim rastom globalnih srednjih temperatura od početka industrijske revolucije. Međunarodni konsenzus nastoji provoditi propise o emisijama te uvodi politike kojima se potiče upotreba alternativa fosilnim gorivima. Do 2050., očekuje se smanjenje emisije CO₂ za 13% , a biogoriva bi trebala činiti 27% globalnih transportnih goriva. Biomasa se može pretvoriti u biogorivo putem tri glavne metode, uključujući kemijske, biokemijske i termokemijske procese. Prva generacija biogoriva dobivena su iz šećera i lipida koji se kemijskim i biokemijskim pretvorbama ekstrahirani iz usjeva. Većina komercijalno dostupnih biogoriva su prve generacije. Druga generacija biogoriva uključuje termokemijske i biokemijske procese pretvorbe, a dolazi iz izvora koji nisu jestivi, lignocelulozna biomasa, poljoprivredni otpad i slično. Treća i četvrta

generacija biogoriva dobiva se iz mikroalga i brzorastućih energetskih usjeva. Bio-ulje može se nadograditi u napredna biogoriva tradicionalnim rafinerijskim procesima, hidroprocesom i katalitičkim krekiranjem. Katalitičko krekiranje je alternativni način poboljšanja bio-ulja, a uključuje niz reakcija-dehidrataciju, pucanje, deoksigeniranje i polimerizaciju. Produkti ovih reakcija su plin, organske tekućine, aromatski i alifatski ugljikovodici, voda i koks.

Tehno-ekonomska analiza je vrijedan alat za istraživanje tehničke i ekonomske izvedivosti konceptualnih procesa. Studija koju mi pratimo ispituje tehno-ekonomsku analizu brze pirolize biomase i nadogradnju bio-ulja putem zeolita, s naglaskom na regeneraciju katalizatora. Za prikaz profitabilnosti, uspoređivane su dvije procesne sheme, dva regeneratora koji rade u nizu (P-2RG) i jedan regenerator opremljen hladnjakom (P-1RGC). Analiza osjetljivosti provodi se kako bi se procijenio utjecaj ekonomskih parametara profitabilnost dizajna, a Monte Carlo simulacija provodi se kako bi se utvrdila nesigurnost u procijenjenim parametrima i njihov utjecaj na profitabilnost.



Slika 15. Dijagram toka metoda

6.1. Procjena troškova

Dimenzioniranje opreme i procjena troškova provedeni su u programu *Aspen Process Economic Analyzer (APES)*. Kapitalni trošak procijenjen je pomoću Langove metode faktora. Troškovi pirolitičkog reaktora i regeneratora procijenjeni su iz jednadžbe *Pravilo 60*, koja je već navedena: $C_1 = C_0 \times \left(\frac{S_1}{S_0}\right)^{0,6}$. Pretpostavka o procjeni ukupnih troškova poslovanja prikazana je u tablici 4.

Tablica 4. Parametri ukupnih troškova

| Materijal | Trošak |
|------------------------------------|--------|
| Trošak biomase [£/t] | 90 |
| Katalizator HZSM-5 [£/kg] | 198 |
| Uklanjanje pepela [£/t] | 0,11 |
| Komunalne usluge | |
| Struja [£/kWh] | 0,15 |
| Rashladna voda [£/m ³] | 0,032 |
| Prirodni plin [£/kWh] | 0,049 |

6.2. Analiza profitabilnosti

Profitabilnost se procjenjuje metodom diskontiranog toka novca. Prvo se izračuna neto sadašnja vrijednost po formuli:

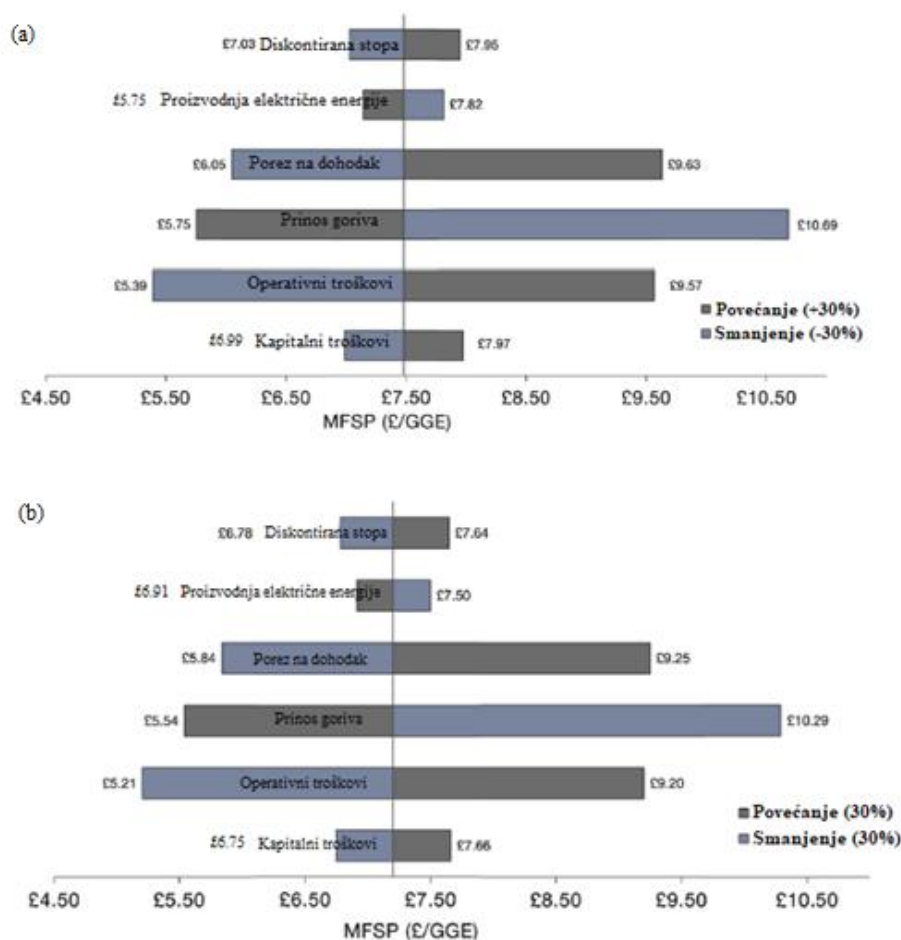
$$PW = -C_T + \sum_{n=1}^{N=t} \frac{\Phi m(1 - T_n) - O_n}{(1 + r)^n}$$

Gdje je C_T početno kapitalno ulaganje, Φ je cijena goriva, m je godišnji prinos goriva postrojenju, t je životni vijek postrojenja, O_n je godišnji trošak rada a T_n je godišnji trošak na dohodak. Pretpostavljeno je da postrojenje radi 20 godina (t) uz željenu stopu povrata (r) od 10%. Na izračunate diskontirane tokove novca, primijenjen je porez na dohodak od 40%. Minimalna prodajna cijena goriva (*MFSP-Minimum fuel selling price*) određena je postavljanjem PW na nulu, dok su ostale varijable održavane konstantnim.

6.3. Analiza osjetljivosti

Analiza osjetljivosti korištena je za mjerenje učinka promjena u procesnim i ekonomskim parametrima na profitabilnost. Ispitani su učinci ključnih parametara, uključujući prinos

goriva, troškove kapitala, operativni trošak, porez na dohodak, proizvodnja električne energije i diskontirana stopa na minimalnu prodajnu cijenu goriva (MFSP). Kriterij za odabir ovih parametara zasnovan je na njihovom izravnom odnosu s profitabilnošću, to jest parametri su direktno povezani s minimalnom prodajnom cijenom goriva. Za analizu osjetljivosti usvojen je raspon od $\pm 30\%$. Ljestvice osjetljivosti prikazane su na slici 16. te prikazuju učinak promjene navedenih parametara na MFSP regulatora P-2PG i P-1RGC. Sive trake na slici prikazuju u kojoj su mjeri temeljne MFSP osjetljive na povećanje parametara od 30%, dok plave trake prikazuju osjetljivost MFSP na smanjenje parametara za 30%. Što je duža traka, to je veći stupanj osjetljivosti temeljnih MFSP na promjene parametara i obrnuto. Za oba dizajna regulatora, smanjenje od 30% u prinosu goriva rezultiralo je povećanje od oko 43% u MFSP (P-2RG: £10.69; P-1RGC: £10.29). S druge strane, povećanje od 30% u prinosu goriva, dovelo je do smanjenja MFSP od 23% (P-2RG: £5.75; P-1RGC: £5.54). To podrazumijeva da gubitci proizvoda, koji mogu nastati uslijed problema s radom ili održavanjem, mogu negativno utjecati na profitabilnost obje sheme procesa. Povećanje prinosa goriva bit će ekonomski povoljnije za obje sheme procesa. Jedan od načina povećanje prinosa goriva je povećanje kapaciteta postrojenja. Nadalje, prisutna je i visoka osjetljivost MFSP oba dizajna na varijacije u njihovim operativnim troškovima. Povećanje od 30% u operativnim troškovima rezultiralo bi povećanje od oko 27% u MFSP i obrnuto. Povećanje poreza na dohodak za 30%, povećalo bi MFSP za oko 27%, a smanjenje poreza na dohodak za 30% donijelo bi smanjenje MFSP za 18%. U usporedbi s navedenim parametrima, MFSP pokazuje manju osjetljivost na kapitalne troškove; s porastom od 30% u kapitalnim troškovima, MFSP se smanjuje za 6% i obrnuto. Relativno mali učinak povećanje troškova kapitala, uz znatan utjecaj povećanja prinosa goriva na MFSP, sugerira da bi procesi mogli imati koristi od ekonomije razmjera povećanjem kapaciteta postrojenja. Promjene diskontne stope i proizvedene električne energije imaju minimalni utjecaj na MFSP u usporedbi s ostalim parametrima.



Slika 16. Osjetljivost MFSP na promjenu parametara od $\pm 30\%$: (a) P-2RG, (b) P-1RGC

6.4. Analiza nesigurnosti Monte Carlo simulacijom

Zbog nedostatka statističkih podataka za adekvatno izračunavanje stvarne raspodjele parametara, prihvaćena je trigonalna raspodjela za analizu nesigurnosti, kakva je prikazana ranije na slici 14.c). U tablici 5. prikazani su rasponi varijacija očekivanih vrijednosti parametara. Simulacijom je generirano 10000 uzoraka.

Tablica 5. Parametri i rasponi varijacija za analizu nesigurnosti

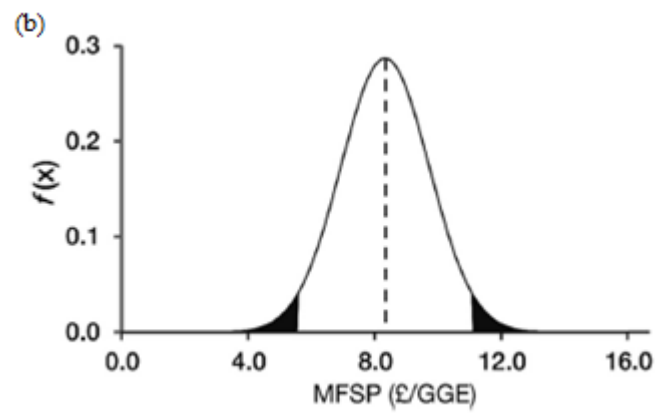
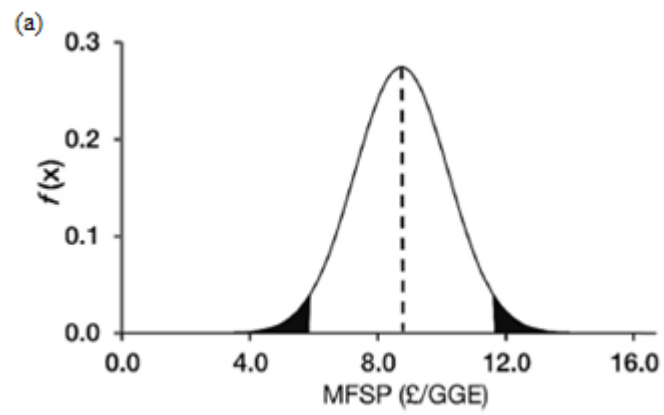
| Parametar | Raspon varijacija |
|------------------------|-------------------|
| Naftni prinos (GGE/yr) | $\pm 30\%$ |
| Kapitalni trošak (£) | -20% do +50% |
| Operativni trošak (£) | -10% do +30% |
| Porez na dohodak (%) | $\pm 25\%$ |
| Diskontirana stopa (%) | $\pm 30\%$ |
| Generirana struja (kW) | $\pm 30\%$ |

Monte Carlo analiza provedena je kako bi se dobila raspodjela MFSP. U tu svrhu ispitivan je učinak stohastičkih varijacija u prinosu goriva, trošku kapitala, operativnom trošku, porezu na dohodak, diskontiranoj stopi i proizvedenoj električnoj energije na profitabilnost obje sheme procesa. Gustoća vjerojatnosti srednjih vrijednosti MFSP opisana je jednadžbom:

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

Vjerojatnost da MFSP spadaju u određeni interval cijena (a, b) određuje područje ispod krivulje, što se može opisati jednadžbom: $P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x)dx$. Dobivene Gaussove distribucije MFSP prikazane su na slici 17., pod (a) za P-2RG, a pod (b) za P-1RGC. Iako je za sve parametre pretpostavljena trigonalna raspodjela, moguće su normalne raspodjele zbog razlika u rasponu varijacija za svaki parametar. Crtkane linije na slici 17. prikazuju srednje vrijednosti za obje procesne sheme. U slučaju P-2RG, ona iznosi 8,72£/GGE uz standardnu devijaciju od 1,45. Za P-1RGC, srednja vrijednost MFSP iznosi 8,30£/GGE, uz standardnu devijaciju od 1,39. Nezasjenjeni dijelovi grafikona označavaju 95% vjerojatnosti da će očekivani MFSP biti unutar određenog raspona. U slučaju P-2RG, očekivani MFSP kretali bi se između 5,81£/GGE i 11,63£/GGE, a u slučaju P-1RGC bi se kretali između 5,52£/GGE i 11,08£/GGE. Očigledno je da P-1RGC ima manje odstupanje od srednjeg MFSP. To podrazumijeva da je on ekonomski održiviji od P-2RG i ima manje rizika koji bi mogao proizaći iz nesigurnosti procjene parametara. Opažanja dobivena iz analize nesigurnosti u skladu je s rezultatima dobivenim iz početne ekonomske analize.

Na temelju rezultata može se zaključiti da je P-1RGC pokazao je bolju ekonomsku učinkovitost s MFSP od 7,20£/GGE, što je za 3,74% manje od P-2RG. Međutim, iz tehnološke analize dobiven je podatak da je energetska učinkovitost P-1RGC 2% niža od P-2RC. Analiza nesigurnosti dodatno je istakla P-1RGC kao optimalni dizajn u smislu profitabilnosti s manjom srednjom vrijednosti MFSP od 8,30£/GGE i manjom devijacijom. Analiza osjetljivosti upućuje na to da povećanje kapaciteta postrojenja može učiniti MFSP konkurentnijim u ekonomiji razmjera. Smanjenje poreza na dohodak bit će ekonomski korisno za proizvodnju biogoriva putem zeolita koji će unaprijediti brzu pirolizu bio-ulja bez obzira na izbor regeneratora.



Slika 17. Funkcija raspodjele vjerojatnosti MFPS-a za: (a) P-2RG i (b) P-1RGC

7. ZAKLJUČAK

Zbog složenosti i velike cijene proizvodnih procesa, prilikom njihovog planiranja, iznimno je važno posvetiti pozornost inženjerskoj ekonomiji i procjeni troškova te analizi rizika.

Pomoću „*bottom-up*“ i „*design-to-cost*“ pristupa možemo procijeniti troškove, imajući na umu da „*bottom-up*“ dobro funkcionira kada konkurencija nije dominantni čimbenik u određivanju cijena, a kod „*design-to-cost*“ konkurencija određuje ciljani trošak. Ukoliko su poznati eksponenti kapaciteta, za procjenu troškova možemo koristiti Pravilo 60% i jednostavnu formulu koja opisuje model kapaciteta. Kod grafičkog određivanja troškova, najpoznatije su Pearlova i Gompertzova krivulja, a za njihovo crtanje potrebno je poznavati četiri koeficijenta, a , b , c i d .

Profitabilnost se definira kao skup pokazatelja uspješnosti, a tehnike za njezinu ocjenu dijele se na diskontirane i nediskontirane. Ovaj rad prvenstveno se bavi diskontiranim, tj. onima koje ovise o vremenskoj vrijednosti novca: sadašnja vrijednost, unutarnja stopa povrata i diskontirani povrat investicija.

Analiza osjetljivosti uključuje određivanje granica nesigurnosti svakog elementa toka novca i ispitivanje kako te nesigurnosti mijenjaju ekonomske kriterije. Informacije o relativnoj osjetljivosti mogu se sumirati u *tornado* ili *spider* dijagramu. Kod izbora između alternativa, potrebno je izračunati očekivanu vrijednost koristeći vjerojatnost, a zatim odabrati onu koja ima najveću očekivanu vrijednosti ili najmanju očekivanu cijenu.

Kako bi se objasnila struktura problema u inženjerstvu, često se koriste stabla ekonomskih odluka, a za brzo pronalaženje alternativnih scenarija, kao i identifikaciju stavki koje najviše doprinose projektnom riziku, koristi se *Monte Carlo* analiza.

8. POPIS SIMBOLA

| | |
|--------------|--|
| C_x | procijenjena cijena postrojenja veličine S_x |
| C_k | poznata cijena postrojenja veličine S_k |
| n | eksponent kapaciteta |
| S_x, S_k | veličine postrojenja |
| D | potražnja |
| t | vrijeme |
| L | granica |
| a, b, c, d | koeficijenti |
| P | kapitalizirani trošak |
| A | godišnja isplata |
| I | kamatna stopa |
| P_0 | sadašnja cijena imovine |
| C_i | tokovi novca |
| T | broj perioda |
| r^* | vrijednost unutarnje stope povrata |
| N | životni vijek |
| E | očekivana vjerojatnost |
| x_i | vrijednost varijable |
| $P(x_i)$ | vjerojatnost događaja x_i |
| σ | standardna devijacija |
| σ^2 | varijanca |
| X | mogući ishod |
| M | prosjek |
| C_T | početno kapitalno ulaganje |
| Φ | cijena goriva |
| \dot{m} | godišnji prinos goriva postrojenju |
| O_n | godišnji trošak rada |
| T_n | godišnji trošak na dohodak |
| r | stopa povrata |

Skraćenice

| | |
|------|--|
| PW | present worth, sadašnja vrijednost |
| IRR | internal rate of return, unutarnja stopa povrata |
| DPB | discounted payback, diskontirani povrat |
| MFSP | minimum fuel selling price, minimalna prodajna cijena goriva |

9. LITERATURA

1. Humphreys, K.K., Project and cost engineers' handbook, Fourth edition, Markel Dekker, New York, 2005.
2. Newnan, D.G., Lavelle, J.P., Eschenbach, T.G., Engineering economic analysis, Ninth edition, Oxford University Press, New York, 2004.
3. Blank, L., Tarquin, A., Basics of engineering economy, First edition, McGraw-Hill, New York, 2008.
4. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17346>(pristup 10.svibnja 2018.)
5. Eschenbach, T. G., Engineering economy: applying theory to practice, Second edition, Oxford University Press, New York, 2003.
6. Brown, D.R., Discounted Cash Flow Analysis, Cost Engineering, 1994.
7. McAuliffe, R.E., Internal Rate of Return, Wiley Encyclopedia of Management, 2015.
8. Eschenbach, T.G., Spiderplots versus Tornado diagrams for sensitivity analysis, Interfaces, 1992.
9. Miller, R., Lessard, D., Understanding and managing risks in large engineering projects, International Journal of Project Management, 2001.
10. Glantz, M, Doorley, T.L., Scientific financial management: Advances in intelligence capabilities for corporate valuation and risk assessment, Amacom, New York, 2000.
11. Shemfe, M., Gu, S., Fidalgo, B., Techno-economic analysis of biofuel production via bio-oil zeolite upgrading: An evaluation of two catalyst regeneration systems, Biomass and Bioenergy, 2017

