

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

Željko N. Spasenić

**METODOLOGIJA ZA ANALIZU KREDITNOG  
RIZIKA PROJEKTOG FINANSIRANJA  
OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE**

Doktorska disertacija

Beograd, 2023

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Željko N. Spasenić

**METHODOLOGY FOR CREDIT RISK ANALYSIS OF  
RENEWABLE ENERGY PROJECT FINANCING**

Doctoral dissertation

Beograd, 2023

Mentor:

---

Prof. dr Slađana Benković, redovni profesor  
Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

Članovi komisije:

---

Prof. dr Dragana Makajić-Nikolić, redovni profesor  
Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

---

Prof. dr Marija Kuzmanović, redovni profesor  
Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

---

Prof. dr Miloš Milosavljević, vanredni profesor  
Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu

---

Prof. dr Dragan Lončar, redovni profesor  
Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu

---

Prof. dr Milan Čupić, vanredni profesor  
Ekonomski fakultet, Univerzitet u Kragujevcu

# **Metodologija za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije**

Rezime:

Kreditni rizik projektnog finansiranja investicija u izgradnju kapaciteta za eksploataciju obnovljivih izvora energije može biti rezultat različitih rizika u fazi izgradnje i fazi eksploatacije elektrane. Predmet istraživanja doktorske disertacije je razvoj i primena metodologije koja doprinosi unapređenju procesa i rezultata analize kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije kroz identifikovanje ključnih rizičnih događaja i njihovo rangiranje, minimizaciju ili optimalnu mitigaciju (ublažavanje) verovatnoće rizičnih događaja koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika kao i minimizaciju očekivanih posledica rizičnih događaja. Predmet doktorske disertacije je isključivo razvoj metodologije za analizu kreditnog rizika dužnika po kreditu za projektno finansiranje obnovljivih izvora energije bez detaljne analize uticaja ovih projekata na životnu sredinu i bez izvođenja zaključka da li je takav uticaj pozitivan ili negativan.

Analiza kreditnog rizika u doktorskoj disertaciji se zasniva na integralnoj primeni matrice rizika, analize načina i efekata otkaza, Demster-Shafer teorije i analize stabla neispravnosti. Na osnovu istraživanja u kome su učestvovala 3 eksperta identifikovano je 19 rizičnih događaja koji su ocenjeni sa aspekta njihove učestalosti javljanja, težine očekivanih posledica i mogućnosti detekcije tokom kreditnog procesa. Kvalitativni i kvantitativni rezultati istraživanja pokazuju da su, na primeru izgradnje male hidroelektrane, najznačajniji rizici povezani sa procenom hidrologije i protestima društvene zajednice protiv realizacije ovih projekata.

Rezultati istraživanja potvrđuju da je predložena metodologija prilagođena i efikasna u analizi kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije. U poslednjem delu doktorske disertacije navedena su ograničenja istraživanja koja je potrebno prevazići u budućim istraživanjima.

Ključne reči: projektno finansiranje, kreditni rizik, matrica rizika, analiza načina i efekata otkaza, Dempster-Shafer teorija, analiza stabla neispravnosti

Naučna oblast: Organizacione nauke

Uža naučna oblast: Finansijski menadžment, računovodstvo i revizija

# **Methodology for credit risk analysis of renewable energy project financing**

## **Abstract:**

Credit risk of renewable energy project finance may be a result of various risks during the construction or exploitation phase of a powerplant. This doctoral research tackles the development and application of a methodology that positively contributes to the results of credit risk analysis through identification of risk events and their ranking, minimization or optimal mitigation of risk events, and minimization of expected consequences should a event occur. The sole aim of this study is to develop a methodology for credit risk analysis of renewable energy project finance without a detailed analysis of the impact of a specific project on the environment. Also, the purpose of the study is not to draw any conclusions as to whether such environmental impact is positive or negative.

Credit risk analysis is based on an integral application of risk matrix, failure mode and effects analysis, Dempster-Shafer theory, and fault tree analysis. Survey responses from three credit risk experts helped identify a total of 19. Experts evaluated the occurrence and severity of each event and their ability to detect them during the credit approval process. The qualitative and quantitative research results based on a small hydropower plant case study indicated that the most important risk events relate to the estimation of hydrology and public protests against the development of small hydro development.

Research results confirmed the suitability and effectiveness of the proposed methodology for credit risk analysis of renewable energy project finance. The final section of the dissertation is dedicated to research limitations and recommendations for the further research.

**Key words:** project finance, credit risk, risk matrix, failure modes and effects analysis, Dempster-Shafer theory, fault tree analysis

**Scientific field:** Organizational sciences

**Scientific subfield:** Financial management, accounting and auditing

## Sadržaj

1. Uvod .....	5
1.1. Predmet istraživanja, cilj istraživanja i polazne hipoteze .....	7
1.2. Metode istraživanja .....	9
1.3. Struktura doktorske disertacije .....	10
2. Značaj investicija u obnovljive izvore energije.....	12
2.1. Opšti trendovi u finansiranju obnovljivih izvora energije .....	12
2.2. Pojam i značaj projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije .....	15
2.3. Pojam i karakteristike kreditnog procesa u bankama .....	18
2.4. Dinamika novčanih tokova projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije .....	20
2.5. Projektno finansiranje obnovljivih izvora energije: pregled literature .....	24
Analiza frekventnosti publikovanja .....	27
Analiza najproduktivnijih autora .....	28
Analiza doprinosa i saradnje između različitih zemalja .....	28
Analiza najuticajnijih publikacija.....	29
Analiza sadržaja.....	32
Diskusija .....	33
2.6. Projektno finansiranje obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji.....	34
3. Kreditni rizik.....	38
3.1. Pojam kreditnog rizika.....	38
3.2. Specifičnost analize kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije	40
4. Metode za procenu rizika.....	43
4.1. Matrica rizika.....	43
4.2. Analiza načina i efekata otkaza.....	44
4.3. Dempster-Shafer teorija .....	48
4.4. Integracija FMEA i DST.....	52
Identifikovanje načina otkaza .....	52
Prikupljanje i modifikacija ocena .....	52
Test odstupanja odgovora eksperata.....	53
Fuzija informacija iz više izvora.....	54
FMEA analiza.....	54
4.5. Analiza stabla neispravnosti.....	55
4.6. Mere značajnosti .....	59
Birnbbaumova mera značajnosti.....	59

Mera dostizanja rizika i mera redukcije rizika .....	59
4.7. Metodologija za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije u uslovima epistemičke neizvesnosti .....	60
5. Istraživanje .....	62
5.1. Identifikovanje rizičnih događaja .....	62
5.2. Prikupljanje podataka o rizičnim događajima .....	67
5.3. Analiza kreditnog rizika primenom matrice rizika .....	70
5.4. Analiza kreditnog rizika primenom unapređene analize načina i efekata otkaza .....	72
Modifikacija jedinstvenih ocena .....	72
Test odstupanja odgovora eksperata .....	73
Fuzija informacija iz više izvora, izračunavanje broja prioriteta rizika i rangiranje rizičnih događaja .....	76
Analiza robusnosti FMEA-DST metodologije .....	76
Poređenje rezultata tradicionalne i unapređene analize načina i efekata otkaza .....	78
5.5. Analiza stabla neispravnosti .....	79
Kvalitativna analiza stabla neispravnosti .....	79
Kvantitativna FTA .....	84
5.6. Korektivne akcije za umanjeње kreditnog rizika .....	86
6. Zaključak .....	89
6.1. Razmatranje hipoteza .....	89
6.2. Naučni i stručni doprinosi doktorske disertacije .....	91
6.3. Ograničenja i buduća istraživanja .....	92
7. Literatura .....	94
8. Biografija .....	105
9. Lista objavljenih naučnih radova .....	106
10. Izjava o autorstvu .....	108
11. Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije dokorskog rada .....	109
12. Izjava o korišćenju .....	110

## **Lista tabela**

Tabela 1. Ključne reči .....	25
Tabela 2. Struktura publikacija u finalnom uzorku .....	26
Tabela 3. Pregled 10 najcitiranijih radova iz uzorka .....	29
Tabela 4. Prilagođena skala za ocenu verovatnoće nastanka rizika (O) .....	46
Tabela 5. Prilagođena skala za ocenu verovatnoće detektovanja (D) .....	46
Tabela 6. Prilagođena skala za ocenu ozbiljnosti otkaza (S) .....	47

Tabela 7. Dodeljene osnovne verovatnoće .....	50
Tabela 8. Vrednost funkcije verovanja za sve propozicije.....	51
Tabela 9. Vrednost funkcije verodostojnosti za sve propozicije .....	51
Tabela 10. Vrednost funkcije neverovanja za sve propozicije .....	51
Tabela 11. Klasifikacija rizika.....	66
Tabela 12. FMEA tim.....	67
Tabela 13. Ocene eksperata.....	69
Tabela 14. Izračunavanje R za matricu rizika .....	70
Tabela 15. Ocene eksperata nakon modifikacije jedinstvenih ocena i test odstupanja .....	75
Tabela 16. Rezultati FMEA-DST metodologije i rangiranje rizičnih događaja .....	76
Tabela 17. Ponderi dodeljeni ekspertima u različitim scenarijima.....	77
Tabela 18. Minimalni preseci .....	84

## Lista slika

Slika 1. Obim i struktura investicija u izgradnju novih kapaciteta za eksploataciju OIE (prilagođeno prema: REN21, 2021) .....	12
Slika 2. Prosečan faktor kapaciteta i cena koštanja kapaciteta (prilagođeno prema: IRENA, 2021) .....	14
Slika 3. Obim i struktura investicija u izgradnju novih kapaciteta za eksploataciju obnovljivih izvora energije (prilagođeno prema: IRENA, 2021) .....	15
Slika 4. Procesni model projektnog finansiranja OIE (ilustracija autora).....	17
Slika 5. Faze kreditnog procesa (ilustracija autora) .....	20
Slika 6. Izračunavanje FCFF (ilustracija autora) .....	22
Slika 7. Dinamika kumulativnog FCFF tokom životnog ciklusa projekta (Gatti, 2013).....	23
Slika 8. Pojednostavljeni model projektnog finansiranja elektrane koja je u fazi eksploatacije (ilustracija autora) .....	24
Slika 9. Dijagram toka bibliometrijske studije (Spasenic i drugi, 2022c) .....	27
Slika 10. Broj publikacija koje su objavljene u periodu od 1996. do 2022. godine (Spasenic i drugi, 2022c).....	28
Slika 11. Mapa saradnje između različitih zemalja (Spasenic i drugi, 2022c) .....	29
Slika 12. Mapa korelacije između ključnih reči (Spasenic i drugi, 2022c).....	33
Slika 13. Broj elektrana (levo) i količina proizvedene električne energije (desno) u sistemu podsticaja (ilustracija autora) .....	35
Slika 14. Iznos isplaćen povlašćenim proizvođačima električne energije u periodu od 2013. do 2021. godine (ilustracija autora) .....	35
Slika 15. Matrica rizika i pozicioniranje rizičnih događaja (ilustracija autora).....	43
Slika 16. Odnos između osnovnih elemenata DST (Yang et al., 2011) .....	52
Slika 17. Koraci FMEA-DST metodologije (Suo i drugi, 2020).....	52
Slika 18. Faze u sprovođenju FTA metodologije (ilustracija autora) .....	55
Slika 19. Simboli za događaje, transfere i logička kola u FTA (ilustracija autora).....	56
Slika 20. Stablo neispravnosti (ilustracija autora) .....	57
Slika 21. Bulove jednačine za I/ILI logička kola (ilustracija autora) .....	58
Slika 22. Odnos između BIM, RAW i RRW (ilustracija autora) .....	60
Slika 23. Metodologija korišćena u doktorskoj disertaciji (ilustracija autora) .....	61
Slika 24. Matrica rizika (ilustracija autora).....	71



Slika 25. Rezultati testa robusnosti FMEA-DST metodologije (ilustracija autora) .....	78
Slika 26. Poređenje rezultata FMEA-DST i tradicionalne FMEA (ilustracija autora) .....	78
Slika 27. Stablo neispravnosti za vršni događaj (ilustracija autora) .....	79
Slika 28. Parcijalno stablo za rizik završetka projekta (ilustracija autora) .....	80
Slika 29. Parcijalno stablo za rizik prekoračenja budžeta (ilustracija autora) .....	81
Slika 30. Parcijalno stablo za rizik novčanih priliva (ilustracija autora).....	82
Slika 31. Stablo neispravnosti (ilustracija autora) .....	83

## 1. Uvod

Tokom druge polovine XX veka, u rasponu od samo tri godine, čovečanstvo je nedvosmisleno upoznato i suočeno sa dve globalne ekološke pretnje koje i danas okupiraju svetsku javnost: oštećenje ozonskog omotača i globalno zagrevanje.

Britanski naučnici Farman, Gardiner i Shaklin su 1985. godine prvi put dokumentovali i naučno obrazložili veliko oštećenje ozonskog omotača iznad Južnog pola koje je posledica uticaja freona (Farman i drugi, 1985). Dve godine kasnije, 16. septembra 1987. godine, usvojen je Protokol iz Montreala (Protokol) kao pionirska inicijativa u oblasti zaštite životne sredine na globalnom nivou. Primarni cilj Protokola bio je smanjenje proizvodnje i potrošnje supstanci koje dovode do oštećenja ozonskog omotača. Protokol je stupio na snagu 1. januara 1989. godine i smatra se veoma uspešnom inicijativom u oblasti zaštite životne sredine (Mäder i drugi, 2010; Neale i drugi, 2021; Chen i drugi, 2021). Protokol je ratifikovan od strane 198 zemalja uključujući Republiku Srbiju (AG, 2022).

U istorijski značajnom govoru iz 1988. godine James Hansen, naučnik Američke svemirske agencije (engl. *The National Aeronautics and Space Administration*), ukazao je da globalno zagrevanje nastaje kao posledica aktivnosti čoveka povezanih sa prekomernom potrošnjom fosilnih goriva. Naftna kompanije Shell je iste godine potvrdila da je sagorevanje fosilnih goriva imalo za posledicu negativne klimatske promene (Radivojević, 2020).

Istraživanja pokazuju da najveći negativan doprinos globalnom zagrevanju ima emisija gasova sa efektom staklene bašte (GESB) od kojih su najznačajniji ugljen-dioksid (CO<sub>2</sub>) sa udelom od ~75% u GSEB i metan (CH<sub>4</sub>) sa udelom od ~17% (IRENA, 2020). Koncentracija CO<sub>2</sub> se značajno povećala nakon Druge industrijske revolucije sagorevanjem fosilnih goriva za proizvodnju električne energije (IPCC, 2022). Pošto je prekomerna potrošnja fosilnih goriva za proizvodnju električne energije najznačajniji uzročnik negativnih klimatskih promena, izgradnja novih kapaciteta za proizvodnju električne energije eksploatacijom obnovljivih izvora energije (OIE) predstavlja neophodan preduslov za uspešnu energetska tranziciju.

U prethodne tri decenije Ujedinjene Nacije (UN) su nosilac globalnih inicijativa za smanjenje emisije GSEB i očuvanje životne sredine (Rom i Pinkerton, 2020). Najznačajniji strateški dokumenti koji su imali za cilj smanjenje emisije GSEB su Kjoto protokol (usvojen 2008. godine), Dogovor iz Kopenhagena (usvojen 2009. godine), Amandman iz Dohe (usvojen 2012. godine) i Pariski sporazum (usvojen 2015. godine).

Pored navedenih dokumenata koji su direktno usmereni na smanjenje emisije GSEB, zaštita životne sredine predstavlja značajan cilj definisan i u drugim, strateškim, dokumentima UN. Aktuelni ciljevi održivog razvoja stupili su na snagu u januaru 2016. godine i predstavljaju okvir koji će usmeravati politiku i finansijska sredstva UN do 2030. godine. Ukupno je usvojeno 17 ciljeva a ostvarenje posebnog, sedmog cilja, treba da obezbedi univerzalan pristup pouzdanoj, modernoj i održivoj energiji (UN, 2022). U skladu sa ovim ciljem UN podržavaju tranziciju zemalja ka pouzdanom i održivom elektro-energetskom sistemu kroz investiranje u moderne tehnologije za eksploataciju OIE.

Inicijative za očuvanje životne sredine nisu izostale ni na nivou Evropske Unije (EU) koja je usvojila veći broj direktiva u oblasti zaštite životne sredine a koje imaju za cilj povećanje proizvodnje energije iz OIE (Brodny i drugi, 2021). Direktivom 2009/28/EC definisani su obavezujući nacionalni ciljevi za zemlje članice Evropske unije čije ostvarenje je konzistentno sa učešćem OIE od 20% u bruto finalnoj potrošnji na nivou Evropske unije zaključno sa 2020. godinom (Directive 2009/28/EC).

U Evropi, najveći udeo OIE u bruto finalnoj potrošnji energije (>50%) imaju Island (84%), Norveška (77%) i Švedska (60%). Najniže učešće OIE (<15%) imaju Mađarska (14%), Belgija (13%), Luksemburg (12%), Malta (11%) i Ukrajina (9%). Od zemalja članica EU samo Francuska, sa udelom OIE od 19%, nije dostigla svoj cilj od 23% definisan Direktivom 2009/28/EC za 2020. godinu. Na nivou EU, udeo OIE u bruto finalnog potrošnji se povećao sa 10% u 2004. godini na 22% u 2020. godini čime su ciljevi postavljeni direktivom 2009/28/EC ostvareni (Eurostat, 2022).

Republika Srbija (RS) je preuzela obaveze iz Direktiva EU u oblasti korišćenje OIE potpisivanjem Ugovora o osnivanju energetske zajednice i donošenjem Zakona o ratifikaciji ugovora o osnivanju energetske zajednice (Zakon, 2006). Prema Direktivi 2009/28/EC, individualni cilj definisan za RS bio je dostizanje udela od 27% OIE u bruto finalnoj potrošnji zaključno sa 2020. godinom. RS je sa učešćem OIE od 26% na kraju 2020. godine bila nadomak ostvarenja definisanog cilja (Eurostat, 2022).

Veliki izazov za Zapadni Balkan je tranzicija od proizvodnje električne energije zasnovane na fosilnim gorivima ka proizvodnji energije iz OI. Jedini izuzetak je Albanija, koja gotovo 100% električne energije proizvodi iz OI u hidrocentralama na reci Drim. Region Zapadnog Balkana karakteriše veliki neiskorišćeni hidropotencijal čije korišćenje može doprineti energetskej tranziciji ka OIE (Pavlaković i drugi, 2022; Knez i drugi; 2022). Od ukupno proizvedene električne energije iz OI u RS, hidroenergija učestvuje sa >85% dok je na drugom mestu energija vetra (AERS, 2021). Značaj raspoloživog hidropotencijala za region je izuzetno veliki, posebno ako se ima u vidu da je trošak proizvodnje električne energije iz hidroelektrana niži u odnosu na proizvodnju iz drugih OI (IRENA, 2018).

U Republici Srbiji i susednim zemljama se intenzivno planiraju i realizuju projekti izgradnje i eksploatacije malih hidroelektrana<sup>1</sup> (MHE) kako bi se povećala proizvodnja električne energije iz OI. Prema Huđek i drugima (2020), planirana je izgradnja 1.315 MHE na pritokama Dunava u Sloveniji, Hrvatskoj, Bosni i Hercegovini, Republici Srbiji i Crnoj Gori. U navedenim planovima dominiraju projekti izgradnje MHE sa instalisanom snagom do 1MW. Druga istraživanja pokazuju sličan broj i strukturu planiranih MHE u navedenom regionu (Schwarz, 2015; Vejnović i Gallop, 2018; Schwarz, 2019).

Imajući u vidu značaj hidroenergije za Republiku Srbiju i susedne zemlje, ekspanziju izgradnje MHE, planirane projekte izgradnje MHE i značajno iskustvo bankarskog sektora u

---

<sup>1</sup> Za potrebe predmeta istraživanja doktorske disertacije, malom hidroelektranom smatra se hidroelektrana odobrene snage do 30MW što je u skladu sa Zakonom o korišćenju obnovljivih izvora energije (Zakon, 2021) kojim se propisuje kapacitet hidroelektrana koje imaju pravo na podsticajne mere.

projektnom finansiranju ove vrste projekata, metodologija za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE biće razvijena na primeru projektnog finansiranja MHE.

### **1.1. Predmet istraživanja, cilj istraživanja i polazne hipoteze**

Predmet istraživanja doktorske disertacije se odnosi na razvoj metodologije koja će doprineti unapređenju procesa i rezultata analize kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE. Metodologija doprinosi efikasnom identifikovanju ključnih rizičnih događaja i njihovom rangiranju, minimizaciji ili optimalnoj mitigaciji (ublažavanju) verovatnoća rizičnih događaja koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika kao i minimizaciji očekivanih posledica rizičnih događaja.

Predmet doktorske disertacije je isključivo razvoj metodologije za analizu kreditnog rizika dužnika po kreditu za projektno finansirane OIE bez detaljne analize uticaja ovih projekata na životnu sredinu i bez izvođenja zaključka da li je takav uticaj pozitivan ili negativan. Potencijalno negativan uticaj finansiranog projekta za eksploataciju OIE na životnu sredinu se razmatra isključivo u kontekstu analize kreditnog rizika i to kao jedan od faktora rizika koji može imati negativan uticaj na kvalitet kreditnog plasmana banke. Pored uticaja na kreditni rizik dužnika, pojedini rizici projektnog finansiranja mogu imati negativan uticaj i na reputaciju banke, što ukazuje na njihov višedimenzionalni karakter koji se takođe analizira u doktorskoj disertaciji.

Centralni problem koji se razmatra u doktorskoj disertaciji se odnosi na razvoj metodologije za analizu kreditnog rizika u uslovima epistemičke (saznajne) neizvesnosti sa ciljem potpunijeg razumevanja kreditnog rizika u projektnom finansiranju izgradnje kapaciteta za eksploataciju OIE. Metodologija se zasniva na korišćenju postojećih metoda i tehnika za procenu rizika kroz njihovu primenu u oblasti analize kreditnog rizika za šta do sada nisu korišćene ili su neznatno korišćene. Efikasnija procena i upravljanje kreditnim rizikom se postiže kombinacijom više metoda koje se bave uzrocima (rizičnim događajima) i njihovom međusobnom interakcijom u uslovima epistemičke neizvesnosti u proceni verovatnoća.

Opšti cilj istraživanja je razvoj metodologije za analizu i procenu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE. Da bi se ovaj cilj realizovao, izvršena je sveobuhvatna i kritička analiza specifičnosti kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE a pregledom literature su identifikovani, formulisani (opisani) i grupisani rizični događaji koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika. Konačna lista rizičnih događaja i njihove karakteristike su validovane kroz odgovarajuće istraživanje. Na ovaj način je kreirana polazna osnova za primenu predložene metodologije, kroz kvalitativnu i kvantitativnu analizu, čiji rezultati omogućavaju efikasno donošenje odluka i svrsishodno usmeravanje korektivnih akcija.

Posebni ciljevi istraživanja doktorske disertacije su:

1. identifikovanje rizičnih događaja koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE na primeru projektnog finansiranja MHE;
2. procena verovatnoće, posledica i mogućnosti detekcije rizičnih događaja tokom analize kreditnog rizika za potrebe analize načina i efekata otkaza;
3. uspostavljanje veza između rizičnih događaja i konstruisanje stabla neispravnosti,

4. poboljšanje procena eksperata koje se odnose na verovatnoće rizičnih događaja korišćenjem *Dempster-Shafer* teorije;
5. razvoj i opis metodologije za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE;
6. rangiranje rizičnih događaja na bazi rezultata primene razvijene metodologije i predlaganje korektivnih akcija za smanjenje verovatnoće nastanka i ublažavanje očekivanih posledica rizičnih događaja.

Naučni cilj istraživanja je proširenje primene postojećih tehnika uz metodološko prilagođavanje za primenu u oblasti finansija, a sve u cilju efikasnije analize kreditnog rizika u projektnom finansiranju OIE. Naučni cilj se odnosi prevashodno na formulisanje, verbalno i grafičko opisivanje i verifikovanje integralne metodologije za unapređenje procene kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE.

Društveni cilj istraživanja je razvoj metodologije koja će donosiocima odluka u oblasti projektnog finansiranja OIE pomoći pri donošenju odluka po kreditnim zahtevima a koje će biti zasnovane na informacijama i procenama domenskih eksperata uz sagledavanje i analizu rizika koje takve odluke sa sobom nose. Primena metodologije može doprineti povećanju broja potencijalnih zajmodavaca koji bi se aktivno uključili u kreditiranje investicija u OIE. Posledično bi se povećao broj projekata za eksploataciju OIE, što obezbeđuje očuvanje životne sredine kroz smanjenje potrošnje fosilnih goriva i smanjenje emisije štetnih gasova.

Na osnovu analize relevantne literature, postavljenog predmeta i cilja istraživanja definisane su opšta hipoteza i posebne hipoteze koje će u doktorskoj disertaciji biti potvrđene ili odbačene.

Opšta hipoteza istraživanja glasi:

HO: Moguće je razviti metodologiju za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE koja uzima u obzir epistemičku neizvesnost datih procena i ocena od strane eksperata.

Posebne hipoteze istraživanja glase:

H1: Analiza načina i efekata otkaza se može primeniti kao polazište za identifikovanje rizičnih događaja koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika dužnika po kreditu za projektno finansiranje OIE.

H2: Analiza stabla neispravnosti se može koristiti za uspostavljanje veza i odnosa između rizičnih događaja koji su identifikovani primenom analize načina i efekata otkaza.

H3: *Dempster-Shafer* teorija doprinosi smanjenju neizvesnosti u proceni verovatnoća pojedinačnih rizičnih događaja koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika.

H4: Kvantitativni rezultati razvijene metodologije omogućavaju rangiranje rizičnih događaja i predstavljaju osnovu za prioritizaciju, definisanje i usmeravanje korektivnih akcija za smanjenje verovatnoće nastanka i ublažavanje očekivanih posledica rizičnih događaja.

H5: Kvantitativni rezultati razvijene metodologije omogućavaju rangiranje dužnika na osnovu njihovog kreditnog rizika.

## 1.2. Metode istraživanja

Osnovne metode naučnog istraživanja koje se koriste u doktorskoj disertaciji su:

1. analiza i sistematizacija relevantne literature (empirijsko-teorijska metoda) kroz pretraživanje i pregled postojećih istraživanja, naučnih časopisa, naučnih radova, monografija, udžbenika, portala specijalizovanih za praćenje regulative i trendova u oblasti OIE i zakonskih akata koji uređuju oblast eksploatacije OIE;
2. analiza kojom će neuspeh projektnog finansiranja biti razložen na pojedinačne rizične događaje koji se nalaze u osnovi ovog rizika. Namera jeste da se pored elementarne analize koja će omogućiti identifikaciju pojedinačnih rizičnih događaja stvori osnova za kauzalnu analizu u cilju uspostavljanja međuzavisnosti i uzročno posledičnih veza između pojedinačnih rizika;
3. metod klasifikacije, kojim će se izvršiti razvrstavanje rizičnih događaja u grupe prema sličnosti, međuzavisnosti i drugim karakteristikama koje omogućavaju njihovo grupisanje;
4. sinteza kojom će se pojedinačni rizični događaji, primenom odgovarajuće metodologije, spojiti u jedinstvenu celinu (sistem);
5. metod indukcije i dedukcije prilikom formiranja zaključaka na osnovu rezultata istraživanja i razvijenog modela za analizu i upravljanje kreditnim rizikom

Opšte metode naučnog istraživanja koje se koriste u doktorskoj disertaciji su:

1. metod modelovanja;
2. statistička i komparativna metoda

Metode prikupljanja podataka koje se koriste u doktorskoj disertaciji su:

1. metoda ispitivanja (tehnika intervjuisanja i anketiranja) zaposlenih u bankama (eksperata) na poslovima analize kreditnog rizika u projektnom finansiranju OIE sa ciljem opisa postojeće prakse procene rizika, identifikovanja rizičnih događaja, uspostavljanja međuzavisnosti između rizičnih događaja i validacije predloženog modela za analizu i upravljanje kreditnim rizikom.

Metode za razvoj integralnog modela za analizu i upravljanje kreditnim rizikom projektnog finansiranja OIE koje se koriste u doktorskoj disertaciji su:

1. za ispitivanje rizičnih događaja koji za posledicu mogu imati realizaciju kreditnog rizika koristiće se kombinacija dve metode spojene u integralnu metodologiju – analiza načina i efekata otkaza i analiza stabla događaja. Za potrebe analize pojedinačnih rizika i u cilju povećanja pouzdanosti dobijenih rezultata predložene metodologije uveden je faktor neizvesnosti u procenama eksperata korišćenjem *Dempster-Shafer* teorije.

Primenjena metodologija i rezultati istraživanja doktorske disertacija se oslanjaju na tri naučna rada objavljena u međunarodnim časopisima sa impakt faktorom. Svi radovi su objavljeni nakon odbrane pristupnog rada kandidata i prijave teme doktorske disertacije. Objavljeni radovi su eksterna naučna potvrda metodologije i rezultata istraživanja što

značajno doprinosi kvalitetu doktorske disertacije i validnosti izvedenih zaključaka i na njima zasnovanih preporuka. Naučni radovi koji čine suštinu doktorske disertacije su:

- Spasenic, Z., Makajic-Nikolic, D., & Benkovic, S. (2022). Risk assessment of financing renewable energy projects: A case study of financing a small hydropower plant project in Serbia. *Energy Reports*, 8, 8437–8450. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.065> (M21)
- Spasenic, Z., Makajic-Nikolic, D., & Benkovic, S. (2022). Integrated FTA-risk matrix model for risk analysis of a mini hydropower plant's project finance. *Energy for Sustainable Development*, 70, 511-523. doi: 10.1016/j.esd.2022.08.024 (M22)
- Spasenic, Z., Milosavljevic, M., & Milanovic, N. (2022). Project financing of renewable energy projects: a bibliometric analysis and future research agenda, *Fresenius Environmental Bulletin*, 31 (8), 7844-7851 ISSN 1018-4619 (M23)

### 1.3. Struktura doktorske disertacije

Doktorska disertacija je podeljena u 6 poglavlja koja su praćena spiskom korišćene literature. U nastavku je dat kratak pregled sadržine svih poglavlja doktorske disertacije.

*Uvod* prikazuje motive i značaj istraživanja, opisuje predmet, cilj i polazne hipoteze istraživanja, metode istraživanja koje će se koristiti u disertaciji i daje pregled strukture doktorske disertacije po pojedinačnim poglavljima.

*Drugo poglavlje* daje pregled globalnih trendova u finansiranju OIE sa posebnim fokusom na zastupljenost i značaj projektnog finansiranja. U ovom poglavlju se definišu i analiziraju osnovne karakteristike projektnog finansiranja u kontekstu finansiranja izgradnje infrastrukture za eksploataciju OI. Poglavlje se bavi i prikupljanjem, strukturiranjem i analizom dosadašnjih naučnih saznanja u oblasti projektnog finansiranja OIE za šta su korišćene bibliometrijska analiza, analize sadržaja i pregled najcitiranijih radova. Konačno, poglavlje daje pregled projektnog finansiranja OIE u Republici Srbiji sa fokusom na male hidroelektrane.

*Treće poglavlje* se bavi kreditnim rizikom. U poglavlju su definisani kreditni rizik, ciljevi i rezultati analize kreditnog rizika u kontekstu kreditnog procesa u bankama i analizirane su specifičnosti procene kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE.

*Četvrto poglavlje* se fokusira na detaljan opis metodologije koja će se koristiti u doktorskoj disertaciji. Integracijom matrice rizika, analize načina i efekata otkaza, *Dempster-Shafer* teorije, kvalitativne i kvantitativne analize stabla neispravnosti kreiran je metodološki okvir za integralnu analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE. Integralna metodologija je verbalno i grafički formulisana u poslednjoj tački ovog poglavlja.

*Peto poglavlje* se bavi primenom predložene metodologije na opštoj studiji slučaja projektnog finansiranja MHE u Republici Srbiji. Istraživanje je realizovano kroz nekoliko koraka koji obuhvataju identifikovanje rizičnih događaja, kvalitativnu i kvantitativnu analizu, rangiranje rizičnih događaja, kvantifikovanje kreditnog rizika dužnika i predlog

korektivnih akcija za umanjene rizika. Posljednja tačka ovog poglavlja bavi se analizom dobijenih rezultata i ograničenjima istraživanja.

*Šesto poglavlje* sadrži zaključke, razmatranje polaznih hipoteza, naučne i stručne doprinose doktorske disertacije kao i ograničenja i preporuke za buduća istraživanja.

Konačno, posljednje poglavlje je praćeno spiskom literature koja je korišćena za izradu doktorske disertacije.

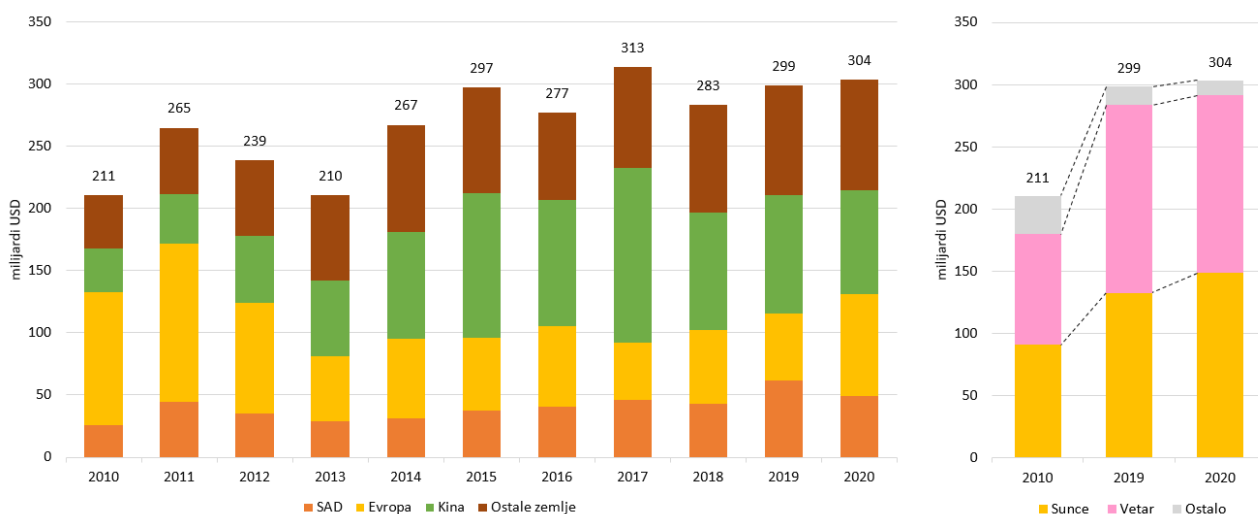


## 2. Značaj investicija u obnovljive izvore energije

Dostizanje globalnih ciljeva energetske efikasnosti i većeg učešća proizvodnje energije iz OI<sup>2</sup> zahteva enormne investicije (Jacobsson i Jacobsson, 2012; Karltorp, 2016; Hall i drugi, 2015; McCollum i drugi, 2018; Barroco i Herrera, 2019; Sikora, 2020). Qadir i drugi (2021) potvrđuju da je raspoloživost adekvatnih izvora finansiranja preduslov za uspješnu energetska tranziciju. EU je 2020. godine prepoznala značaj adekvatnog finansiranja investicija u OIE i podržala je Evropski zeleni dogovor (engl. *European green deal*) investicionim planom koji bi trebalo da obezbedi investicije u vrednosti od 1 bilion evra u narednih 10 godina (Sikora, 2020).

### 2.1. Opšti trendovi u finansiranju obnovljivih izvora energije

Investicija u nove kapaciteta za eksploataciju OIE dostigle su 304 milijarde USD u 2020. godini (REN21, 2021). Slika 1 prikazuje obim, strukturu i dinamiku investicija u izgradnju novih kapaciteta za eksploataciju OIE bez investicija u izgradnju hidroelektrana sa kapacitetom >50MW. Da bi se ublažili negativni efekti globalnog zagrevanja i negativnih klimatskih promena, investicije u OIE bi morale da dostignu godišnji iznos od 800 milijardi USD u 2050. godini (IRENA, 2020) što je skoro trostruko više od trenutnog nivoa. Na globalnom nivou, najveći investitori su Kina, Sjedinjene Američke Države i razvijene evropske zemlje koje su, u 2020. godini, zahvatile ~71% od ukupnih investicija u OIE (Slika 1, levo).



Slika 1. Obim i struktura investicija u izgradnju novih kapaciteta za eksploataciju OIE (prilagođeno prema: REN21, 2021)

Analizirano prema tehnologijama, najviše se investira u izgradnju solarnih elektrana i vetroparkova, dok je ostatak pretežno usmeren u eksploataciju energije biomase i hidroenergije (slika 1, desno). U 2020. godini 49% ukupnih investicija je usmereno u eksploataciju solarne energije koja predstavlja jedini oblik OI čije investicije beleže rast u

<sup>2</sup> Prema Zakonu (2021), OI su nefosilni izvori energije kao što su vodotokovi, biomasa, vetar, sunce, obnovljivi vodonik, biogas, deponijski gas, gas iz pogona za prerađu kanalizacionih voda, izvori geotermalne energije i drugi obnovljivi izvori energije.

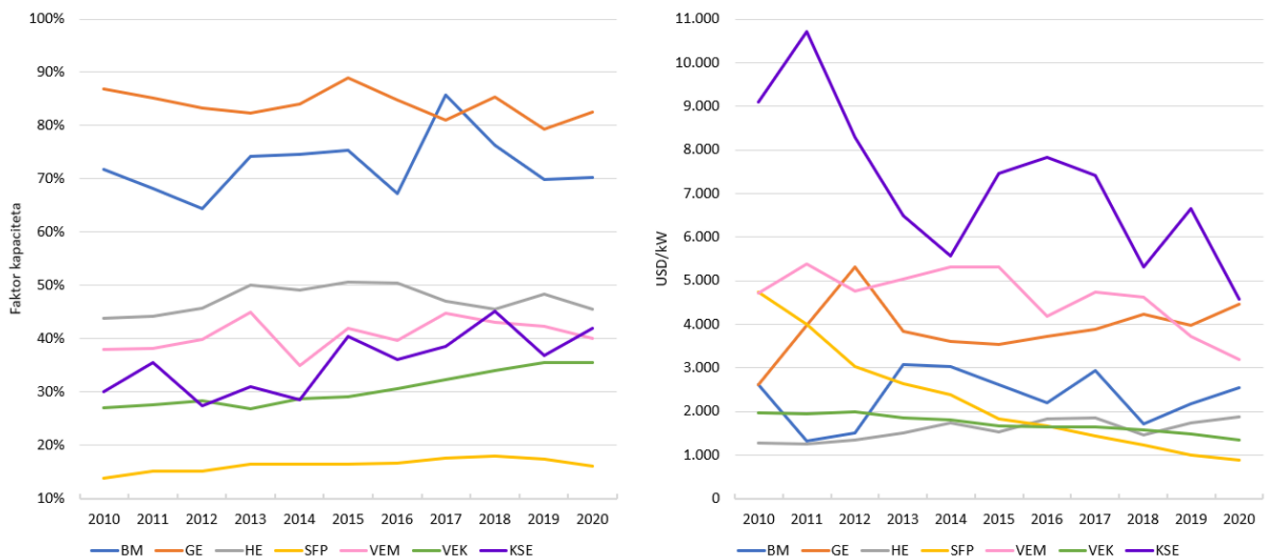
2020. godini u odnosu na 2019. godinu. Razlozi za smanjenja investicija u druge OIE zavise od tehnologije koja se posmatra. Prema REN21 (2021), najvažnije prepreke za izgradnju malih hidroelektrana su nedostatak ili nejasna nacionalna regulativa koja bi podstakla njihovu izgradnju i visok rizik investiranja koji varira u zavisnosti od faze u kojoj se projekat nalazi. Prema istom izvoru, intenzivnija eksploatacija geotermalne energije je ograničena visokim rizicima i troškovima u ranim, testnim, fazama projekta. Investicije u ostale oblike OIE, kao što su biogoriva i energije talasa, takođe su ograničene rizicima tehnologije koja je u ranoj fazi razvoja.

Razlike u tehnologijama za eksploataciju OIE, koje utiču na investicione odluke, prikazane su na slici 2. Prosečni faktor kapaciteta<sup>3</sup> (engl. *capacity factor*) je najviši za eksploataciju geotermalne energije (GE) i biomase (BM). Međutim, dostizanje visoke efikasnosti u eksploataciji GE povezano je sa značajnim, kontinuiranim, investicijama tokom celog životnog ciklusa projekta. Visok faktor kapaciteta u eksploataciji BM uslovljen je kontinuitetom u snabdevanju sirovinama zbog čega će kapaciteti zasnovani na sirovinama iz poljoprivredne proizvodnje, koja ima izraženu sezonalnost, ostvariti manju prosečnu efikasnost od kapaciteta zasnovanih na komunalnom otpadu ili sirovinama iz drvne industrije (IRENA, 2021). Od ostalih tehnologija najviši faktor kapaciteta ima hidroenergija (HE) a zatim koncentrovana solarna energija (KSE), vetroparkovi na moru (VEM), vetroparkovi na kopnu (VEK) i solarni fotopaneli (SFP).

Slika 2 (desno) prikazuje trendove u troškovima izgradnje (ceni koštanja) kapaciteta za eksploataciju različitih OIE. Na osnovu prezentovanih podataka mogu se primetiti dva važna trenda: (i) najveće smanjenje troška izgradnje kapaciteta po kW instalisane snage beleže kapaciteti za eksploataciju solarne energije i (ii) zrelije tehnologije beleže blago smanjenje ili relativno stabilne troškove izgradnje kapaciteta osim HE koja beleži rast. Rast cene koštanja hidroelektrana po kW instalisane snage posledica je izgradnje novih kapaciteta na manje pristupačnim terenima koji zahtevaju kompleksnije građevinske radove u odnosu na ranije izgrađene kapacitete (IRENA, 2021).

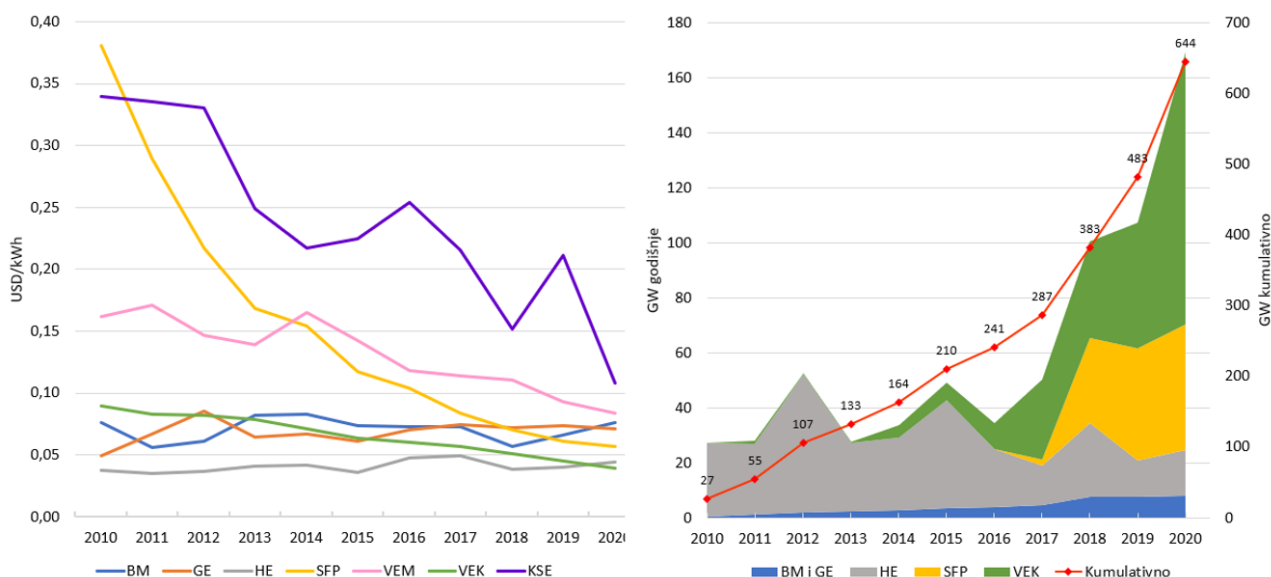
---

<sup>3</sup> Faktor kapaciteta predstavlja odnos proizvedene električne energije i instalisane snage elektrane odnosno stepe iskorišćenosti proizvodnog kapaciteta elektrane.



Slika 2. Prosečan faktor kapaciteta i cena koštanja kapaciteta (prilagođeno prema: IRENA, 2021)

Uticaj faktora kapaciteta i cene koštanja izgradnje kapaciteta za eksploataciju OIE na prosečan trošak proizvodnje električne energije iz OI predstavljen je na slici 3. Prosečan trošak proizvodnje električne energije (engl. *levelised cost of electricity – LCOE*) omogućava direktno poređenje cene koštanja kWh električne energije proizvedene korišćenjem različitih OIE. *LCOE* se izračunava kao količnik neto sadašnje vrednosti troškova izgradnje i eksploatacije elektrane tokom procenjenog veka trajanja i ukupne količine proizvedene električne energije tokom procenjenog veka trajanja elektrane (Tu i drugi, 2019; IRENA, 2021). Pozitivni efekti krive učenja odnosno smanjenja troškova izgradnje kapaciteta za eksploataciju solarne energije tokom vremena imaju za rezultat materijalno značajno smanjenje *LCOE* iz ovog izvora. Takođe, primena unapređene tehnologije uz bolji izbor lokacija za izgradnju vetroparkova imaju za rezultat i značajno smanje *LCOE* iz energije vetra (Yao i drugi, 2021). Posledično, tokom analiziranog perioda kapaciteti za eksploataciju OIE čiji je *LCOE* niži od *LCOE* iz fosilnih goriva kumulativno su se povećali za 644 GW pri čemu je najveći rast ostvaren u poslednje 3 godine zahvaljujući smanjenju *LCOE* iz SFP i VEK (slika 3, desno).



Slika 3. Obim i struktura investicija u izgradnju novih kapaciteta za eksploataciju obnovljivih izvora energije (prilagođeno prema: IRENA, 2021)

## 2.2. Pojam i značaj projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije

Dva najznačajnija modela finansiranja projekata eksploatacije OIE su korporativno finansiranje i projektno finansiranje (Steffen, 2018). Projektno finansiranje je uobičajeno i veoma zastupljeno u razvijenim zemljama. Zbog slabijeg razumevanja rizika povezanih sa projektnim finansiranjem, ovaj oblik finansiranja je teže primeniti u zemljama u razvoju (FS-UNEP, 2020). Polzin i drugi (2021) tvrde da će najveći deo investicija u OIE od 2020. do 2050. godine biti realizovan kroz model projektnog finansiranja.

Korporativno finansiranje podrazumeva realizaciju projekta kao jedne od poslovnih aktivnosti postojećeg preduzeća zbog čega se novčani prilivi ostvareni poslovanjem preduzeća kao celine koriste za izmirenje svih obaveza uključujući i otplatu namenskog kredita za finansiranje projekta. U slučaju bankrotstva koje može biti posledica dodatnog zaduženja za finansiranje projekta, celokupna imovina preduzeća će biti predmet prinudnog izvršenja od strane poverilaca. Zbog toga se korporativno finansiranje naziva i finansiranje sa punim pravom regresa na imovinu preduzeća. Mogućnost praćenja finansijskih performansi projekta, nezavisno od celine poslovanja, zavisi od vrste projekta, interne organizacije preduzeća, razvijenosti internog sistema izveštavanja itd. Najčešće, kroz model korporativnog finansiranja banke plasiraju kredite za finansiranje obrtnih sredstava (sezonskih i trajnih obrtnih sredstava) i investicija koje su u funkciji osnovne delatnosti preduzeća (proširenje proizvodnih i skladišnih kapaciteta ili nabavka nove opreme).

Prema Bazelskom komitetu (engl. *Basel Committee on Banking Supervision*) projektno finansiranje je jedna od potkategorija specijalnog kreditiranja (engl. *specialised lending*). Projektno finansiranje je metod finansiranja kod koga je kreditor primarno usmeren na prilive generisane od jednog projekta kao što su prilivi ostvareni od prodaje električne energije. Ovaj metod finansiranja se koristi za kompleksne i kapitalno intenzivne projekte kao što su elektrane, hemijska postrojenja, infrastruktura u oblasti transporta ili

telekomunikacije. Dužnik po kreditu je obično entitet posebne namene (engl. *Special Purpose Vehicle – SPV*) kome nije dozvoljeno da obavlja dodatne poslovne aktivnosti koje izlaze izvan delokruga poslovanja i upravljanja projektom (BIS, 2017).

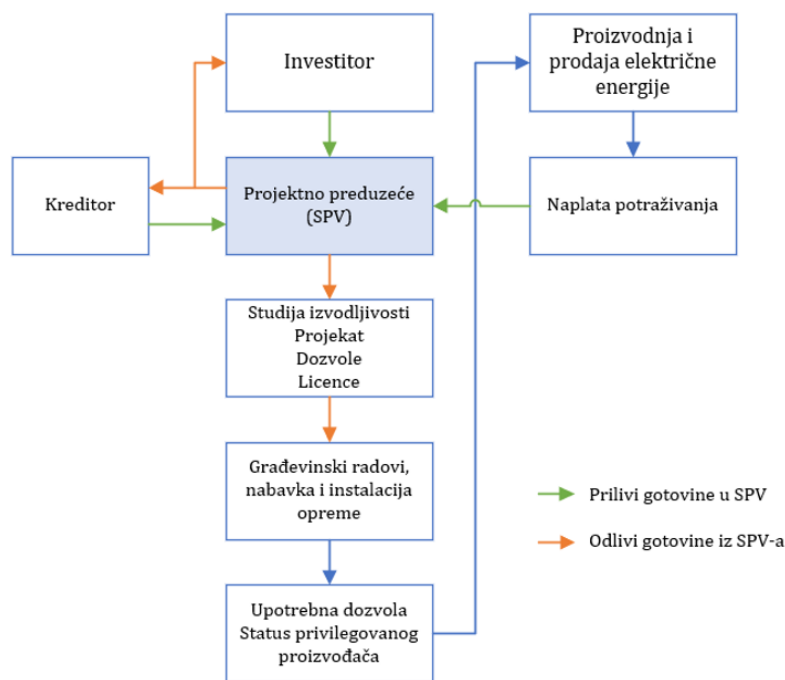
Na primeru izgradnje elektrane struktura projektnog finansiranja, prema prethodnoj definiciji, podrazumeva osnivanje novog preduzeća u formi privrednog društva (najčešće u pravnoj formi društva sa ograničenom odgovornošću) sa ciljem izgradnje elektrane, proizvodnje i prodaje električne energije. Preduzeće koje je osnovano sa tačno utvrđenim i ograničenim ciljevima poslovanja predstavlja *SPV*. Kada se projekat finansira iz kreditnih izvora *SPV* će biti dužnik po kreditu za finansiranje investicije. Mogućnost urednog izmirenja obaveza dužnika zavisi isključivo od uspešnosti projekta odnosno sposobnosti *SPV* da generiše gotovinu proizvodnjom i prodajom električne energije. Zabrana realizacije novih projekata i zabrana obavljanja poslovnih aktivnosti koje nisu direktno povezane sa proizvodnjom i prodajom električne energije se najčešće definiše u ugovoru o kreditu zaključenim između *SPV*, kao dužnika, i banke kao kreditora. U nastavku rada termini banka i kreditor biće korišćeni kao sinonimi.

Prema Barroco i Herrera (2019), da bi se finansiranje OIE u zemljama u razvoju smatralo projektnim finansiranjem, neophodno je da ispuni sledeće uslove: (i) postoji projektno preduzeće, (ii) dužnik je isključivo projektno preduzeće, (iii) finansiranje je bez prava regresa ili veoma ograničenog regresa na osnivača projektnog preduzeća, (iv) obezbeđenje po kreditu su sredstva u vlasništvu projektnog preduzeća i (v) kreditor je klasifikovao plasman kao projektno finansiranje. Ako svi navedeni uslovi nisu zadovoljeni finansiranje se smatra standardnim, korporativnim finansiranjem. Prema istom izvoru, projektno finansiranje nudi značajne prednosti u odnosu na korporativno finansiranje OIE:

1. Projektno finansiranje se zasniva na rigoroznoj analizi kreditnog rizika projekata eksploatacije OIE čiji rizik je veći u odnosu na projekte eksploatacije fosilnih goriva. Struktura projektnog finansiranja i detaljna analiza kreditnog rizika mogu, u značajnoj meri, ublažiti asimetričnu informisanost investitora i kreditora i premostiti nedostatke nedovoljno razvijenog korporativnog upravljanja i nepovoljnog institucionalnog i zakonskog okvira u zemljama u razvoju. Navedeno se postiže kroz ograničavanje poslovnih aktivnosti investitora i kontrolu zaključenih ugovora sa učesnicima u projektnom finansiranju (npr. sa izvođačem građevinskih radova ili kupcem električne energije) što nije moguće postići kroz korporativno finansiranje.
2. Projektno finansiranje povećava broj potencijalnih investitora jer se odluka o plasiranju kreditnih sredstava zasniva isključivo na očekivanim performansama projekta. Ovo je posebno značajno za zemlje u razvoju jer se odluka o finansiranju ne zasniva na finansijskoj snazi preduzeća, kao u slučaju korporativnog finansiranja, zbog čega i mali projekti mogu biti podobni za projektno finansiranje.

Na osnovu navedenih karakteristika projektnog finansiranja može se grafički predstaviti njegov pojednostavljeni procesni model u RS za finansiranje OIE. Model je predstavljen na slici 4 i uključuje sledeće faze:

- I Faza: Investitor je fokusiran na analizu i izbor odgovarajuće lokacije za realizaciju investicije. U ovoj fazi investitor osniva *SPV* i pribavlja sve potrebne dozvole predviđene zakonskim propisima.
- II Faza: *SPV*, koji će biti dužnik po kreditu, podnosi kreditni zahtev za projektno finansiranje projekta eksploatacije OIE nakon čega kreditor analizira zahtev i donosi odluku o njemu.
- III Faza: Ukoliko kreditor podrži kreditni zahtev, investicija će delimično biti finansirana iz kredita. U ovoj fazi se plasira kredit za potrebe izgradnje kapaciteta, nabavku i instalaciju opreme.
- IV Faza: Nakon što je projekat završen, investitor podnosi zahtev za sticanje statusa privilegovanog proizvođača električne energije koji će biti odobren ako projekat ispunjava zakonima predviđene uslove. U ovoj fazi počinje proizvodnja električne energije i njena prodaja kupcima. U RS, proizvedenu električnu energiju otkupljuje isključivo javno preduzeće Elektroprivreda Srbije (EPS). Iz ostvarenog novčanog priliva od prodaje električne energije dužnik otplaćuje kredit u skladu sa dogovorenim planom otplate.



Slika 4. Procesni model projektnog finansiranja OIE (ilustracija autora)

Svaka od faza projektnog finansiranja povezana je sa određenim rizicima koji mogu izazvati finansijski gubitak za investitora i kreditora. Na primer, investitor je izabrao neodgovarajuću lokaciju ili opremu zbog čega finansijski rezultati i otplatni kapacitet projekta nisu u skladu sa projektovanim ili investitor nije pribavio sve potrebne dozvole zbog čega započeti projekat ne može biti završen. U nastavku rada kreditni rizik se analizira iz perspektive banke kao najznačajnijeg izvora kreditnih sredstava za projektno finansiranje izgradnje infrastrukture za eksploataciju OIE.

### 2.3. Pojam i karakteristike kreditnog procesa u bankama

Zbog prethodno navedenih specifičnosti projektnog finansiranja i potrebe kreditora da interno razvije ekspertizu za odobravanje i praćenje ove vrste kredita, preporučuje se njegovo interno, organizaciono, odvajanje unutar banke. Prema Spasenić i drugi (2019) mogu se identifikovati tri opšta tipa interne organizacije banaka u pogledu projektnog finansiranja:

1. Poseban organizacioni deo se formira u bankama koje projektno finansiranje smatraju značajnim segmentom svoje kreditne aktivnosti. Ovakav pristup obezbeđuje interni razvoj potrebne ekspertize i efikasnost u obradi kreditnih zahteva za projektno finansiranje. Paralelno sa posebnim organizacionim delom, potrebno je obezbediti i efikasne podržavajuće aktivnosti unutar drugih odeljenja banke (npr. u pravnoj službi i službi kreditne administracije).
2. Projektno finansiranje je deo specijalnog kreditiranja što je rezultat interne racionalizacije u bankama. Cilj ovog modela organizacionog pozicioniranja projektnog finansiranja jeste da se odvoji standardno, korporativno kreditiranje od ostalih vrsta kreditnih poslova (projektno finansiranje, sindicirano kreditiranje, finansiranje merdžera i akvizicija, *leveraged buyout* transakcije, finansiranje javnog sektora itd.).
3. Projektno finansiranje nije organizaciono odvojeno od ostalih kreditnih poslova banke ali se internom podelom rada određuju zaposleni koji se, osim korporativnog kreditiranja, bave ovom vrstom kreditnih zahteva. Model je prisutan u bankama koje projektno finansiranje ne smatraju značajnim delom svoje kreditne aktivnosti i/ili ne žele značajniji rast u ovom segmentu svog kreditnog portfolija.

Kreditni zahtev klijenta se analizira i odobrava u kreditnom procesu. U ovom radu, pod kreditnim procesom podrazumeva se skup svih aktivnosti od podnošenja zahteva klijenta za korišćenje proizvoda banke do odobrenja i plasiranja traženog proizvoda. U skladu sa predmetom istraživanja, kreditni proces je predstavljen na primeru odobrenja kredita privrednim društvima pri čemu se proces odobrenja drugih bankarskih proizvoda (npr. bankarskih garancija) ne razlikuje značajno od opisanog. Takođe, odobrenje kredita za projektno finansiranje se u procesnom smislu ne razlikuje suštinski od, na primer, odobrenja investicionog kredita za osnovna sredstva. Ipak, ekonomski smisao transakcije je različit što uslovljava da analiza kreditnog rizika, kao jedna od faza kreditnog procesa, ima niz specifičnosti.

Odobrovanje kredita, u bankama, se temelji na jasnoj podeli nadležnosti i odgovornosti između prodajne funkcije, koja preuzima kreditni rizik dužnika, i funkcije za upravljanje rizicima, koja procenjuje i upravlja kreditnim rizikom dužnika. Radi se o najznačajnijem principu organizacije kreditnog procesa, koji je definisan Bazelskom regulativom, zbog čega se osnovne faze kreditiranja klijenata ne razlikuju značajno između različitih banaka.

Prodajnu funkciju čine organizacioni delovi koji su zaduženi za uspostavljanje i održavanje saradnje sa klijentom. Na primer, banka može imati sektor<sup>4</sup> za poslovanje sa privrednim društvima, javnim preduzećima i opštinama a u okviru njega službu za poslovanje sa velikim preduzećima, službu za poslovanje sa malim i srednjim preduzećima i službu za specijalna finansiranja i poslovanje sa javnim preduzećima i opštinama. Upravljanje kreditnim rizikom je u nadležnosti sektora za upravljanje rizicima koji je, po pravilu, podeljen na službe koje se bave analizom i procenom kreditnog rizika, restrukturiranjem kreditnih plasmana, prinudnom naplatom plasmana i obračunom rezervisanja. Služba za upravljanje kreditnim rizikom može biti podeljena između odeljenja za upravljanje kreditnim rizikom velikih preduzeća i specijalnog kreditiranja koje uključuje projektno finansiranje, odeljenja za upravljanje kreditnim rizikom malih i srednjih preduzeća i odeljenja za upravljanje kreditnim rizikom stanovništva.

Na zahtev klijenta, kreditni zahtev u banci podnosi prodajna funkcija. U zavisnosti od segmenta kome klijent pripada, za analizu kreditnog zahteva biće nadležan odgovarajući organizacioni deo odnosno služba u okviru sektora za upravljanje rizicima. Izuzetak od ovog pravila mogu biti određeni proizvodi čije odobrenje, po vrsti i iznosu, pripada nadležnosti prodajne funkcije. Reč je o standardizovanim proizvodima ograničenog iznosa za klijente prihvatljivog kreditnog rejtinga koje može odobriti prodajna funkcija u skladu sa kriterijumima i procedurom odobrenom od strane sektora rizika. Na slici 5 prikazane su osnovne faze kreditnog procesa u užem smislu i njihove osnovne karakteristike.

---

<sup>4</sup> U ovom radu termin sektor se koristi da označi internu organizacionu jedinicu koja ima veći stepen nadležnosti i odgovornosti od službe. Termin služba se, isključivo, koristi da označi organizaciono odvajanje određene vrste poslova u okviru sektora bez namere da se odredi tačan stepen njene nadležnosti i odgovornosti. Slično, termin odeljenje predstavlja nižu organizacionu jedinicu od službe.



Faza kreditnog procesa	Opis
Kreditni zahtev	Na zahtev klijenta prodajna funkcija (Prodaja) priprema kreditni zahtev (kreditnu aplikaciju) u interno propisanoj formi koji sadrži sve bitne elemente kredita, opis poslovne delatnosti klijenta, analizu njegove tržišne pozicije, finansijsku analizu i finansijske projekcije.
Analiza kreditnog zahteva	Odeljenje za kreditna odobrenja (Odeljenje) razmatra kreditni zahtev i vrši procenu kreditnog rizika. Procena kreditnog rizika vrši se na bazi informacija sadržanih u kreditnom zahtevu i pratećoj dokumentaciji. Odeljenje može zahtevati dodatne informacije u procesu razmatranja kreditnog zahteva koje Prodaja treba da dostavi.
Donošenje odluke/preporuke	U zavisnosti od nivoa odlučivanja Odeljenje donosi odluku o kreditnom zahtevu ili preporuku za viši nivo nadležnosti. Odluka/preporuka, generalno, može biti (i) zahtev je podržan bez dodatnih uslova/izmena, (ii) zahtev je podržan uz dodatne uslove/izmene ili (iii) zahtev nije podržan.
Priprema ugovora i druge dokumentacije	Kreditna odluka se prosleđuju službi za pripremu ugovora o kreditu i druge dokumentacije (npr. založne izjave za uspostavljanje sredstava obezbeđenja ili ugovori o jemstvu). Ako kreditna odluka sadrži dodatne uslove njihova formulacija u ugovoru može biti predmet kontrole od strane odeljenja za kreditna odobrenja.
Provera ispunjenosti prethodnih uslova za plasiranje kredita	Na primer, pre puštanja tranše kredita klijent mora dostaviti potpisan ugovor sa izvođačem radova po principu "ključ u ruke". Ispunjenost prethodnih uslova mogu proveravati različite organizacione jedinice u banci na zahtev službe kreditne administracije.
Plasiranje kredita	Kredit se može plasirati odjednom ili u tranšama tokom perioda raspoloživosti kredita. Proverom ispunjenosti prethodnih uslova banka nastoji da kontroliše namensko korišćenje kredita u skladu sa uslovima kreditnog odobrenja. Plasiranje kredita u tranšama je uobičajeno za investicione kredite.

Slika 5. Faze kreditnog procesa (ilustracija autora)

Kreditni proces u širem smislu obuhvata dodatne aktivnosti nakon plasiranja kredita kao što su provera ispunjenosti naknadnih uslova ili donošenje odluke o izmeni inicijalno odobrenih uslova. Takođe, odobreni kreditni zahtev je predmet kontinuiranog praćenja u regularnim vremenskim intervalima sve dok je kredit u korišćenju. Obavezni godišnji pregled odobrenog kreditnog zahteva (kredita) podrazumeva pripremu kreditne aplikacije od strane funkcije prodaje koja prolazi kroz prethodno opisane faze kreditnog procesa. Naravno, u slučaju da klijent nema novih zahteva ili klijent ne zahteva izmenu postojećeg ugovora o kreditu ova kreditna aplikacija neće biti predmet obrade u službi za izradu ugovora o kreditu.

U skladu sa definisanim predmetom doktorske disertacije jasno je da se primena metodologije za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE vezuje za fazu analize kreditnog zahteva i na rezultatima analize kreditnog rizika zasnovanu odluku/preporuku o kreditnom zahtevu.

## 2.4. Dinamika novčanih tokova projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije

Druga faza prethodno prikazanog procesnog modela na slici 4 odnosi se na analizu kreditnog zahteva investitora za projektno finansiranje i donošenje odluke kreditora o samom zahtevu. Praktično, kreditni zahtev investitora se nalazi u drugoj fazi kreditnog

procesa prikazanog na slici 5. Odluka o kreditnom zahtevu se temelji na rezultatima analize i procene kreditnog rizika projektnog finansiranja, a posebna pažnja se posvećuje proceni novčanih tokova predloženog projekta. Projekcije novčanih tokova u projektnom finansiranju imaju dvostruki značaj (Gatti, 2013):

1. Projekat mora imati odgovarajući potencijal generisanja gotovine kako bi obezbedio urednu otplatu kredita u skladu sa ugovorenim kreditnim uslovima i planom otplate.
2. U slučaju neuspeha projektnog finansiranja koje bi rezultovalo prinudnom naplatom, kreditor se može naplatiti isključivo izvršenjem nad imovinom koja je u vlasništvu dužnika. Zbog nepostojanja ili veoma ograničenog prava regresa, kreditor ne može računati na prilive od preduzeća povezanih sa dužnikom (npr. matičnog preduzeća ili na drugi način povezanih lica).

Razumevanje prirode, visine i vremenske dinamike priliva i odliva gotovine je preduslov za uspešno modelovanje novčanih tokova. Sposobnost *SPV* da generiše viškove gotovine koji se mogu koristiti za otplatu kredita (glavnice i kamate) može se kvantifikovati kroz slobodan novčani tok prema preduzeću (engl. *free cash flow to firm – FCFF*). *FCFF* se može izračunati primenom formule 1 (CFA, 2016).

$$FCFF = NI + NCC + Int \cdot (1 - \text{stopa poreza na dobit}) - WCInv - FCInv \quad (1)$$

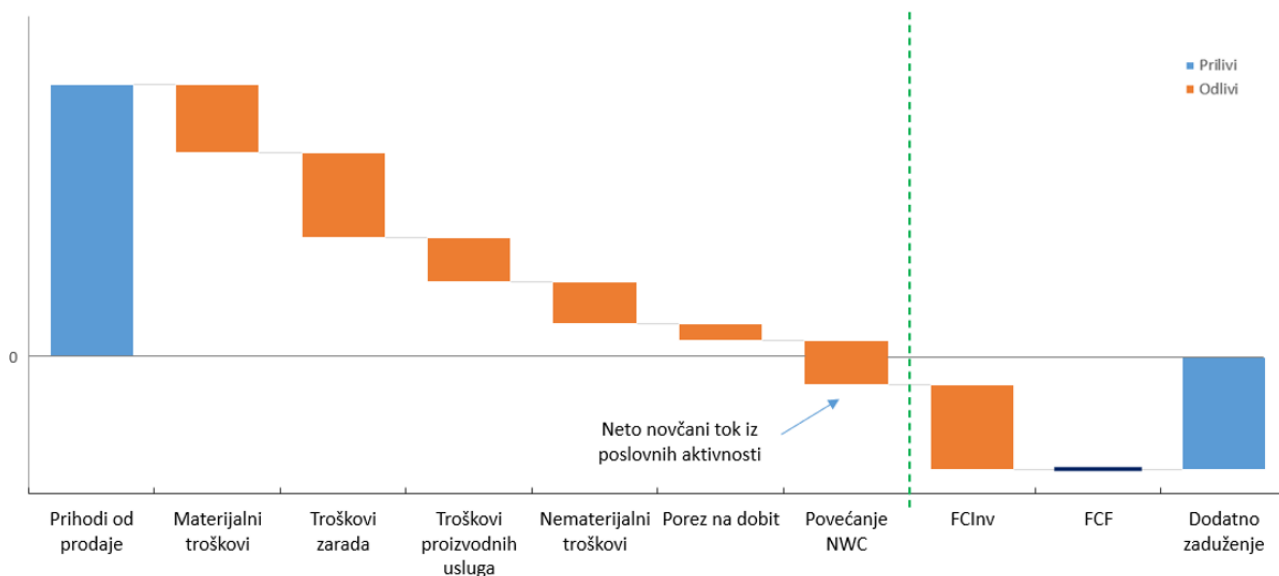
gde je:

- NI (engl. *net income*) – neto dobit posle poreza;
- NCC (engl. *non cash charges*) – negotovinski rashodi odnosno rashodi iz bilansa uspeha koji neće izazvati odliv gotovine;
- INT (engl. *interest*) – troškovi kamate;
- WCInv (engl. *investment in working capital*) – povećanje neto obrtnog kapitala;
- FCInv (engl. *investment in fixed capital*) – neto kapitalni izdaci.

Iznos *FCFF* ne zavisi od strukture finansiranja preduzeća odnosno od odnosa sopstvenog kapitala i pozajmljenih izvora u pasivi bilansa stanja preduzeća. Za potrebe projekcije novčanih tokova u fazi analize kreditnog zahteva jednostavnije je primeniti sledeći pristup:

$$FCFF = \text{Prihodi od prodaje} - \text{gotovinski rashodi} - \text{porez na dobit} - WCInv - FCInv \quad (2)$$

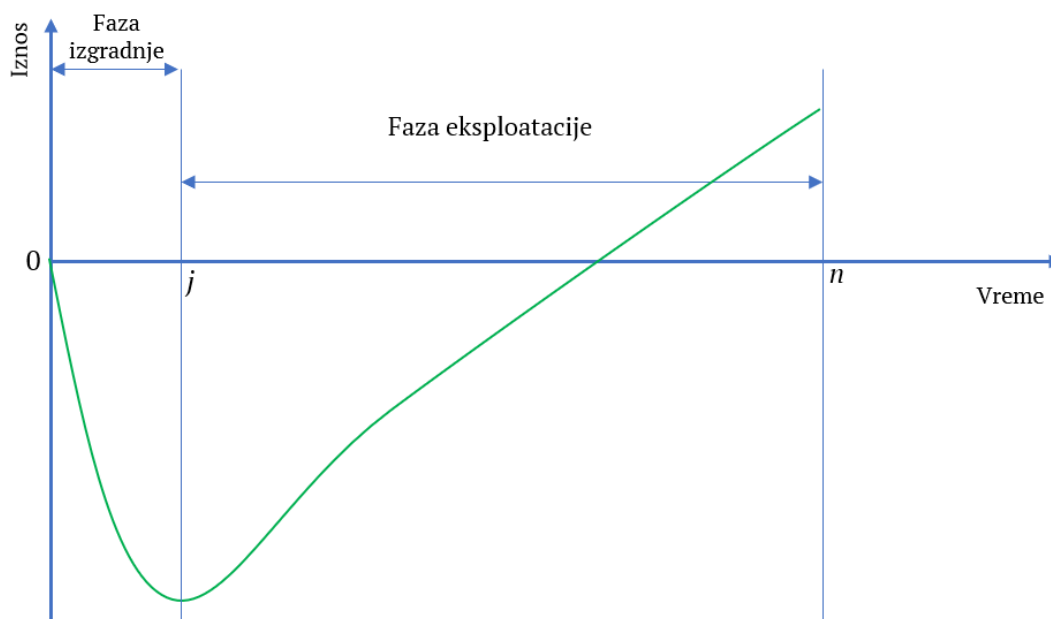
*FCFF* predstavlja neto novčani tok iz poslovnih aktivnosti umanjen za neto investicije u osnovna sredstva. Prema međunarodnom računovodstvenom standardu 7 Izveštaj o tokovima gotovine (IASB, 2001), novčani tok iz poslovnih aktivnosti je osnovni pokazatelj sposobnosti preduzeća da obavljanjem svoje osnovne delatnosti generiše dovoljno gotovine za otplatu kredita, održanje poslovne sposobnosti preduzeća, plaćanje dividendi i finansiranje novih kapitalnih izdataka bez korišćenja eksternih izvora finansiranja. Na primeru projektnog finansiranja izgradnje elektrane, jedini priliv novca iz poslovnih aktivnosti rezultat je naplate potraživanja od kupaca za isporučenu električnu energiju dok odlivi nastaju po osnovu gotovinskih rashoda, plaćanja poreza na dobit i ulaganja u neto obrtna sredstva. Kada se od neto novčanog toka iz poslovnih aktivnosti oduzmu neto investicioni izdaci za nabavku osnovnih sredstava preostali iznos je gotovina raspoloživa za otplatu kredita i plaćanje dividendi što je *FCFF*. Odnos između neto novčanog toka iz poslovnih aktivnosti, investicionih izdataka i *FCFF* predstavljen je na slici 6.



Slika 6. Izračunavanje FCFF (ilustracija autora)

Neto novčani tok iz poslovnih aktivnosti može se izračunati kao razlika između prihoda i gotovinskih rashoda koju je potrebno korigovati promenom neto obrtnog kapitala u istom periodu i umanjiti za neophodne kapitalne izdatke. Povećanje neto obrtnog kapitala predstavlja odliv dok njegovo smanjenje predstavlja priliv gotovine u preduzeće. Ako je *FCFF* u toku godine negativan, kao na slici 6, preduzeće mora iskoristi gotovinu iz prethodne godine ili posegnuti za eksternim izvorima finansiranja - dodatno zaduženje ili uplata novca od strane vlasnika u vidu pozajmice ili povećanja vlasničkog uloga. Na objašnjeni način može se izračunati i grafički predstaviti *FCFF* bilo kog preduzeća.

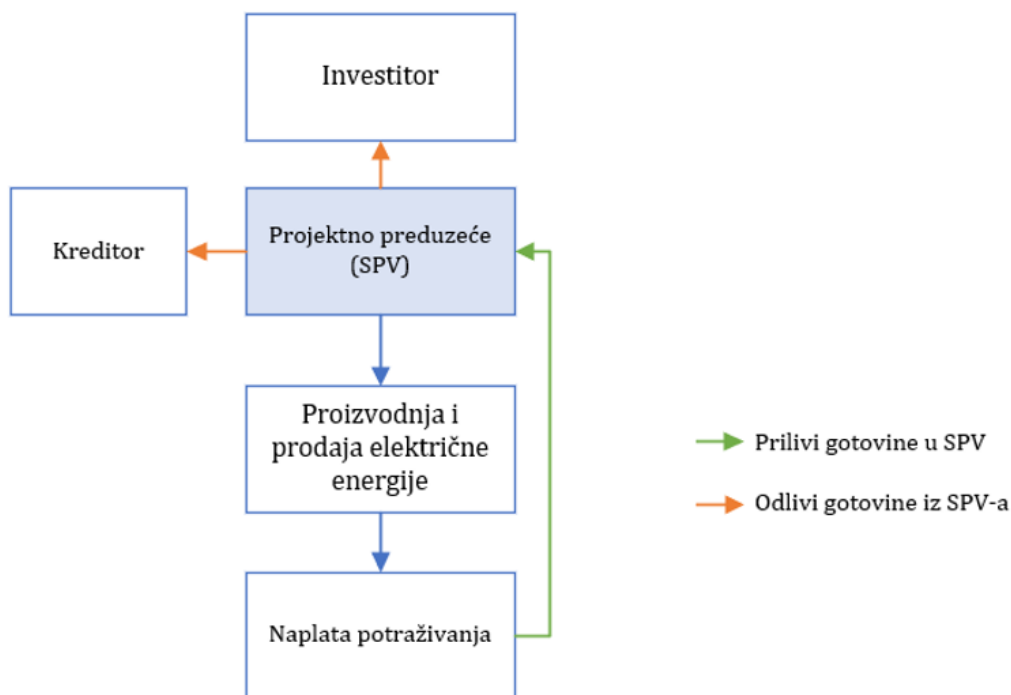
Dinamika novčanih tokova projektnog finansiranja elektrane ima određene specifičnosti koje se ispoljavaju u zavisnosti od faze u kojoj se projekat nalazi. Prema Gatti (2013) u fazi izgradnje elektrane neto novčani tok iz poslovnih aktivnosti je približno jednak nuli što u kombinaciji sa intenzivnim investicijama za izgradnju elektrane rezultuje negativnim *FCFF*. Završetkom izgradnje elektrane i prelaskom projekta u fazu eksploatacije, kapitalni izdaci će biti nula dok *SPV* počinje da ostvaruje prihode od prodaje električne energije i prilive gotovine naplatom potraživanja od kupaca. Visina i dinamika odliva za plaćanje materijalnih troškova, kao i promene neto obrtnog kapitala zavise od vrste OI koji se eksploatiše i veličine elektrane. Izvesno je da zalihe gotovih proizvoda ne postoje već se proizvedena električna energija odmah prodaje. Osim postrojenja zasnovanih na sagorevanju biomase, ostali projekti eksploatacije OIE ne zahtevaju ulaganje u zalihe sirovina. Prodana električna energija se naplaćuje mesečno zbog čega su potraživanja relativno stabilna tokom perioda eksploatacije. Posledično, promene neto obrtnog kapitala obično nemaju značajnog uticaja na visinu i dinamiku novčanih tokova. Dinamika kumulativnog *FCFF* prikazana je na slici 7 koja rezimira prethodna izlaganja.



Slika 7. Dinamika kumulativnog FCFF tokom životnog ciklusa projekta (Gatti, 2013)

Trenutak 0 označava početak izgradnje elektrane. Faza izgradnje se završava u tački  $j$  i ovaj period karakteriše negativan kumulativni *FCFF*. Kumulativni iznos *FCFF* u tački  $j$  odgovara ukupnom investicionom izdatku za izgradnju elektrane. Pod pretpostavkom da se investicija u celini finansira iz kredita ovaj iznos će biti jednak kreditu za projektno finansiranje. Ulaskom u fazu eksploatacije *SPV* ostvaruje pozitivan neto novčani tok iz poslovnih aktivnosti čime se stižu finansijski uslovi za otplatu kredita. Otplata kredita nije linearna i zavisi od karakteristika projekta i ugovorenog plana otplate sa bankom. Tačka preseka kumulativnog *FCFF* i horizontalne ose označava nediskontovani period povraćaja investicije.

Prelaskom projekta iz faze izgradnje u fazu eksploatacije može se očekivati smanjenje kreditnog rizika projektnog finansiranja jer su određene projektne aktivnosti završene i neće se ponavljati (npr. u potpunosti su završeni građevinski radovi u skladu sa projektnom dokumentacijom i dobijena je upotrebna dozvola za elektranu). Takođe, do postepenog smanjenje kreditnog rizika dolazi po osnovu priliva od prodaje električne energije koji se koriste za otplatu investicionog kredita čime se smanjuje izloženost banke prema *SPV* kao dužniku. Posledično, prethodno prikazani model projektnog finansiranja na slici 4 se pojednostavljuje ulaskom projekta u fazu eksploatacije što je prikazano na slici 8.



Slika 8. Pojednostavljeni model projektnog finansiranja elektrane koja je u fazi eksploatacije (ilustracija autora)

Prelazak projekta u fazu eksploatacije jeste neophodan uslov za njegovu uspešnu realizaciju. Iako je početak rada elektrane nesumnjivo pozitivan događaj u procesu projektnog finansiranja kreditni rizik i dalje postoji sve dok je banka izložena prema SPV odnosno sve do potpune otplate kredita. Takođe, faza eksploatacije traje vremenski duže od faze izgradnje. Posledično, kreditor je u dužem vremenskom periodu izložen određenim rizicima kao što su rizici povezani sa hidrologijom, rizik naplate potraživanja i ekološki rizici u odnosu na rizike koji prestaju nakon izgradnje elektrane.

## 2.5. Projektno finansiranje obnovljivih izvora energije: pregled literature

U prethodnim delovima disertacije objašnjeni su pojam, značaj i osnovne karakteristike projektnog finansiranja. Cilj ove tačke doktorske disertacije jeste prikupljanje, strukturiranje i analiza dosadašnjih naučnih saznanja u oblasti projektnog finansiranja OIE i predviđanje potencijalnih pravaca budućih istraživanja. Kako bi se realizovao postavljeni cilj, korišćene su bibliometrijska analiza, analiza sadržaja i pregled najcitiranijih radova. Ovo poglavlje doktorske disertacije, uz neophodna prilagođavanja, je eksterno verifikovano u vidu članka pod nazivom „*Project finance of renewable energy projects: A bibliometric analysis and future research agenda*“ objavljenog u naučnom časopisu sa impakt faktorom (Spasenic i drugi, 2022c).

Vodeći se studijama koji su koristile bibliometrijsku analizu u različitim naučnim oblastima (Bortoluzzi i drugi, 2021; Tao i drugi 2020) istraživanje je realizovano kroz četiri koraka:

1. Korak: Identifikovanje potrebe za bibliometrijskom analizom.
2. Korak: Izbor baze podataka za ekstrakciju publikacija i izbor ključnih reči koje su adekvatne za predmet istraživanja.

3. Korak: Manuelni pregled (čitanje) publikacija ekstrahovanih u drugom koraku kako bi se isključile publikacije koje nisu relevantne za postavljene predmet istraživanja.
4. Korak: Analiza finalnog uzorka publikacija koja obuhvata (i) analizu vrste publikacija, (ii) analizu frekventnosti publikovanja, (iii) analizu najproduktivnijih autora, (iv) analizu doprinosa i saradnje između različitih zemalja, (v) pregled i analizu najuticajnijih publikacija i (vi) analizu ključnih tema.

Identifikovanje potrebe za bibliometrijskom analizom, kao prvi korak predložene metodologije, je elaborirano u prethodnim delovima doktorske disertacije i proizilazi iz značaja projektnog finansiranja za uspešnu energetska tranziciju na globalnom nivou. Dodatno, potreba za pregledom i sistematizovanjem postojećih naučnih saznanja proizilazi iz nedostatka bibliometrijskih studija i preglednih radova koji za predmet istraživanja imaju projektno finansiranje OIE.

Publikacije koje su predmet bibliometrijske analize ekstrahovane su iz indeksirane naučne baze *Web of Science (WoS)*. *WoS* je najstarija baza podataka nastala 1964. godine čiji izdavač je *Clarivate Analytics*. Veći broj argumenata govori u prilog relevantnosti i izbora *WoS* za analizu predmeta istraživanja: (i) *WoS* i *SCOPUS* su dve najznačajnije i najčešće korišćene baze podataka za bibliometrijske studije u različitim oblastima (Singh i drugi, 2021), (ii) dostupnost naučnoj zajednici u RS putem KoBSON – Konzorcijuma biblioteka Srbije za objedinjenu nabavku, (iii) prilagođen i jednostavan za korišćenje interfejs koji omogućava pretraživanje relevantnih izvora prema različitim kombinacijama kriterijuma i izvoz podataka u različitim formatima pogodnim za obradu korišćenjem različitih softvera (Birkle i drugi, 2020) i (iv) nedavno sprovedene bibliometrijske studije koje se bave različitim istraživanjima u oblasti OIE (Zhang et al., 2021; Andreo-Martínez i drugi, 2020; Reyes-Belmonte, 2021; Arriola i drugi, 2020; Kar i drugi, 2022; Zhang i Liang, 2020) i finansiranjem OIE (Elie i drugi, 2021; Dervi i drugi, 2022) koriste *WoS* kao osnovni izvor podataka.

Ključne reči su izabrane u skladu sa ciljem istraživanja i podeljene su u dve grupe. Prva grupa ključnih reči se odnosi na projektno finansiranje. Druga grupa ključnih reči ograničava pretragu baze podataka na publikacije koje se bave primenom projektnog finansiranja u eksploataciji OIE. Grupe ključnih reči su povezane logičkom operacijom „I“ (engl. *AND*) dok su ključne reči u okviru iste grupe povezane logičkom operacijom „II“ (engl. *OR*). Ključne reči i logičke veze između njih prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Ključne reči

Grupa	Ključne reči
Grupa 1 <b>AND</b>	"Project finance" OR "Project financing"
Grupa 2	"Cleaner Energy" OR "Renewable Energy" OR "Renewables" OR "Green Energy" OR "Sustainable Energy" OR "Alternative Energy" OR "Renewable electricity" OR "Renewable power" OR "Renewable heat" OR "hydropower" OR "solar" OR "wind" OR "tidal" OR "Biomass" OR "Geothermal" OR "Wave" OR "Hydrogen"

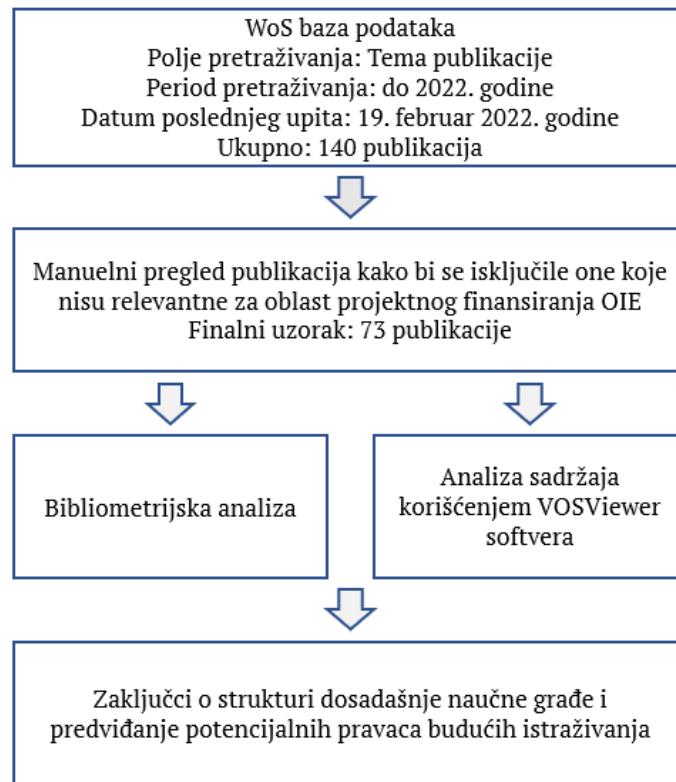
Kao polje za pretraživanje korišćena je tema publikacije (engl. *topic*) koja u *WoS* uključuje naslov (engl. *title*), sažetak (engl. *abstract*), ključne reči (engl. *author keywords*) i ključne reči plus (engl. *keywords plus*). Pretraga je ograničena prema tipu publikacije tako da obuhvata članke u časopisu (engl. *articles*), članke u zborniku konferencije (engl. *conference proceedings papers*), pregledne članke u časopisu (engl. *review articles*) i članke prihvaćene za objavljivanje u časopisu (engl. *early access*). Pretraga nije vremenski ograničena dok je datum poslednjeg upita bio 19. februar 2022. godine. Na osnovu definisanih kriterijuma rezultat inicijalnog pretraživanja je 140 publikacija. Nakon manuelnog pregleda odnosno čitanja uzorkovanih publikacija eliminisano je 67 publikacija koje se ne bave projektnim finansiranjem OIE. Finalni uzorak, koji je predmet bibliometrijske analize, obuhvata 73 publikacije čija je struktura data u tabeli 2. U strukturi dominiraju članci u časopisima (>60%) i članci u zborniku konferencija (>30%).

Tabela 2. Struktura publikacija u finalnom uzorku

Red. br.	Vrsta publikacije	Broj publikacija	Udeo
1.	Članak u časopisu	45	61,45%
2.	Članak u zborniku konferencije	25	34,25%
3.	Pregledni članak u časopisu	2	2,74%
4.	Članak prihvaćen za objavljivanje u časopisu	1	1,37%
	Ukupno	73	100%

Potpuni podaci o publikacijama (engl. *full record*) iz uzorka su izvezeni u odgovarajućim elektronskim formatima (*.xlsx* i *.txt*) koji omogućavaju njihovu obradu i analizu u skladu sa postavljenim ciljevima istraživanja. Uzorak čine isključivo publikacije objavljene na engleskom jeziku što se ne mora smatrati značajnim ograničenjem istraživanja jer engleski jezik obezbeđuje sveobuhvatnu pokrivenost predmeta istraživanja.

U poslednjem, četvrtom koraku, sprovedena je analiza selektovanih publikacija koja obuhvata: (i) analizu frekventnosti publikovanja, (ii) analizu najproduktivnijih autora, (iii) analizu doprinosa i saradnje između različitih zemalja, (iv) pregled, sistematizaciju i analizu najuticajnijih publikacija i (v) analizu sadržaja. Analiza sadržaja, koja se zasniva na analizi i grupisanju ključnih reči, predstavlja dopunu bibliometrijske analize sa ciljem identifikovanja ključnih tema, glavnih karakteristika i pravaca istraživanja postojećih publikacija. Analiza sadržaja sprovedena je korišćenjem *VOSViewer* softvera. Dijagram toka bibliometrijske analize prikupljene bibliografske građe pretraživanjem *WoS* baze podataka prikazan je na slici 9.

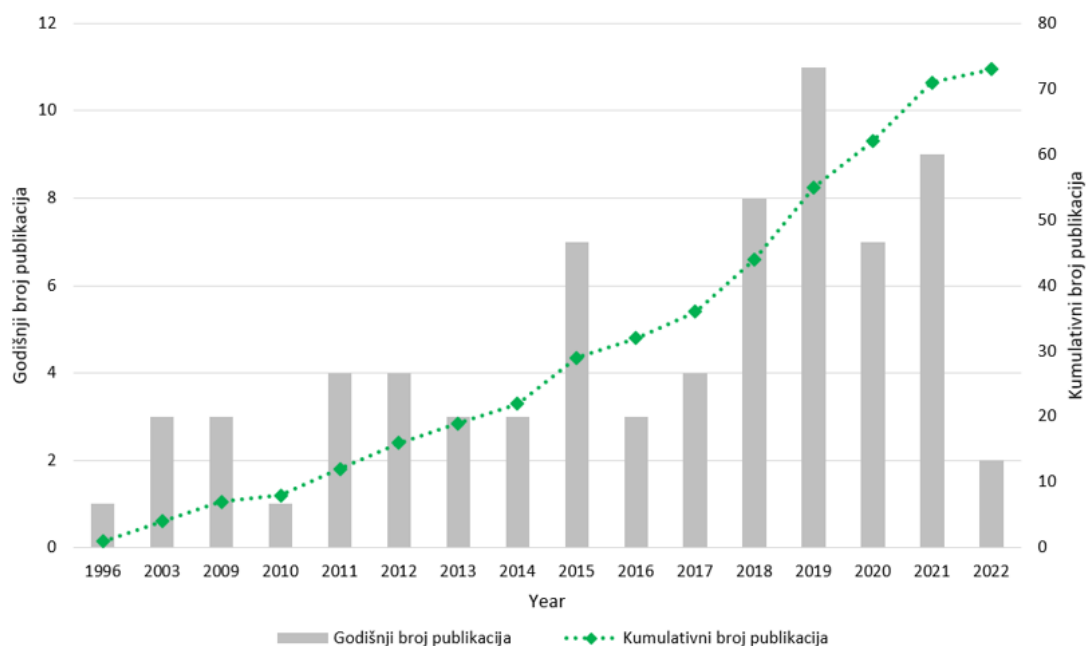


Slika 9. Dijagram toka bibliometrijske studije (Spasenic i drugi, 2022c)

### *Analiza frekventnosti publikovanja*

Finalni uzorak publikacija pokriva period od 1996. godine do 2022. godine. Nakon pionirskog istraživanja *Kahn*-a (1996), period od 1997. do 2002. godine karakteriše nulta produkcija radova u ovoj oblasti. Veća zainteresovanost istraživača, koja je primetna od 2015. godine, može biti rezultat nekoliko faktora. Prvo, 2012. godine istekao je prvi obavezujući period protokola iz Kjota zbog čega se javila potreba za analizom ostvarenih rezultata. Drugo, 2015. godine je usvojen Ugovor iz Pariza kao pravno obavezujući dokument o klimatskim promenama. Konačno, 2015. godine su usvojeni ciljevi održivog razvoja koji su praćeni snažnom međunarodnom promotivnom kampanjom UN kako bi se ukazalo na značaj njihovog ostvarenja. Kao što je prethodno elaborirano dostizanje ciljeva svake od navedenih inicijativa zahteva značajne investicije u izgradnju infrastrukture za eksploataciju OIE što doprinosi zainteresovanosti naučne zajednice za projektno finansiranje OIE. Detaljan trend publikovanja prikazan je na slici 10.





Slika 10. Broj publikacija koje su objavljene u periodu od 1996. do 2022. godine (Spasenic i drugi, 2022c)

Podršku ostvarenju ciljeva održivog razvoja dali su brojni naučni časopisi iz oblasti energetike što je takođe pozitivno uticalo na naučno-istraživački output od 2015. godine pa nadalje. Časopisi su jasno istakli svoju zainteresovanosti za radove koji doprinose ostvarenju sedmog cilja održivog razvoja a koji se odnosi na proizvodnju energije iz OI. Časopis *Energy Policy* je objavio 9 od 73 radova iz uzorka što ga stavlja na prvu poziciju po broju objavljenih radova. Doprinos časopisa *Energy Policy* je izuzetno značajan ukoliko se ima u vidu da su ostali časopisi objavili ne više od 3 rada pojedinačno. Najcitiraniji radovi, kao što je objašnjeno u nastavku, objavljeni su u uticajnim multidisciplinarnim časopisima iz oblasti energetike i ekonomije: *Energy Economics*, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* i *Energy Policy*.

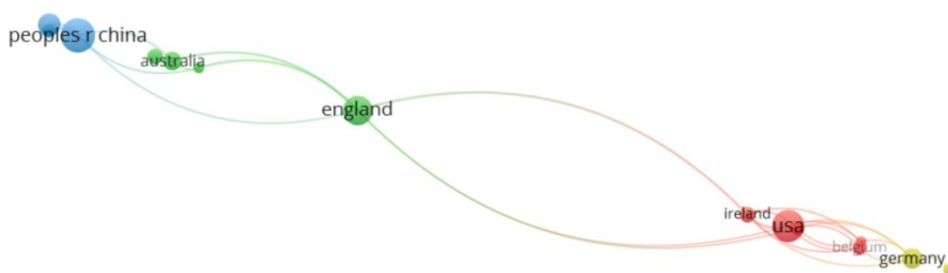
#### *Analiza najproduktivnijih autora*

Autor sa najvećim brojem objavljenih radova je *Song Jing Wang* iz Kine koji je objavio 4 rada sa fokusom na projektno finansiranje izgradnje hidroelektrana. Samo tri autora su objavila po dva rada dok su ostali autori objavili po jedan rad. Posledično, saradnja između različitih autora je gotovo nepostojeća.

#### *Analiza doprinosa i saradnje između različitih zemalja*

Listu zemalja prema broju publikacija predvodi Kina sa 14 radova. Slede je SAD, Engleska i Italija sa objavljenih 13, 11 i 7 radova respektivno. Na slici 11 prikazan je intenzitet saradnje između različitih zemalja korišćenjem *WOSViewer* programa. Slika prikazuje slabu saradnju između autora iz različitih zemalja što (i) ograničava komparativne studije i (ii) međunarodnu razmenu znanja i iskustava. Detaljnije objašnjenje vizuelnih prikaza

podataka i njihovog tumačenja korišćenjem *WOSViewer* programa dato je u delu koji se bavi analizom sadržaja.



Slika 11. Mapa saradnje između različitih zemalja (Spasenic i drugi, 2022c)

### *Analiza najcitajnijih publikacija*

Tabela 3 daje pregled 10 najcitiranijih publikacija. Broj citata publikacije je indikator njenog značaja i uticaja u određenoj oblasti. U strukturi najcitiranijih publikacija dominiraju radovi objavljeni od 2015. do 2022. godine. U nastavku je dat kratak prikaz predmeta i rezultata istraživanja 10 najcitiranijih radova iz istraživačkog uzorka.

Tabela 3. Pregled 10 najcitiranijih radova iz uzorka

Rang	Autor	Naslov	Časopis	Impakt factor za 2021.	Broj citata
1	Steffen (2018)	The importance of project finance for renewable energy projects	Energy Economics	9,252	81
2	Baker (2015)	The evolving role of finance in South Africa's renewable energy sector	Geoforum	3,926	61
3	Okoye i Orenekwu-Okoye (2018)	Economic feasibility of solar PV system for rural electrification in Sub-Sahara Africa	Renewable & Sustainable Energy Reviews	16,799	41
4	Kann (2009)	Overcoming barriers to wind project finance in Australia	Energy Policy	7,576	39
5	Frisari i Stadelmann (2015)	De-risking concentrated solar power in emerging markets: The role of policies and international finance institutions	Energy Policy	7,576	37
6	Pryor i drugi (2018)	Interannual variability of wind climates and wind turbine annual energy production	Wind Energy Science Research on the Renewable Energy	/	25
7	Lyu i Shi (2018)	Research on the Renewable Energy Industry Financing Efficiency Assessment and Mode Selection	Sustainability	3,889	19
8	Lüdeke-Freund i Looock (2011)	Debt for brands: tracking down a bias in financing photovoltaic projects in Germany	Journal of Cleaner Production	11,072	18
9	Kahn (1996)	The production tax credit for wind turbine powerplants is an ineffective incentive	Energy Policy	7,576	17
10	Barroco i Herrera (2019)	Clearing barriers to project finance for renewable energy in developing countries: A Philippines case study	Energy Policy	7,576	15

Steffen (2018) daje odgovor na dva istraživačka pitanja: (i) Koliko je učešće i značaj projektnog finansiranja OIE u Nemačkoj? i (ii) Koji su osnovni razlozi za korišćenje projektnog umesto korporativnog finansiranja? Rezultati istraživanja, sprovedenog na

uzorku od 468 elektrana, od čega je 60% vetroparkova, pokazuju da je učešće projektnog finansiranja 83%, 83%, 36% i 28% za projekte instalisane snage 10-20MW, 20-50MW, 50-100 MW i >100MW respektivno. Navedeni rezultati potvrđuju značaj projektnog finansiranja za projekte realizovane u periodu 2010-2015. godine a posebno za finansiranje manjih projekata koji su kvalifikovani za podsticaje po modelu fiksne otkupne cene. Prema istom istraživanju, najznačajniji pokretači (engl. *drivers*) projektnog finansiranja su (i) mogućnost finansiranja projekta nezavisno od finansijskih performansi investitora i (ii) ublažavanje agencijskog problema na relaciji investitor – menadžment kroz visoku zaduženost koja ograničava visinu slobodnih novčanih tokova. Prvi argument u korist projektnog finansiranja je njegova tradicionalna (klasična) prednost u odnosu na korporativno finansiranje o čemu je već bilo reči u prethodnim delovima disertacije. Kontrola potencijalno destruktivnih odluka menadžera da investiraju viškove gotovine u projekte koji imaju negativnu neto sadašnju vrednost (engl. *net present value*) se postiže visokim učešćem duga u strukturi izvora finansiranja čime se generisana gotovina primarno koristi za otplatu kredita. Navedeni argument je poznat kao Jensenova teorija (Jensen, 1986).

Baker (2015) istražuje značaj projektnog finansiranja u Južnoafričkoj Republici za ekspanziju projekata eksploatacije OIE nakon zamene modela podsticaja zasnovanih na fiksnoj otkupnoj ceni električne energije novim programom tržišnih tendera koji je imao za cilj povećanje investicija privatnog sektora u energetska infrastrukturu (engl. *renewable energy independent power producers' programme*). Sve do 2011. godine projektno finansiranje nije bilo zastupljeno u oblasti proizvodnje električne energije. Nakon 2011. godine, od 64 analizirana projekta, 56 je finansirano kroz model projektnog finansiranja. Prema istraživanju, osnovne karakteristike projektnog finansiranja su visoko učešće kredita u strukturi finansiranja (do 80%) i kompleksna vlasnička struktura projektnog preduzeća koja onemogućava jednoznačno određivanje geografskog porekla investicije.

Investiciona isplativost projektnog finansiranja fotonaponskih solarnih elektrana u regionu podsaharske Afrike predmet je istraživanja Okoye i Orenekwu-Okoye (2018). Procena profitabilnosti i likvidnosti projekta je zasnovana na izračunavanju neto sadašnje vrednosti i analizi njene osetljivosti korišćenjem studije slučaja projektnog finansiranja solarne elektrane u Nigeriji. Kvantitativni rezultati istraživanja potvrđuju sposobnost projekta da uredno otplaćuje glavnice i kamatu po kreditu za projektno finansiranje. Analiza osetljivosti pokazuje visoku osetljivost projekta na promenu cene električne energije (povećanje cene električne energije od 1% povećava neto sadašnju vrednost za 3,9%) dok je uticaj promene roka dospeća kredita, kamatne stope i stope poreza na dobit na neto sadašnju vrednost značajno manji (koeficijent elastičnosti <1).

Barijere za projektno finansiranje vetroparkova u Australiji predmet su istraživanja Kann-a (2009). Prema rezultatima istraživanja, glavne prepreke za projektno finansiranje su regulatorni rizik, nemogućnost zaključenja dugoročnih ugovora o otkupu električne energije i ograničena kreditna aktivnost banaka kao posledica svetske ekonomske krize aktuelne u vreme sprovođenja istraživanja. Kann predlaže četiri alternative za projektno finansiranje: (i) korporativno finansiranje, (ii) odlaganje projektnog finansiranja vetroparkova do ponovnog uspostavljanja podsticajnog regulatornog okvira, (iii)

fokusiranje malih investitora na početne faze projekta kao što su izbor lokacije i pribavljanje dozvola nakon čega bi projekat prodali velikim investitorima koji su podobni za korporativno finansiranje i (iv) zajedničko ulaganje različitih investitora kroz partnerstva.

Studija *Frisari*-a i *Stadelmann*-a (2015) se bavi modelovanjem projektnog finansiranja koncentrovane solarne energije kroz tri dimenzije koje obuhvataju (i) analizu ugovora između učesnika u projektnom finansiranju, (ii) ocenu isplativosti investicije izračunavanjem neto sadašnje vrednosti i (iii) podelu rizika između ugovornih strana u projektnom finansiranju. Analizom studije slučaja iz Maroka i studije slučaja iz Indije, autori zaključuju da državne finansijske institucije i fondovi pozitivno utiču na profitabilnost projekta i mitigovanje rizika projektnog finansiranja kroz smanjenje prosečne cene kapitala i produženje rokova otplate kredita. Kreditiranje projekta od strane međunarodnih finansijskih institucija u valuti koja je različita od nacionalne valute zemlje u kojoj se projekat realizuje može poništiti pozitivne efekte državnih podsticaja za OIE zbog čega se predlaže indeksiranje cene električne energije u istoj valuti u kojoj je odobren kredit.

Efikasnost investicija u OIE koje su finansirane po modelu projektnog finansiranja predmet je istraživanja Lyu i Shi (2018). Istraživanje pokazuje da je projektno finansiranje najzastupljeniji model finansiranja OIE koji, i pored svoje kompleksnosti, omogućava investitorima sa slabijim kreditnim rejtingom da realizuju projekte u oblasti energetike kroz adekvatnu diverzifikaciju rizika povezanih sa eksploatacijom OIE.

Projektno finansiranje vetroparkova u SAD je predmet interesovanja *Pryor*-a i drugih (2018). Autori istražuju uticaj međugodišnjih oscilacija u jačini vetra na visinu troškova projektnog finansiranja izgradnje vetroparka. U osnovi istraživanja nalazi se opravdana, polazna, pretpostavka da je jačina vetra najvažniji faktor koji utiče na ostvarenu proizvodnju električne energije. Posledično, procena varijabilnosti jačine vetra utiče na rizik projekta i troškove njegovog finansiranja. Prema rezultatima istraživanja, kreditori imaju veoma konzervativan pristup i oslanjaju se na procene varijabilnosti jačine vetra koje su značajno iznad projektovanih zbog čega su troškovi projektnog finansiranja vetroparkova neopravdano visoki usled percepcije većeg kreditnog rizika projekta.

Lüdeke-Freund i Looock (2011) tvrde da kreditori u Nemačkoj preferiraju projektno finansiranje fotonaponskih solarnih elektrana koje koriste najmoderniju tehnologiju premijum brendova u odnosu na stariju i jeftiniju tehnologiju. Fenomen su nazvali „kreditiranje brendova“ (engl. *debt for brands*). Nasuprot očekivanjima autora, ratio pokriva servisiranja duga (engl. *debt service coverage ratio - DSCR*) i kreditni rizik projekta predstavlja sekundarne kriterijume za donošenje kreditnih odluka u odnosu na korišćenu tehnologiju. Rezultati istraživanja podstiču investitore da koriste najmodernija tehnološka rešenja. Takođe, autori zaključuju da tehnološke kompanije mogu iskoristiti rezultate istraživanja kao prodajni argument za svoju tehnologiju.

Studija Kahn-a (1996) pripada grupi istraživanja koja se bavi ocenom efikasnosti nacionalnih podsticaja za proizvodnju energije iz OI. Zbog negativnih eksternalija povezanih sa eksploatacijom fosilnih goriva, SAD su 1992. godine uvele poreski kredit kao oblik subvencije po kWh proizvedene električne energije iz OI. Istraživanje je fokusirano na projektno finansiranje izgradnje vetroparkova i pokazuje da se poreski krediti mogu

iskoristiti samo u slučaju projekata koji su dominantno financirani iz kapitala. Isplatom iznosa poreskih kredita u vidu novčane subvencije struktura projektnog financiranja vetroparkova bi mogla biti pomerenjena u korist kreditnih izvora što bi imalo za rezultat smanjenje prosečne cene kapitala projekta.

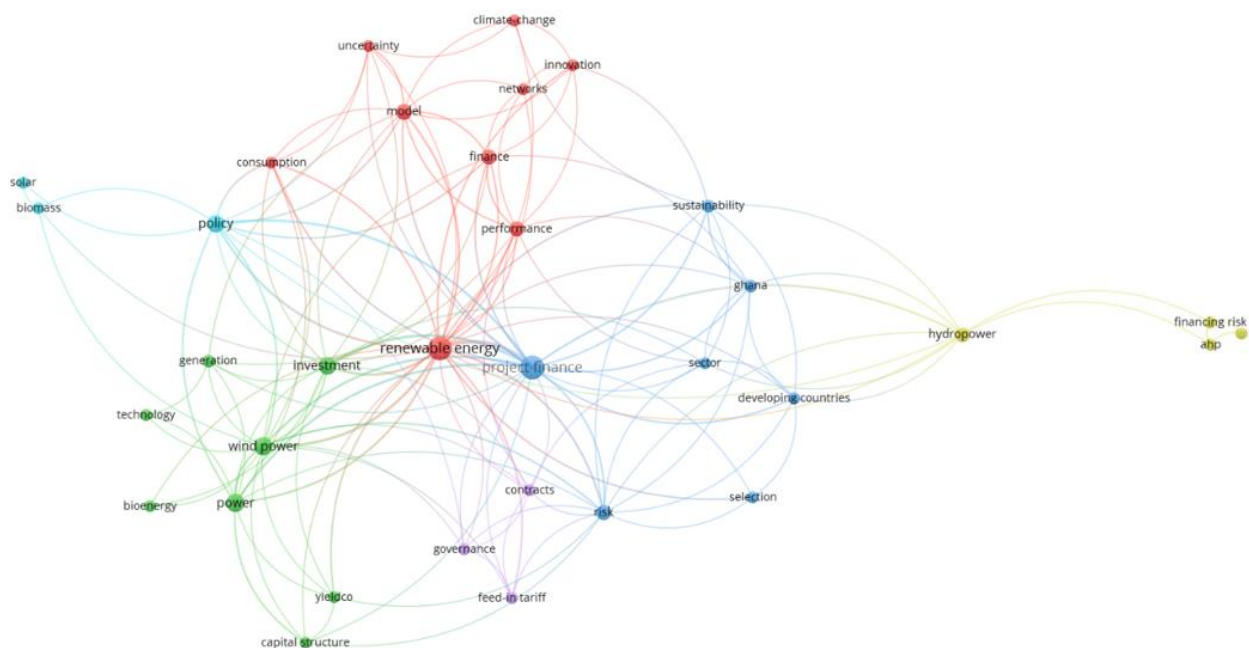
Barroco i Herrera (2019) imaju sličan pristup tematici projektnog financiranja OIE kao Steffen (2018). Koristeći studiju slučaja Filipina, kao zemlje u razvoju, autori istražuju faktore koji utiču na podobnost projekta za projektno ili korporativnog financiranje. Suprotno rezultatima *Steffen*-a, autori pokazuju da projektno financiranje nije značajan metod financiranja malih projekata u sistemu podsticaja zasnovanih na modelu fiksne otkupne cene električne energije. Projektno financiranje je češće korišćeno od strane kompanija iz sektora energetike za velike projekte eksploatacije OIE koje karakteriše stabilna proizvodnja električne energije i visok faktor kapaciteta (HE i GE).

### *Analiza sadržaja*

Ključne reči ukazuju na osnovni sadržaj i temu publikacije. Analiza autorskih ključnih reči i ključnih reči plus je sprovedena korišćenjem *VOSviewer* alata (verzija 1.6.17). *VOSviewer* alat koriste brojne bibliometrijske studije za potrebe klasterovanja, kreiranja bibliometrijskih mreža i vizuelnog prikaza rezultata. Donthu et al. (2021) objašnjavaju osnovna pravila za tumačenja vizuelnih prikaza dobijenih korišćenjem *VOSViewer*-a:

- Svaki čvor predstavlja entitet (npr. članak, autor, zemlja, institucija, ključna reč ili časopis).
- Veličina čvora je u pozitivnoj korelaciji sa brojem pojavljivanja entiteta u uzorku. Entiteti koji se javljaju veći broj puta predstavljeni su većim čvorovima.
- Međusobna povezanost između čvorova predstavljena je linijama pri čemu su debljina linija i njihova gustina u pozitivnoj korelaciji sa jačinom veze.
- Svaka boja predstavlja jedan tematski klaster, odnosno oblast istraživanja, a čvorovi i njihove međusobne veze ukazuju na, potencijalne, uže tematske jedinice unutar klastera.

Na slici 12 data je mapa korelacije ključnih reči koje, u skladu sa *VOSviewer* terminologijom, predstavljaju entitete a vizuelno su prikazane čvorovima po principu jedna ključna reč – jedan čvor. Mapa korelacije je kreirana na način da prikazuje ključne reči koje se pojavljuju najmanje 2 puta. Spajanje sinonima kao i spajanje istih ključnih reči koje se javljaju u jednini i množini izvršeno je korišćenjem *VOSviewer* tezaurus fajla (engl. *VOSviewer thesaurus file*).



Slika 12. Mapa korelacije između ključnih reči (Spasenic i drugi, 2022c)

Na slici 12 vidljive su dve tačke nagomilavanja odnosno centralne ključne reči karakteristične za identifikovane klasterne. Ključni pojmovi su „projektno finansiranje“ (engl. *project finance*) i „obnovljiva energija“ (engl. *renewable energy*) što je direktna posledica kombinacije ključnih reči korišćenih prilikom pretraživanja baze podataka. Imajući u vidu disperziju klastera kao i slabu gustinu linija koje povezuju entitete, što je posledica malog broja publikacija u uzorku, teško je identifikovati nedvosmislene i čvrste tematske celine ali se mogu izvesti određena zapažanja. Većina publikacija se bavi projektnim finansiranjem vetroparkova što je u skladu sa trendovima predstavljenim u drugom poglavlju doktorske disertacije. Značajan pravac istraživanja je analiza karakteristika nacionalnih politika (engl. *policy*) koja je usmerena na merenje efikasnosti različitih sistema podsticaja za eksploataciju OIE. Žuti klaster je izolovan od ostalih tematskih celina jer se odnosi na specifičan pravac istraživanja. Ključna tema žutog klastera je analiza rizika projektnog finansiranja izgradnje hidroelektrana zasnovana na metodi analitičkih hijerarhijskih procesa (engl. *analytical hierarchy process – AHP*).

### Diskusija

Cilj ovog dela disertacije bio je da pruži detaljan bibliometrijski pregled publikacija u oblasti projektnog finansiranja OIE. Pretraživanje WoS baze podataka, finalni istraživački uzorak obuhvatio je 73 publikacije. Počevši od poslednje dekade XX veka, kada je objavljen prvi naučni rad u ovoj oblasti, broj publikacija beleži spor ali konstantan rast zahvaljujući globalnom rastu potrošnje energije (Cabeza i drugi, 2018) i ambiciozno postavljenim ciljevima u pravcu povećanja proizvodnje energije iz OI čije ostvarenje zahteva adekvatne izvore finansiranja (Donastorg i drugi, 2017).

Analiza najuticajnijih publikacija pokazuje da su istraživanja geografski ograničena na teritoriju jedne ili malog broja zemalja. Iako su autori iz razvijenih zemalja najproduktivniji,

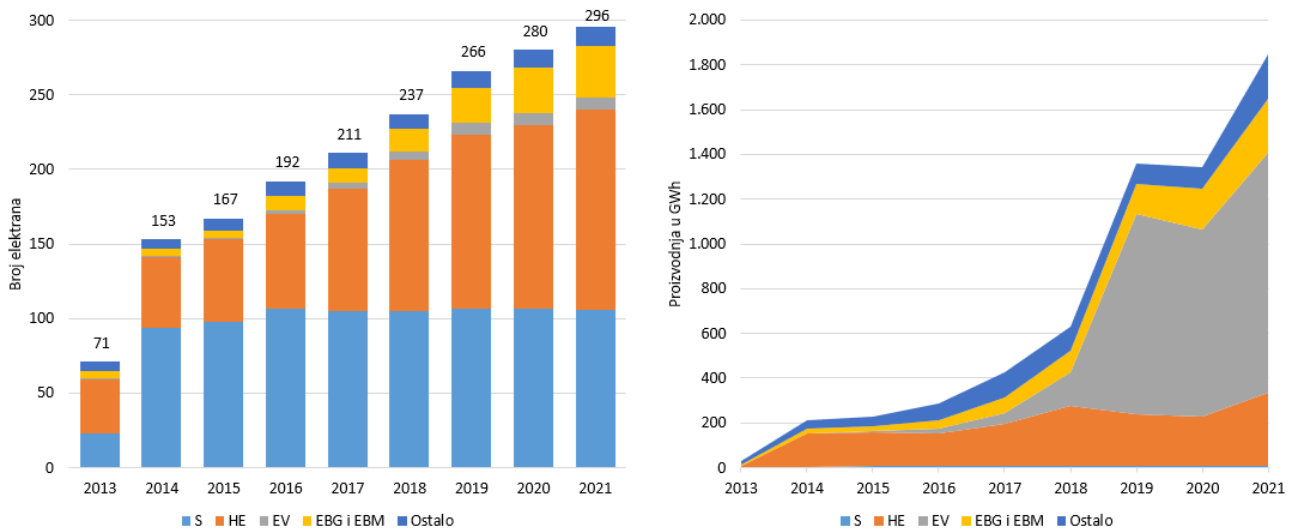
u strukturu najcitiranijih publikacija podjednako su zastupljena istraživanja koja se bave praksom projektnog finansiranja OIE u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju.

Analizom ključnih reči identifikovani su klasteri odnosno tematske celine u oblasti projektnog finansiranja OIE. Najznačajniji pravci istraživanja odnose se na značaj i doprinos projektnog finansiranja u eksploataciji OIE. Istraživanja se bave prednostima i nedostacima strukture projektnog finansiranja kao i faktorima koji utiču na intenzitet projektnog finansiranja. Druge značajne oblasti istraživanja su doprinosi i ograničenja institucionalnog okruženja i nacionalnih podsticajnih mera kao i analiza rizika povezanih sa projektima eksploatacije OIE. Buduća istraživanja se mogu usmeriti u pravcu šire definisanog predmeta istraživanja kroz uključenje novih ključnih reči i pretraživanje drugih baza podataka kao što su *SCOPUS*, *GoogleScholar* i *Crossref*.

## **2.6. Projektno finansiranje obnovljivih izvora energije u Republici Srbiji**

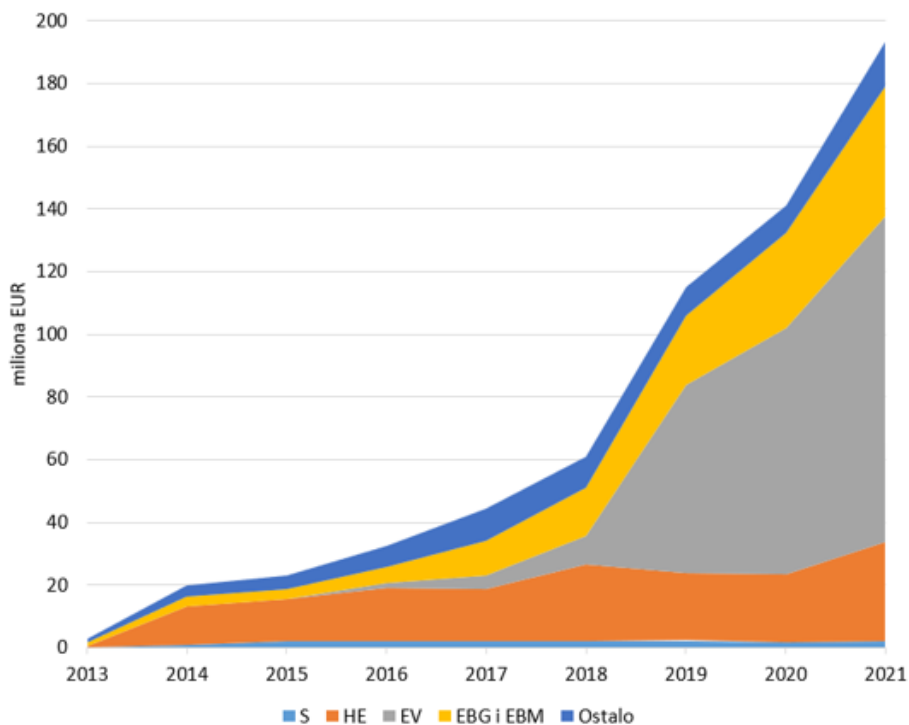
RS kroz niz mera nastoji da promoviše i podrži proizvodnju električne energije iz OI. U cilju podsticanja investicija, RS je subvencionisala proizvodnju električne energije iz OI kroz model fiksne otkupne cene (engl. *feed-in tariff – FIT*) sa garantovanim periodom otkupa od 12 godina. Prema *FIT* modelu privilegovani proizvođač električne energije iz OI ostvaruje pravo na fiksnu otkupnu cenu određenu po kWh proizvedene energije u periodu trajanja podsticaja. Ugovorom o otkupu električne energije (engl. *power purchase agreement – PPA*), EPS se obavezuje da otkupi električnu energiju od privilegovanog proizvođača koji ima status prioriteta na distributivnoj mreži. Prioritetni status proizvođača obavezuje EPS da otkupi svu električnu energiju proizvedenu u sistemu podsticaja. Zakonom o korišćenju obnovljivih izvora energije iz 2021. godine (Zakon, 2021) *FIT* model podsticaja zamenjen je modelom tržišne premije koja se određuje u postupku aukcija.

*FIT* model podsticaja imao je pozitivne efekte na eksploataciju OIE u RS. Na slici 13 (levo) prikazano je kretanje broja elektrana u sistemu podsticaja za period od 2013. do 2021. godine. Prema izveštajima EPS-a o isplaćenim podsticajima povlašćenim proizvođačima električne energije (EPS, 2013-2021), na kraju 2021. godine, najbrojniji su projekti eksploatacije HE (134), SE (106) i energije iz biogasa (EBG, 34). Od 2019. godine jedna elektrana u RS proizvodi električnu energiju iz biomase (EBM). Najveća količina električne energije u sistemu podsticaja proizvedena je u 8 vetroparkova (slika 13, desno) čiji se instalisani kapacitet značajno povećao od 2019. godine izgradnjom vetroparkova Čibuk 1, Kovačica, Alibunar i Košava instalisane snage 159 MW, 105 MW, 42 MW i 68 MW respektivno. Prikazana struktura proizvodnje prema izvorima nije iznenađujuća s obzirom na to da 8 vetroparkova ima ukupno instalisani kapacitet od 398 MW dok 134 hidroelektrane imaju ukupnu instalisanu snagu od 96,6 MW. Posledično, prosečna instalisana snaga postrojenja za eksploataciju OIE varira od 0,083 MW za solarnu energiju do 49,7 MW za energiju vetra.



Slika 13. Broj elektrana (levo) i količina proizvedene električne energije (desno) u sistemu podsticaja (ilustracija autora)

Povećanje količine električne energije proizvedene u sistemu podsticaja imalo je za rezultat rast iznosa isplaćenih novčanih sredstava povlašćenim proizvođačima. Slika 14 prikazuje dinamiku visine i strukture otkupljene električne energije u hiljadama evra od strane EPS-a preračunato po prosečnom srednjem kursu u toku kalendarske godine za koju su podsticaji isplaćeni (EPS, 2013-2021). Iznos isplaćen povlašćenim proizvođačima porastao je sa 3 miliona evra u 2013. godini na 193 miliona evra u 2021. godini. Tokom 2021. godine najveći iznos podsticaja dobili su vetroparkovi (104 miliona evra) dok su najmanji iznos, iako najbrojniji, dobili proizvođači iz solarne energije (2,3 miliona evra).



Slika 14. Iznos isplaćen povlašćenim proizvođačima električne energije u periodu od 2013. do 2021. godine (ilustracija autora)



Bankarski sektor Republike Srbije, u drugom kvartalu 2022. godine, čine 22 banke (NBS, 2022). Ne postoje javno dostupni podaci o kreditnoj aktivnosti banaka u oblasti finansiranja projekata za eksploataciju OIE. Prema istraživanju Vejnovića i Gallop (2018), lider u oblasti finansiranja OIE je Erste banka a na drugom mestu je UniCredit banka. Ostale banke se sporadično javljaju kao kreditori OIE ali se navedeno istraživanje bavi isključivo finansiranjem izgradnje MHE.

Korišćenjem javno dostupnih podataka za vetroparkove i MHE, kao najznačajnijih kapaciteta za eksploataciju OIE, sprovedeno je istraživanje kreditne aktivnosti banaka tokom drugog kvartala 2022. godine u oblasti projektnog finansiranja. Istraživanje se zasniva na proveru ispunjenosti tri od pet prethodno navedenih kriterijuma Barroco i Herrera (2019): (i) preduzeće generiše prihode isključivo od prodaje električne energije – elektrana je SPV, (ii) kredit je prikazan kao obaveza u bilansu stanja elektrane – SPV je dužnik po kreditu i (iii) sredstva SPV-a i ugovor o otkupu električne energije su založeni kao obezbeđenje po kreditu banke – kolateral je imovina SPV-a. Preostala dva kriterijuma koja se odnose na kreditiranje bez prava regresa na imovinu povezanih lica i klasifikaciju kredita od strane banke ne mogu se proveriti na osnovu javno dostupnih podataka. Klasifikacija kredita od strane banke ne utiče značajno na suštinu i preovlađujuće karakteristike strukture projektnog finansiranja dok bi pravo regresa na imovinu povezanih lica ukazalo na dobijanje garancija treće strane što svakako nije specifičnost projektnog finansiranja.

MHE i vetroparkovi su identifikovani korišćenjem registra povlašćenih proizvođača iz OIE (Ministarstvo rudarstva i energetike, 2022) koji sadrži rešenje o sticanju status na osnovu koga se mogu nedvosmisleno identifikovati elektrane (preduzeća) u sistemu podsticaja. Prethodno navedeni kriterijumi, koji su predmet provere, validovani su korišćenjem platforme [www.checkpoint.rs](http://www.checkpoint.rs) koja sadrži podatke iz finansijskih izveštaja privrednih društava i teretima upisanim na imovini preduzeća. Ukupno je analizirano 8 vetroparkova i 134 MHE.

Od 8 vetroparkova, samo vetropark Devreč 1 u Tutinu nije finansiran po modelu projektnog finansiranja. Radi se o prvom vetro generatoru snage 0,5 MW koji je instaliran u RS. Preostalih 7 vetroparkova finansirano je od strane banaka po modelu projektnog finansiranja. U zavisnosti od instalisane snage koja varira od 6,6 MW (vetropark La Piccolina) do 158 MW (vetropark Čibuk 1) pojedini projekti nisu finansirani samostalno od strane jedne banke već kroz model sindiciranog kreditiranja. UniCredit banka je kreditor za 5 projekata, Erste banka je kreditor za 3 projekata dok se AIK banka pojavljuje u kreditiranju samo jednog projekta.

Uključenost većeg broja banaka u projektno finansiranje OIE identifikovana je za MHE. Od ukupno analizirane 134 MHE koje se nalaze u registru povlašćenih proizvođača 7 nije u statusu aktivno odnosno više ne postoje, dok je projektno finansiranje identifikovano za 77 preduzeća. Erste banka je finansirala 35, UniCredit banka 15, AIK banka 14, Intesa banka 4, Credit Agricole banka 3, OTP banka 2, Halk banka 2, ProCredit banka 1 i Addico banka 1 MHE.

Rezultati istraživanja su konzistentni sa rezultatima istraživanja Vejnovića i Gallop-a (2018) i potvrđuju da su Erste banka i UniCredit banka vodeće banke u projektom

finansiranju kapaciteta za eksploataciju OIE. Eksperti iz ovih banaka izabrani su za učesnike u istraživanju za potrebe doktorske disertacije.

### 3. Kreditni rizik

U praksi i akademskoj literaturi ne postoji jedinstvena, univerzalno prihvaćena, definicija rizika. Zajedničko za sve definicije rizika jeste da rizik čini kombinacija verovatnoće nastanka neželjenog događaja i ozbiljnosti njegovih posledica (Ericson, 2005; Rausand, 2013; Aven, 2016; Makajić-Nikolić, 2019). Sveobuhvatan i efikasan proces analize i upravljanja rizikom ima za cilj da identifikuje rizične događaje, kvantifikuje rizik, izvrši rangiranje rizičnih događaja i predloži korektivne akcije za umanjenje rizika.

#### 3.1. Pojam kreditnog rizika

Banka je u svom poslovanju izložena različitim rizicima (NBS, 2011b). Kreditni rizik se može definisati kao „mogućnost nastanka negativnih efekata na finansijski rezultat i kapital banke usled neizvršenja obaveza dužnika prema banci. Banka je dužna da upravlja kreditnim rizikom na nivou pojedinačnih plasmana i celokupnog kreditnog portfolija“ (NBS, 2011b; str. 18). Obaveza analize i upravljanja kreditnim rizikom nametnuta je banci kako bi se zaštitili njeni poverioci od gubitka depozita koji može biti posledica nemogućnosti banke da naplati potraživanja od svojih dužnika.

Druga faza prethodno prikazanog procesnog modela projektnog finansiranja (slika 4) i druga faza kreditnog procesa (slika 5) podrazumevaju analizu kreditnog zahteva potencijalnog ili postojećeg klijenta od strane banke. Kreditni zahtev investitora za projektno finansiranje prolazi kroz kreditni proces koji bi trebalo da bude zasnovan na jasnim kriterijumima i principima za odobravanje novih i reprogram i restrukturiranje postojećih plasmana (NBS, 2011b). Tokom kreditnog procesa banka nastoji da proceni kreditnu sposobnost dužnika korišćenjem kvantitativnih i kvalitativnih kriterijuma a procena kreditnog rizika, kao rezultat kreditnog procesa, mora biti jasno dokumentovana. Cilj banke jeste selekcija i kreditiranje klijenata sa prihvatljivom verovatnoćom pogoršanja kreditne sposobnosti koja bi dovela do nenaplativosti potraživanja po osnovu plasiranih kredita.

Difolt (engl. *default*) dužnika označava pogoršanje njegove kreditne sposobnosti i otplatnog kapaciteta koje ima za rezultat nemogućnost dužnika da izmiri svoje obaveze prema ugovorenim kreditnim uslovima sa bankom. Verovatnoća nastupanja difolta u periodu od godinu dana naziva se verovatnoća difolta dužnika (eng. *probability of default – PD*) i predstavlja kvantitativnu meru kreditnog rizika dužnika. Prema regulativi Narodne banke Srbija (NBS, 2016) difolt dužnika postoji kada je ispunjen jedan od naredna dva uslova:

1. banka smatra malo verovatnim da će dužnik u potpunosti izmiriti svoju obavezu prema banci ili društvima povezanim sa bankom, ne uzimajući u obzir mogućnost realizacije instrumenata kreditne zaštite,
2. dužnik je u docnji više od 90 dana po bilo kojoj materijalno značajnoj obavezi prema banci ili društvima povezanim sa bankom.

Pod materijalno značajnom obavezom dužnika smatra se obaveza čiji je iznos veći od 1% pojedinačne obaveze dužnika prema banci ali iznos obaveze ne može biti manji od 1.000 RSD ako je dužnik fizičko lice odnosno ne može biti manji od 10.000 RSD ako je dužnik pravno lice (NBS, 2011a).

Okvir za analizu kreditnog rizika definisan je Odlukom NBS o upravljanju rizicima (NBS, 2011b) prema kojoj je banka dužna da utvrdi kriterijume i principe za odobravanje novih i restrukturiranje postojećih plasmana. Procena kreditnog rizika mora biti zasnovana na kvantitativnim i kvalitativnim pokazateljima koji adekvatno odslikavaju specifičnosti konkretnog dužnika i njegovog kreditnog zahteva. Regulatorna koja uređuje oblast upravljanja kreditnim rizikom ne propisuje metodologiju koja se mora ili može koristiti već daje opšte smernice za organizaciju internih procesa u banci kao i kvalitativne karakteristike koje taj proces mora da ispuni.

Ciljevi analize kreditnog rizika, kao jedne od faza kreditnog procesa, su (i) objašnjenje izvora kreditnog rizika i (ii) selekcija klijenata banke na osnovu njihovog kreditnog rizika. Ostvarenju navedenih ciljeva se teži kroz (i) razlaganje kreditnog rizika dužnika na rizike koji se nalaze u njegovoj osnovi i (ii) detaljnu i dokumentovanu analizu identifikovanih rizika. Sprovođenje kreditne analize obuhvata analizu finansijskih izveštaja, kao najčešće korišćenih kvantitativnih pokazatelja, i analizu kvalitativnih informacija o poslovanju dužnika i nameni traženog kredita. Pored korišćenja istorijskih podataka, kreditna analiza podrazumeva i pripremu projekcija otplatnog kapaciteta dužnika tokom perioda trajanja kredita. Zaključci i preporuke kreditne analize dokumentuju se kroz mišljenje o riziku (engl. *risk opinion*) ili procenu rizika (entl. *risk assessment*).

Rezultati kreditne analize su pretežno kvalitativni a rangiranje dužnika na osnovu njihovog kreditnog rizika ili klasterovanje dužnika prema verovatnoći difolta nije moguće. Kvantifikacija kreditnog rizika se postiže izračunavanjem *PD*-a korišćenjem odgovarajućeg rejting modela (engl. *rating model*). Za razliku od kreditne analize koja objašnjava kreditni rizik, svrha rejting modela je kvantifikacija verovatnoće difolta dužnika u rasponu vrednosti od 0 do 1. Na osnovu izračunatog *PD*-a klijenti banke se razvrstavaju u klase pri čemu je skala prosečne verovatnoće difolta po klasama dužnika monotono rastuća. Monotono rastuća rejting skala znači da najbolja klasa dužnika ima najmanju verovatnoću difolta a svaka naredna klasa ima veću verovatnoću difolta (Nikolić, 2014). Detaljan pregled različitih tehnika na kojima se zasnivaju rejting modeli daju Chen i drugi (2015). *PD* jeste jedan od pokazatelja koji se koristi u kreditnoj analizi ali nije odlučujući faktor za donošenje kreditne odluke.

Predmet istraživanja doktorske disertacije nije razvoj novog rejting modela za izračunavanje verovatnoće difolta dužnika već razvoj i praktična primene metodologije za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE. Kvantitativni rezultati primenjene metodologije mogu se koristiti za rangiranje pojedinačnih rizika identifikovanih dekomponovanjem kreditnog rizika i za rangiranje dužnika na osnovu njihovog kreditnog rizika, zbog čega ima elemente kreditnog skoringa, ali isključivo za određivanje rangova a ne kao mera verovatnoće difolta. Kvantitativni rezultati metodologije nemaju upotrebnu vrednost kao *PD* koji se koristi za izračunavanje očekivanih i neočekivanih gubitaka ili rezervisanja za gubitke. Metodologija, i korišćenjem metodologije dobijeni rezultati, doprinose efikasnosti, konzistentnosti i objektivnosti u donošenju kreditnih odluka i preporuka od strane menadžera za analizu i procenu kreditnog rizika u bankama ali nije, i ne može biti, zamena za rejting model koji banka primenjuje.

### 3.2. Specifičnost analize kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije

Zbog velikog broja faktora koji utiču na uspeh projekata eksploatacije OIE, analizi kreditnog rizika projektnog finansiranja se ne može pristupiti kroz analizu isključivo dostupne literature u oblasti finansija jer nisu svi rizici finansijske prirode ali mogu imati negativne finansijske posledice po projekat. To ne znači da menadžer za upravljanje kreditnim rizikom mora biti ekspert za svaki od pojedinačnih rizika ali mora imati razumevanje njegovih osnovnih karakteristika, pojavnih oblika i povezanosti sa ostalim rizicima da bi se procenio njegov potencijalni uticaj na novčane tokove projekta i predložile adekvatne korektivne akcije u cilju njegovog ublažavanja.

Prema najboljem saznanju autora ovog rada, ne postoji jedinstvena i sveobuhvatna lista pojedinačnih rizika razvijena za potrebe analize kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE. Određene smernice za procenu kvaliteta postojećeg plasmana daje Bazelska regulativa ali predloženi kriterijumi nisu sveobuhvatni niti prilagođeni projektnom finansiranju OIE, već su dati kao zajednički za sve oblike projektnog finansiranja kao potkategorije specijalnog kreditiranja (BIS, 2019). Pomenuti kriterijumi se preporučuju za obračun rizikom ponderisane aktive (engl. *risk weighted assets*), ali se mogu koristiti i kao indikatori kvaliteta kreditnog plasmana.

Rizike, koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika, treba analizirati u kontekstu specifičnosti projektnog finansiranja OIE. Na primer, novoosnovano projektno preduzeće nema istoriju poslovanja niti finansijske izveštaje koji bi poslužili za istorijsku analizu njegove profitabilnosti i finansijske pozicije. Uspešnost projekta zavisi od primenjene tehnologije dok potrebe za obrtnim sredstvima zavise od vrste projekta (npr. hidroelektrane i vetroparkovi nemaju obrtna sredstva). Uticaj vremenskih uslova na performanse projekta može biti značajan a projekti su potpuno zavisni od jednog kupca – proizvedenu električnu energiju u celini otkupljuje EPS. Dodatno, posmatrano iz ugla kreditora, finansiranje projekata OIE koji su postali neuspešni je skoro ireverzibilno zbog (i) male verovatnoće refinansiranja neuspešnog projekta od strane vlasnika ili drugih kreditora, (ii) slabe utrživosti kolaterala i (iii) ograničenih mogućnosti za restrukturiranje kredita. Zbog svega navedenog postoji potreba za sveobuhvatnim modelom analize i procene kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE koji uvažava specifičnosti ove vrste kreditnih plasmana.

Višedimenzioni karakter kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE biće ilustrovan na pojednostavljenom primeru izgradnje MHE. Da bi se izgradio bilo koji građevinski objekat, uključujući MHE, neophodno je da se (i) pribave informacije o lokaciji i lokacijskim uslovima, (ii) pribavi građevinska dozvola (iii) angažuje izvođač radova i izgradi građevinski objekat i (iv) izvrši tehnički pregled i prijem objekta i pribavi upotrebna dozvola (Zakon, 2009). Pored navedenog, za izgradnju MHE potrebne su i studija procene uticaja na životnu sredinu i saglasnost na ovu studiju, vodna saglasnost, mišljenje operatora sistema o uslovima priključenja, energetska dozvola, podnošenje zahteva i sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije itd. Ispravnost i potpunost propisane dokumentacije proveravaju nadležni državni organi ali i kreditori ukoliko se izgradnje MHE finansira iz kredita.

Uprkos značajnom naporu koji se ulaže u kontrolu dokumentacije, istraživanje koje su sprovedi Popović i Rajić (2019) pokazuje postojanje MHE u Republici Srbiji koje su izgrađene bez potrebne dokumentacije. Na primer, izgradnja MHE "Jovanovići", na reci Panjici u opštini Arilje, započeta je bez građevinske dozvole koja je naknadno pribavljena. Nekoliko MHE je izgrađeno na reci Jošanica na osnovu građevinskih dozvola bez odgovarajućih uslova za zaštitu životne sredine (MHE "Drenje", MHE "Velež" i MHE "Belci"). Slično, MHE "Ravni" i MHE "Jaruga" su izgrađene bez odgovarajućeg planskog osnova. Finansiranje sličnih projekata od strane banaka sa sobom nosi ne samo visok kreditni rizik već i visok reputacioni rizik. Takođe, jasno je da izvor kreditnog rizika ne moraju biti isključivo rizici koji su finansijske prirode – MHE koja je operativna ali izgrađena bez potrebnih dozvola može imati zadovoljavajuće finansijske rezultate. Ipak, u ovom slučaju, MHE je izložena visokom riziku zabrane poslovanja što bi istovremeno dovelo do potpune nelikvidnosti projekta.

Vodič za investitore u OIE (Ministarstvo rudarstva i energetike, 2015) potvrđuje kompleksnost projekata izgradnje MHE. Naime, investitor bi trebalo da prođe kroz 25 različitih faza pre početka i tokom izgradnje MHE i dodatnih 10 formalno pravnih aktivnosti nakon što je MHE izgrađena da bi projekat ušao u fazu eksploatacije. Složenost procesa izgradnje i početka eksploatacije MHE ima veliki uticaj na kreditni rizik projektnog finansiranja.

Polazeći od osnovnih karakteristika investicija u MHE, može se zaključiti da je većina rizika koji potencijalno imaju uticaj na kvalitet projektnog finansiranja MHE detaljno analizirana u dostupnim istraživanjima. Na primer, nekoliko modela je razvijeno u cilju izbora optimalne lokacije za izgradnju MHE kao prve odluke koju mora doneti investitor zainteresovan za izgradnju MHE (Ibrahim i drugi, 2019; Rojanamon i drugi, 2009; Yi i drugi, 2010; Baker, 2016). Druga istraživanja su bila fokusirana na izbor optimalnog kapaciteta MHE (Hosseini i drugi, 2005; Anagnostopoulos i Papantonis, 2007) i sa kapacitetom MHE povezanim troškovima izgradnje (Aggidis i drugi, 2010; Singal i drugi 2010). Urošević i Marinović (2021) su razvili model koji rangira MHE na osnovu tehničkih, ekonomskih, socijalnih i ekoloških kriterijuma ali se ovaj model ne može koristiti za rangiranje MHE na osnovu njihovog kreditnog rizika. Barroco i Herrera (2019) su istraživali faktore koji određuju izbor između korporativnog finansiranja i projektnog finansiranja kao i važnost „feed-in“ tarifa. Bøckman i drugi (2008) smatraju da najveći rizik čini volatilitet cene struje. Ghumman i drugi (2020) su razvili okvir za izgradnju MHE koji uzima u obzir različite faktore, počev od izbora lokacije pa sve do optimalnog dizajna. Sudirman i Hardjomuljadi (2011) su analizirali rizike povezane isključivo sa fazom izgradnje MHE.

Različita istraživanja pokazuju kako deluje visok ekološki rizik MHE, odnosno njihov negativan uticaj na životnu sredinu i biodiverzitet (Benejam i drugi, 2014; Bonacci i Roje-Bonacci, 2002; Abbasi i Abbasi, 2011, Kuriqi i drugi, 2021), dok Harlan i drugi (2020) analiziraju negativan uticaj MHE na širu društvenu zajednicu. Jasno je da se radi o raznovrsnim rizicima koji mogu imati negativan uticaj na finansijske performanse projekta i posledično izazvati finansijski gubitak za banku.

Analizom dosadašnje literature i istraživanja koja se bave različitim rizicima povezanim sa eksploatacijom OIE, mogu se uvideti sledeći istraživački jazovi koji još uvek nisu dovoljno proučeni:

1. Postojeća istraživanja su pretežno usmerena na istraživanje pojedinačnih rizika ili manje grupe rizika koji mogu rezultovati realizacijom kreditnog rizika projekta, pa je evidentan nedostatak istraživanja koja se bave relativnim značajem (rangiranjem) pojedinačnih rizika, vezama koje postoje između njih, njihovim zajedničkim uticajem na uspeh projekta i kvantifikacijom kreditnog rizika dužnika.
2. Postojeća istraživanja se ne bave detaljnom analizom kreditnog rizika projektnog finansiranja iz perspektive kreditora kao najznačajnijeg učesnika u finansiranju projekta.
3. Analiza kreditnog rizika nije egzaktna, striktno formalna, proces već se u značajnoj meri zasniva na ekspertskom znanju i subjektivnoj proceni menadžera za upravljanje kreditnim rizikom zbog čega postoji neizvesnost u proceni kreditnog rizika koja je ostala izvan detaljnije analize postojećih istraživanja.
4. Konačno, pojedini rizici koji su od značaja za uspešnu eksploataciju OIE ostali su izvan detaljne analize postojećih istraživanja.

Sa ciljem popunjavanja identifikovanih istraživačkih jazova, u narednom poglavlju ovog rada detaljno je opisana i objašnjena metodologija koja će se koristiti za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE. Metodologija je primenjena na primeru opšte studije slučaja projektnog finansiranja izgradnje MHE. Rezultati praktične primene metodologije su lista rizičnih događaja koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika i rangovi rizičnih događaja koji omogućavaju usmeravanje (prioritizaciju) korektivnih akcija sa ciljem optimalne mitigacije pojedinačnih rizika. Analizi kreditnog rizika se pristupa iz ugla kreditora (banke) uz uvažavanje epistemičke neizvesnosti kojoj su izloženi menadžeri za procenu kreditnog rizika tokom kreditnog procesa.

## 4. Metode za procenu rizika

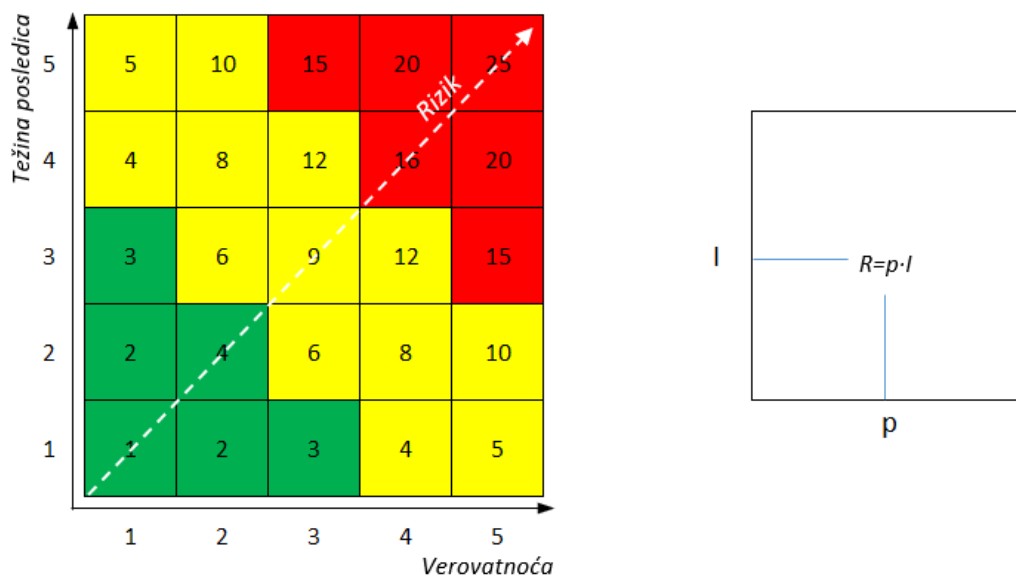
U ovom delu rada prikazane su metode za procenu rizika koje nisu uopšte korišćene ili su neznatno korišćene u oblasti finansija za procenu kreditnog rizika. Takođe, osnovne karakteristike odabranih metoda prikazane su i analizirane u kontekstu mogućnosti njihove primene za analizu i procenu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE.

### 4.1. Matrica rizika

Matrica rizika (engl. *risk matrix*) je metoda za procenu rizika koja kombinuje elemente kvalitativne i kvantitativne analize. Ni i drugi (2010) daju osnovna pravila za korišćenje matrice rizika:

- Matrica rizika se zasniva na dva osnovna elementa koji čine rizik posmatranog događaja - verovatnoća nastanka i ozbiljnost posledica.
- Za konstruisanje matrice rizika neophodno je identifikovati rizične događaje, proceniti verovatnoću rizičnih događaja i ozbiljnost njihovih posledica.
- Rizični događaji se klasifikuju na osnovu rizika (engl. *risk* -  $R$ ) koji se izračunava kao proizvod verovatnoće rizičnog događaja (engl. *probability* -  $p$ ) i težine posledica (engl. *impact* -  $I$ ).

Standardna matrica rizika je dimenzija 5x5 gde je  $p \in [1,5]$ ,  $I \in [1,5]$  i  $R \in [1,25]$ . Skale za ocenu  $p$  i  $I$  se mogu definisati na različite načine. Na primer, ako je  $p = 1$ , verovatnoća rizika je zanemarljiva dok  $p = 5$  implicira skoro neizbežan rizičan događaj. Slično,  $I = 1$  označava rizični događaj čije su posledice zanemarljive dok  $I = 5$  označava rizični događaj sa potencijalno kritičnim posledicama. Definisana na ovaj način, matrica rizika se sastoji od 25 polja podeljenih u 3 površinski nejednake zone. Zelena zona obuhvata događaje niskog rizika (rizik se može tolerisati) dok se žuta (potrebna je dodatna procena da li se rizik može tolerisati) i crvena zona (rizik se ne može tolerisati) odnose na događaje sa srednjim i visokim rizikom respektivno. Svaki rizični događaj se pozicionira u odgovarajućem polju matrice rizika na osnovu izračunate vrednosti za  $R$ . Matrica rizika je prikazana na slici 15.



Slika 15. Matrica rizika i pozicioniranje rizičnih događaja (ilustracija autora)



Matrica rizika se može koristiti kao alat za inicijalnu analizu i grubo klasifikovanje rizičnih događaja. Osnovna prednost matrice rizika je jednostavna primena koja omogućava grupisanje rizičnih događaja i usmeravanje korektivnih akcija za redukciju rizika na rizične događaje u zavisnosti od njihove pozicije u matrici.

Matrica rizika ima značajne nedostatke. *Prvo*, grupisanje rizičnih događaja u tri zone (zelena, žuta ili crvena) ne obezbeđuje dovoljno detaljnu analizu - različiti rizici koji se nalaze u istoj zoni biće tretirani prema matrici rizika na isti način. Navedeni nedostatak se može prevazići rangiranjem rizičnih događaja na osnovu dobijenih vrednosti za *R* i usmeravanjem korektivnih akcija na događaje sa najvećim rizikom. *Drugo*, analiza rizičnih događaja se vrši na osnovu njihove verovatnoće i težine posledica. Mogućnost detekcije rizika, kao značajna komponenta rizičnog događaja, ostaje izvan obuhvata analize. *Treće*, matrica rizika se najčešće zasniva na subjektivnim procenama domenskih eksperata osim u slučaju postojanja istorijskih podataka o rizičnim događajima koji se ne dešavaju retko. *Četvrto*, ako ne postoji jedinstveno mišljenje eksperata o verovatnoći i težini posledica rizičnih događaja nije moguće konstruisati jedinstvenu matricu rizika. *Peto*, svaki rizični događaj se posmatra izolovano i nezavisno od ostalih identifikovanih rizika. Prevazilaženje navedenih nedostataka zahteva primenu dodatnih metoda za analizu rizika koje su objašnjene u nastavku.

## 4.2. Analiza načina i efekata otkaza

Analiza načina i efekata otkaza (eng. *Failure Modes and Effects Analysis – FMEA*) je metoda za procenu rizika koja omogućava rangiranje rizičnih događaja na osnovu njihove verovatnoće, očekivanih posledica i mogućnosti detekcije. *FMEA* je razvijena sredinom XX veka za potrebe vojske Sjedinjenih Američkih Država. Najviše se afirmisala kao tehnika za upravljanje kvalitetom ali je njena raznovrsna primena potvrđena u različitim oblastima kao što su proizvodnja, brodogradnja, avio-inženjerstvo, zdravstvo i elektroinženjerstvo. U oblasti finansija i sa finansijama povezanim disciplinama kao što je računovodstvo, *FMEA* je imala veoma ograničenu primenu. Na primer, Krehbiel i drugi (2009) su teorijski pokazali da se *FMEA*, integrisana u *SIX sigma* metodologiju, može koristiti za unapređenje procesa finansijskog izveštavanja u preduzećima. Makajić-Nikolić i drugi (2011) koristili su *FMEA* za identifikovanje i analizu rizika u poslovanju EPS-a koji su značajni za potencijalnog strateškog partnera u procesu eventualnog restrukturiranja ovog preduzeća. Novija istraživanja su koristila *FMEA* za analizu finansijskih rizika u javno-privatnim partnerstvima (Akçay, 2021) i procenu rizika povezanih sa korišćenjem finansijskih softvera koji obrađuju i sadrže poverljive podatke o klijentima (Triana i Pangabeau, 2021).

Osnovne komponente *FMEA* mogu se definisati na sledeći način (Carlson, 2012; Ericson, 2005; Ayyub, 2003):

1. Otkaz (engl. *failure mode*) je način na koji element sistema otkazuje pod uticajem uzroka otkaza (engl. *failure cause*) koji se odnosi na proces, mehanizam ili događaj koji je pokrenuo otkaz. S obzirom na to da je *FMEA* metoda izvorno nastala u okviru teorije pouzdanosti, termin „otkaz“ je predstavljao najčešći rizični događaj u

- tehničkim sistemima. U analizi rizika, ovaj termin se smatra sinonimom termina „rizični događaj“ u najširem smislu.
2. Verovatnoća nastanka otkaza (engl. *occurrence rating* - *O*) je izglednost (verovatnoća) da će doći do otkaza i njegovih očekivanih posledica (engl. *failure effects*). Ova verovatnoća se procenjuje nezavisno od očekivanih posledica i mogućnosti detekcije otkaza tokom procesa analize rizika.
  3. Verovatnoća detektovanja (engl. *detection rating* - *D*) je sposobnost i efikasnost postojećeg procesa i uspostavljenih procedura za analizu i upravljanje rizikom da detektuju uzroke otkaza pre njegovog nastanka i/ili da detektuju otkaz pre nastanka njegovih posledica.
  4. Ozbiljnost (engl. *severity* - *S*) je uticaj negativnih efekata otkaza na analizirani sistem ili zadovoljstvo krajnjih korisnika.
  5. Broj prioriteta rizika (engl. *risk priority number* – *RPN*) je kvantitativni rezultat *FMEA* analize koji se koristi za rangiranje identifikovanih oblika otkaza. Korektivne akcije za prevenciju ili ublažavanje efekata otkaza potrebno je usmeriti na najviše rangirane oblike otkaza i one oblike otkaza čiji uzroci nisu potpuno poznati. *RPN* se izračunava na sledeći način:

$$RPN = O \cdot D \cdot S \quad (3)$$

Treba naglasiti da se *O*, *D* i *S* ocenjuju na skalama od 1 do 10 koje mogu biti univerzalne ili prilagođene konkretnom sistemu koji se analizira. Prema Ayyub (2003), korektivne akcije je potrebno usmeriti na događaje čiji je *RPN* iznad 125. Woo (2017) detaljnije objašnjava da su događaji čiji je *RPN* iznad 125 rizičniji u odnosu na prosečan rizični događaj ( $5 \cdot 5 \cdot 5 = 125$ ) zbog čega se ova vrednost uzima kao granica za prioritizaciju korektivnih akcija. Nakon preduzimanja korektivnih akcija za sprečavanje i/ili ublažavanje efekata otkaza potrebno je ponovo izračunati *RPN*. Ako korektivne akcije nisu dale zadovoljavajuće rezultate potrebno je predložiti nove akcije za ublažavanje rizika i njegovih posledica. Na osnovu *RPN* se može pripremiti lista kritičnih događaja (engl. *critical item list* - *CIL*) koja predstavlja pregled rizičnih događaja koji su od najvećeg značaja za stabilnost analiziranog sistema.

Prema Carlson (2012) *FMEA* je dizajnirana da (i) identifikuje i objasni potencijalne uzroke i efekte otkaza na određeni sistem i stejkholdere, (ii) oceni rizik nastanka otkaza i rangira rizične događaje i (iii) usmeri korektivne akcije na najkritičnije rizične događaje. Imajući u vidu navedene karakteristike može se zaključiti da je *FMEA* dizajn u skladu sa procesom analize i upravljanja kreditnim rizikom i njegovim očekivanim rezultatima.

Da bi se *FMEA* primenila kao tehnika za analizu i upravljanje kreditnim rizikom potrebno je redefinisati njene najvažnije elemente u kontekstu kreditnog rizika:

1. Otkaz je stanje trajne ili privremene nesposobnost dužnika da otplaćuje kredit u skladu sa inicijalno dogovorenim uslovima a uzrok otkaza predstavlja rizični događaj čija realizacija će pokrenuti kreditnu nesposobnost dužnika.
2. Verovatnoća nastanka otkaza (*O*) je izglednost (verovatnoća) nastanka uzroka otkaza odnosno verovatnoća nastanka rizičnog događaja koji dovodi do kreditne nesposobnosti dužnika.

3. Verovatnoća detektovanja (*D*) je sposobnost i efikasnost menadžera za upravljanje kreditnim rizikom da detektuju rizik u procesu analize kreditnog rizika.
4. Ozbiljnost (*S*) je uticaj negativnih efekata otkaza na kreditnu sposobnost dužnika.

Primeri prilagođenih skala za ocenu *O*, *D* i *S* u kontekstu analize kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE dati su u tabelama 4, 5 i 6 respektivno. Prikazane skale za ocenu faktora rizika korišćene su u istraživanju Spasenic i drugi (2022b).

Tabela 4. Prilagođena skala za ocenu verovatnoće nastanka rizika (*O*)

Verovatnoća nastanka rizika	Rejting	Moguća verovatnoća
Nikakva	1	Rizik se skoro nikada ne javlja.
Vrlo mala	2	Rizik se javlja veoma retko.
Mala	3	Rizik se javlja retko.
Relativno mala	4	Rizik se javlja povremeno.
Umerena	5	Rizik se javlja relativno često.
Umereno visoka	6	Rizik se javlja često.
Visoka - rizici se ponavljaju	7	Visoka verovatnoća javljanja rizika. Rizik se ponavlja.
Visoka - rizici se ponavljaju često	8	Visoka verovatnoća javljanja rizika. Rizik se ponavlja često.
Ekstremno visoka	9	Ekstremno visoka verovatnoća javljanja rizika.
Rizik je skoro neizbežan	10	Rizik je skoro neizbežan.

Tabela 5. Prilagođena skala za ocenu verovatnoće detektovanja (*D*)

Verovatnoća detektovanja	Rejting	Opis
Izvesna	1	Rizik će biti detektovan tokom procesa kreditnog odobrenja (rizik je očigledan).
Skoro izvesna	2	Rizik će skoro izvesno biti detektovan tokom procesa kreditnog odobrenja.
Visoka	3	Rizik može biti detektovan ako se sprovede detaljnija analiza tokom procesa kreditnog odobrenja.
Umereno visoka	4	Rizik može biti detektovan ako se sprovede detaljnija analiza na osnovu dodatnih informacija tokom procesa kreditnog odobrenja.
Umerena	5	Rizik može biti detektovan ako se sprovede detaljnija analiza na osnovu dodatnih informacija uz angažovanje dodatnih resursa tokom procesa kreditnog odobrenja.
Niska	6	Rizik može biti detektovan ako se angažuju dodatni resursi koji se u uobičajenim okolnostima ne bi angažovali.
Veoma niska	7	Veoma je teško detektovati rizik tokom procesa kreditnog odobrenja.
Neznatna	8	Ekstremno je teško detektovati rizik tokom procesa kreditnog odobrenja.
Veoma neznatna	9	Rizik ne može biti detektovan tokom procesa kreditnog odobrenja osim u izuzetnim slučajevima.
Rizik nije moguće detektovati	10	Rizik ne može biti detektovan tokom procesa kreditnog odobrenja

Tabela 6. Prilagođena skala za ocenu ozbiljnosti otkaza (S)

Ozbiljnost otkaza	Rejting	Opis
Nikakva	1	Bez efekata na kvalitet kreditnog plasmana; dužnik uredno otplaćuje kredit tokom perioda njegovog trajanja.
Veoma neznatna	2	Može izazvati materijalno beznačajan gubitak za banku; veoma retke docnje u otplati kredita.
Neznatna	3	Može izazvati materijalno beznačajan gubitak za banku; povremene docnje u otplati kredita.
Mala	4	Može izazvati materijalno značajan gubitak za banku; plasman zahteva povećanu pažnju odeljanja za upravljanje kreditnim rizikom; redovne docnje do 30 dana.
Umerena	5	Može izazvati materijalno značajan gubitak za banku; plasman bi trebalo obezbediti dodatnim sredstvima obezbeđenja; redovne docnje preko 30 dana.
Umereno visoka	6	Visoka verovatnoća nastanka materijalno značajnog gubitka za banku; plasman je potrebno transferisati u odeljenje za restrukturiranje kreditnih plasmana; česte docnje preko 30 dana.
Visoka	7	Otplata kredita je moguća uz njegovo restrukturiranje; banka će gotovo sigurno pretrpeti materijalno značajan gubitak; kredit je neophodno obezbediti dodatnim sredstvima obezbeđenja.
Veoma visoka	8	Otplata kredita je moguća samo uz dodatnu investiciju od strane vlasnika u cilju smanjenja glavnice i mesečne rate kredita.
Ekstremno visoka	9	Otplata kredita se prekida u veoma kratkom periodu; banka će pretrpeti gubitak u visini ostatka kredita umanjenog za tržišnu vrednost kolaterala.
Hazard	10	Otplata kredita se prekida odmah; banka će pretrpeti gubitak u visini ostatka kredita umanjenog za tržišnu vrednost kolaterala.

Tradicionalna *FMEA* je pretrpela kritike u literaturi usled određenih nedostataka od kojih su najznačajniji sledeći: (i) veoma je teško precizno odrediti vrednosti za *O*, *D* i *S*, (ii) *O*, *D* i *S* se jednako vrednuju (imaju iste pondere) u formuli za izračunavanje RPN i (iii) RPN se ne može, sa sigurnošću, koristiti kao pouzdana mera za efikasnost predloženih korektivnih akcija za ublažavanje rizika. Liu i drugi (2013) daju detaljan pregled nedostataka i ograničenja *FMEA* analize. Navedeni nedostaci su, u najvećoj meri, posledica epistemičke neizvesnosti u proceni *O*, *D* i *S*.

Epistemička (saznajna) neizvesnost je posledica nedostatka znanja, nepotpunih informacija i subjektivnosti u procesu donošenja odluka od strane domenskih eksperata. Aleatorna neizvesnost postoji zbog slučajnih efekata koji se ne mogu predvideti. Posledično, epistemička neizvesnost se može smanjiti dok aleatornu neizvesnost nije moguće smanjiti pribavljanjem dodatnih informacija ili unapređenjem procesa analize rizika (Asadujjaman i Zaman, 2018; Hüllermeier i Waegeman, 2021).

Sa ciljem prevazilaženja prethodno navedenih nedostataka razvijene su unapređene *FMEA* metode. Rezultati istraživanja Huang i drugih (2020) koji su analizirali 263 naučna rada pokazuju da se unapređena *FMEA* najviše primenjuje u oblasti proizvodnje kako bi se poboljšala pouzdanost i sigurnost proizvodnih procesa i proizvoda u različitim industrijama. Autori opravdano primećuju da su unapređene *FMEA* tehnike komplikovane za primenu u praksi jer su mnoge od njih zasnovane na kompleksnim obračunima pri čemu

se nijedna tehnika ne može smatrati apsolutno superiornom u odnosu na ostale. Prema istim autorima buduća istraživanja se mogu usmeriti u pravcu iznalaženja tehnika za ponderisanje odgovora eksperata prilikom izračunavanja vrednosti faktora rizika i ispitivanje veza između rizičnih događaja i predloženih korektivnih akcija. U ovom radu predlaže se korišćenje *Dempster-Shafer* teorije za unapređenje rezultata dobijenih FMEA metodologijom.

### 4.3. Dempster-Shafer teorija

U prethodnom delu rada, prilikom izračunavanja *RPN*, pretpostavlja se da su vrednosti za *O*, *D* i *S* egzaktne i poznate. Ova pretpostavka najčešće nije zadovoljena zbog neizvesnosti koja postoji u svim slučajevima kada su verovatnoća ili druge karakteristike rizičnih događaja predmet procene od strane eksperata. Dempster-Shafer teorija (engl. *Dempster-Shafer theory - DST*) je jedna od teorija za prevazilaženje problema neizvesnosti u donošenju odluka.

*DST*, takođe poznatu kao teoriju dokaza, je razvio Arthur Dempster (1967). Glen Shafer (1976) je dodatno unapredio i formalizovao teoriju na osnovu Bajesove teorije verovatnoće sa ciljem smanjenja epistemičke neizvesnosti u informacionoj osnovi za donošenje odgovarajućih odluka. Početna praktična primena *FMEA-DST* se vezuje za avio-inženjerstvo odnosno za razvoj i testiranje ispravnosti sofisticirane opreme korišćene u vojnim avionima (Garcia-Ortiz i Cundiff, 1988). Naredna istraživanja su, takođe, usmerena u pravcu smanjenja neizvesnosti u kvantitativnim rezultatima dobijenim primenom FMEA na osnovu odgovora nekoliko eksperata u avio industriji (Yang i drugi, 2011; Su i drugi, 2012; Chen i Deng, 2018). Pored avio-inženjerstva, *FMEA-DST* je korišćena u brodogradnji (Chin i drugi, 2009; Certa i drugi, 2017; Seiti i drugi, 2018), projektovanju i proizvodnji dizel motora za brodove (Emovon, 2016) i prevenciji eksplozije kartera brodskih dizel motora (Suo i drugi, 2020). Druga područja primene *FMEA-DST* odnose se na analizu (i) rizika u rudarstvu i energetici (Jiang i drugi, 2017; Wang i drugi, 2018; Li i Chen, 2019; Wang i drugi, 2019b), (ii) finansijskih rizika u građevinskim projektima (Taroun i Yang, 2013) i (iii) rizika po životnu sredinu pri transportu sirove nafte cevovodima (Hatefi i drugi, 2019). Istraživanje Spasenic i drugih (2022b) predstavlja prvu primenu *FMEA-DST* u oblasti analize kreditnog rizika projektog finansiranja OIE.

U oblasti finansija *DST* se samostalno koristila za selekciju i kreiranje portfolija hartija od vrednosti – akcija (Sevastianov i Dymova, 2009; Mitra Thakur i drugi, 2018; Salehy i Ökten, 2021), predviđanje insolventnosti dužnika (Beynon, 2005; Xiao i drugi, 2012) i razvoj modela za identifikovanje i praćenje ranih signala upozorenja (engl. *early warning signs*) promene finansijskog stanja dužnika (Zhang i drugi, 2013). *DST* je svoju primenu našla u oblasti bankarstva za procenu kreditnog rizika dužnika (Zhu i Wang, 2008; Lin i Huang, 2009) i za identifikovanje sumnjivih finansijskih transakcija (Khanuja i Adane, 2019). U nastavku su objašnjeni osnovni elementi *DST* u kontekstu projektog finansiranja izgradnje MHE.

Na primer, menadžer za upravljanje kreditnim rizikom može proceniti verovatnoću rizika prekoračenja budžeta projekta tokom izvođenja zemljanih radova na izgradnji MHE. Stepen

verovanja u datu propoziciju (ocenu verovatnoće) zavisi od različitih faktora (mikro lokacija za izgradnju MHE, tip MHE, iskustvo izvođača radova, iskustvo i obrazovanje menadžera za upravljanje kreditnim rizikom itd.) što znači da bi drugi menadžer za upravljanje kreditnim rizikom dao drugačiju procenu (propoziciju) ili bi isti menadžer dao više različitih procena ali sa različitim stepenom verovanja u njihovu tačnost.

Označimo sa  $\Theta = \{A_1, A_2, \dots, A_p\}$  skup mogućih rizičnih događaja čiju verovatnoću procenjuje menadžer za upravljanje kreditnim rizikom. Partitivni skup skupa  $\Theta$  je  $P(\Theta) = 2^n = \{\emptyset, [A_1], [A_2], [A_3], \dots, [A_1 \cup A_2], [A_1 \cup A_3], \dots, \Theta\}$  pri čemu je  $n$  broj elementa skupa  $\Theta$  a svaki element  $P(\Theta)$  predstavlja jednu propoziciju (Chen i Deng, 2018). Skup  $P(\Theta)$  predstavlja okvir rasuđivanja eksperta (eng. *frame of discernment*) koji obuhvata sve moguće propozicije od čega je sigurno jedna tačna.

Verovanje menadžera rizika u konkretnu propoziciju predstavlja se pomoću funkcije verovanja  $Bel(A): 2^n \rightarrow [0,1]$  koja ima sledeća svojstva:

$$Bel(\emptyset) = 0 \quad (4)$$

$$Bel(\Theta) = 1 \quad (5)$$

Na primer, prilikom procene rizika prekoračenja budžeta projekta ekspert može dati dve procene od kojih je prva  $A_1$  da neće doći do prekoračenja budžeta projekta a druga  $A_2$  da će doći do prekoračenja budžeta projekta. Skup mogućih procena koje su na raspolaganju menadžeru može se predstaviti kao  $\Theta = \{A_1, A_2\}$  a njegov partitivni skup  $P(\Theta) = 2^2 = \{\emptyset, A_1, A_2, \Theta\}$ . Primenom formule 4 može se izračunati vrednost  $Bel(\emptyset)$  pri čemu  $\emptyset$  znači da se neće dogoditi nijedna od ponuđenih opcija, što je nemoguće, zbog čega je zadovoljen izraz 4. Takođe, primena formule 5 podrazumeva izračunavanje verodostojnosti da će se desiti  $A_1$  ili  $A_2$ , što je izvesno, zbog čega je tražena verodostojnost jednaka 1.

Pošto je događaj  $A_2$  suprotan događaju  $A_1$  mogu se uvesti oznake  $A_1 = A$ ,  $A_2 = \bar{A}$  i  $\Theta = \{A, \bar{A}\}$ . Primenom pravila teorije verovanoće važi da je  $P(A) + P(\bar{A}) = 1$  dok u uslovima neizvesnosti suma verovanja u procene ishoda događaja  $A$  i  $\bar{A}$  ne mora biti 1 odnosno važi:

$$Bel(A) + Bel(\bar{A}) \leq 1 \quad (6)$$

Funkcija verovanja ima još jedno važno svojstvo. Naime, ukoliko bi menadžer za upravljanje kreditnim rizikom trebalo da proceni rizik prekoračenja budžeta za projekat finansiranja MHE o kome nema potrebne informacije, on će se uzdržati od eksplicitne procene jedne od dve moguće propozicije (da će doći do prekoračenja budžeta ili da neće doći do prekoračenja budžeta) ali istovremeno može biti potpuno siguran da će se odigrati jedna od njih. U ovom slučaju važi da je  $Bel(A) = 0$ ,  $Bel(\bar{A}) = 0$  ali je  $Bel(A) + Bel(\bar{A}) = 1$ .

Da bi se izračunala vrednost funkcije verovanja eksperta u konkretnu propoziciju neophodno je da ekspert prethodno dodeli osnovne verovatnoće (engl. *basic probability assignment*) svakoj propoziciji. Dodeljena osnovna verovatnoća  $m(A)$  izražava fond znanja koji govori u prilog konkretne propozicije i dokaza koji se mogu pripisati istoj propoziciji.

Ako je  $m(A) > 0$  onda važi da je  $A$  fokalni element skupa  $P(\Theta)$ . Prilikom dodeljivanja osnovnih verovatnoća propozicijama moraju se poštovati sledeća pravila (Curcurù i drugi, 2016):

$$m(A): P(\Theta) \rightarrow [0,1] \quad (7)$$

$$m(\emptyset) = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{A \in P(A)} m(A) = 1 \quad (9)$$

Na osnovu funkcije verovanja izvodi se funkcija verodostojnosti (engl. *plausibility function*) čija vrednost pokazuje stepen do kog ekspert ne sumnja u propoziciju  $A$ , odnosno koliko je propozicija verodostojna. Funkcija verodostojnosti  $Pl(A): 2^n \rightarrow [0,1]$  ima sledeći oblik:

$$Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) \quad (10)$$

Definisani element  $DST$  biće ilustrovani na jednostavnom primeru. Pretpostavimo da ekspert predviđa buduće prilive gotovine u fazi eksploatacije MHE u određenom vremenskom periodu (npr. za nerednu kalendarsku godinu). Stvarni novčani prilivi od prodaje električne energije koji su ispod projektovanih (očekivanih) priliva mogu biti posledica jednog od tri rizična događaja:

1. događaj  $A_1$ : Nedovoljna proizvodnja električne energije;
2. događaj  $A_2$ : Neredovna naplata potraživanja od kupca po osnovu isporučene električne energije ili nemogućnost naplate potraživanja od kupaca;
3. događaj  $A_3$ : Neadekvatno priključenje MHE na distributivni sistem električne energije, što ima za posledicu da jedan deo proizvodnog kapaciteta (potencijala) MHE ne može biti iskorišćen.

U navedenom primeru, skup mogućih procena koje su na raspolaganju ekspertu može se predstaviti kao  $\Theta = \{A_1, A_2, A_3\}$  a njegov partitivni skup  $P(\Theta) = 2^3 = \{\emptyset, \{A_1\}, \{A_2\}, \{A_3\}, \{A_1, A_2\}, \{A_1, A_3\}, \{A_2, A_3\}, \{A_1, A_2, A_3\}\}$  pri čemu svaki od elemenata skupa  $P(\Theta)$  predstavlja jednu propoziciju ( $A$ ) kojoj menadžer dodeljuje osnovnu verovatnoću u intervalu od 0 do 1. Skup  $P(\Theta)$  predstavlja rasuđivački okvir eksperta. Dodeljene osnovne verovatnoće od strane eksperta predstavljene su u tabeli 7 pri čemu vidimo da su zadovoljeni uslovi 7, 8 i 9.

Tabela 7. Dodeljene osnovne verovatnoće

$A$	$\emptyset$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_1, A_2$	$A_1, A_3$	$A_2, A_3$	$A_1, A_2, A_3$
$m(A)$	0	0,15	0,15	0,20	0,10	0,15	0,10	0,15

Vrednost funkcije verovanja u svaku propoziciju data je u tabeli 8. Verovanje u konkretnu propoziciju se dobija sumiranjem osnovnih verovatnoća za tu propoziciju i sve propozicije koje su njen podskup.

Tabela 8. Vrednost funkcije verovanja za sve propozicije

$A$	$\emptyset$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_1, A_2$	$A_1, A_3$	$A_2, A_3$	$A_1, A_2, A_3$
$m(A)$	0	0,15	0,15	0,20	0,10	0,15	0,10	0,15
$Bel(A)$	0	0,15	0,15	0,20	0,40	0,50	0,45	1,00

U narednom koraku može se izračunati vrednost funkcije verodostojnosti za svaku od propozicija. Pošto funkcija verodostojnosti pokazuje stepen do kog ekspert ne sumnja u konkretnu propoziciju za izračunavanje njene vrednosti potrebno je sumirati osnovne verovatnoće dodeljene pojedinačnim propozicijama čiji je presek sa propozicijom za koju se verodostojnost izračunava različit od praznog skupa. Vrednosti funkcije verodostojnosti za sve propozicije date su u tabeli 9. Na primer,  $Pl(\{A_1, A_3\})$  se izračunava na sledeći način:

$$Pl(\{A_1, A_3\}) = m(A_1) + m(A_3) + m(\{A_1, A_2\}) + m(\{A_2, A_3\}) + m(\{A_1, A_3\}) + m(\{A_1, A_2, A_3\})$$

$$Pl(\{A_1, A_3\}) = 0,15 + 0,2 + 0,1 + 0,15 + 0,1 + 0,15 = 0,85$$

Tabela 9. Vrednost funkcije verodostojnosti za sve propozicije

$A$	$\emptyset$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_1, A_2$	$A_1, A_3$	$A_2, A_3$	$A_1, A_2, A_3$
$m(A)$	0	0,15	0,15	0,20	0,10	0,15	0,10	0,15
$PL(A)$	0	0,55	0,50	0,50	0,80	0,85	0,85	1,00

Stepen sumnje eksperta u konkretnu propoziciju izražen funkcijom neverovanja  $Dis(A)$  može se izračunati kao  $1 - Bel(A)$  ili sumiranjem osnovnih verovatnoća za sve propozicije čiji je presek sa propozicijom za koju se neverovanje izračunava prazan skup. Na primer,  $Dis(\{A_1, A_3\})$  se izračunava na sledeći način:

$$Dis(\{A_1, A_3\}) = 1 - Pl(\{A_1, A_3\}) = 1 - 0,85 = 0,15$$

ili

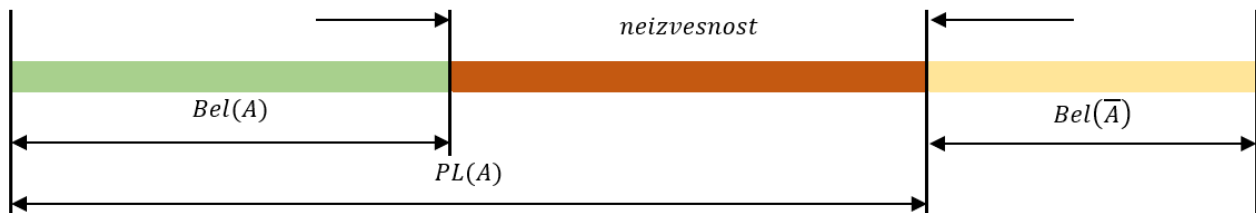
$Dis(\{A_1, A_3\}) = Bel(A_2) = 0,15$  jer samo u slučaju kombinacije propozicija  $\{A_1, A_3\}$  i  $\{A_2\}$  važi da je  $\{A_1, A_3\} \cap \{A_2\} = \emptyset$  dok će u slučaju svih ostalih kombinacija propozicija važiti da je njihov presek različit od praznog skupa.

Tabela 10. Vrednost funkcije neverovanja za sve propozicije

$A$	$\emptyset$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_1, A_2$	$A_1, A_3$	$A_2, A_3$	$A_1, A_2, A_3$
$m(A)$	0	0,15	0,15	0,20	0,10	0,15	0,10	0,15
$Dis(A)$	1	0,45	0,50	0,50	0,20	0,15	0,15	0

Odnos između funkcije verovanja, verodostojnosti i neverovanja prikazan je na slici 16. Povećanjem vrednosti dokaza koji se mogu direktno pripisati u korist pojedinačne propozicije ili njoj suprotne propozicije raste vrednost funkcije verovanja odnosno neverovanja čime se smanjuje epistemička neizvesnost.

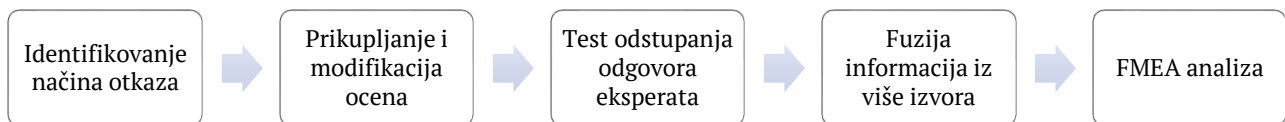




Slika 16. Odnos između osnovnih elemenata DST (Yang et al., 2011)

#### 4.4. Integracija FMEA i DST

Prethodno objašnjenje elemenata *DST* zasniva se na jednostavnim primerima postojanja malog broja propozicija kao što je slučaj postojanja jedne propozicije i njene negacije ( $A, \bar{A}$ ) ili postojanja tri propozicije ( $A_1, A_2, A_3$ ). Pošto se predlaže kombinovanje *FMEA* i *DST*, na slici 5, prikazani su koraci *FMEA-DST* metodologije odnosno korišćenja *DST* u cilju poboljšanja rezultata dobijenih korišćenjem *FMEA*. Navedeni koraci su neophodni jer primena *FMEA-DST* metode zahteva ocenjivanje više faktora rizika ( $O, S$  i  $D$ ) za svaki identifikovani rizični događaj od strane većeg broja eksperata (menadžera za upravljanje kreditnim rizikom).



Slika 17. Koraci FMEA-DST metodologije (Suo i drugi, 2020)

##### *Identifikovanje načina otkaza*

Identifikovanje načina otkaza ima za cilj razlaganje ukupnog kreditnog rizika na pojedinačne rizične događaje. Radi se o početnoj aktivnosti *FMEA* čiji rezultat je skup rizičnih događaja koji će biti predmet analize.

##### *Prikupljanje i modifikacija ocena*

U drugom koraku, koji podrazumeva prikupljanje i modifikaciju ocena eksperata, uvode se sledeće oznake:

- $N$  – skup rizičnih događaja identifikovanih u koraku 1;
- $L$  – ukupan broj eksperata koji će ocenjivati faktore rizika  $O, D$  i  $S$ .

Za svako  $i \in \{O, D, S\}$  formira se poseban skup mogućih procena  $\Theta_i = \{1, 2, 3, \dots, 10\}$ . Rezultati prikupljanja procena su  $m_{il}^j(k)$  gde su  $l = \overline{1, L}$ ;  $j \in N$ ;  $i = O, S, D$ ; i  $k \in \Theta_i = \{1, 2, 3, \dots, 10\}$ .

U većini slučajeva kada se primenjuje *FMEA-DST* metodologija, svaki od članova *FMEA* tima ocenjuje pojedinačne rizične događaje odnosno daje procene za svaki događaj pojedinačno a ne za kombinacije rizičnih događaja. To znači da okvir rasuđivanja eksperta čine osnovni događaji identifikovani u prvom koraku dok su ostali elementi njegovog partitivnog skupa isključeni iz analize. Dva su osnovna razloga za ovakav pristup. Prvo, kao što je prethodno

navedeno, *FMEA* se zasniva na analizi pojedinačnih događaja a ne njihovih kombinacija. Drugo, zasnivanje *FMEA-DST* metodologije na partitivnom skupu  $\Theta$  može imati za posledicu kombinatornu eksploziju s obzirom na to da je broj elemenata njegovog partitivnog skupa jednak  $2^{|\Theta|}$  gde je  $|\Theta|$  kardinalnost skupa  $\Theta$ . (Kulkarni i Johnson, 2012).

Ako je neko od eksperata  $l$  dao jedinstvenu ocenu  $r$  za  $O, S$  i/ili  $D$  rizičnog događaja  $j$  prema Su i drugima (2012), jedinstvena ocena se može modifikovati korišćenjem normalne raspodele čija je standardna devijacija jednaka 0,5:

$$f(r, k, 0.5^2) = \frac{1}{0.5\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(k-r)^2}{2 \cdot 0.5^2}} \quad (11)$$

Primena formule 11 se svodi na modifikaciju jedinstvene ocene  $m_{il}^j(k)$  na način da jedinstveno data ocena dobije verovanje od 0,8 a njene susedne ocene  $m_{il}^j(k-1)$  i  $m_{il}^j(k+1)$  vrednost 0,1 (Su i drugi, 2012).

#### *Test odstupanja odgovora eksperata*

Test odstupanja odgovora eksperata omogućava eliminisanje ocena pojedinih eksperata koje značajno odstupaju od ocena ostalih eksperata. Su i drugi (2020) predlažu korišćenje normalne raspodele sa ciljem formiranja intervala prihvatljivih ocena. Da bi se formirao interval, potrebno je za svakog eksperta  $l = \overline{1, L}$  odrediti srednju vrednost svakog događaja  $j = \overline{1, n}$  za svaki faktor rizika na sledeći način:

$$r_{il}^j = \sum_{k \in \Theta_i^j} k \cdot m_{il}^j(k), l = \overline{1, L}, j = \overline{1, n}, i = O, D, S \quad (12)$$

Očekivana vrednost  $\bar{r}_{ij}$ , standardna devijacija  $\sigma_{ij}$  ocene svakog događaja  $j \in N$  za svaki faktor rizika  $i = O, D, S$  date su sledećim formulama:

$$\bar{r}_i^j = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L r_{il}^j \quad (13)$$

$$\sigma_i^j = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L (r_{il}^j - \bar{r}_i^j)^2} \quad (14)$$

Interval prihvatljivosti ocena nekog događaja  $j \in N$  i faktor rizika  $i = O, D, S$  je:

$$I_i^j = [\bar{r}_i^j - \alpha \cdot \sigma_{ij}, \bar{r}_i^j + \alpha \cdot \sigma_{ij}] \quad (15)$$

Na osnovu formule 15 jasno je da vrednost parametra  $\alpha$  utiče na širinu intervala. Ako ocene eksperta  $l$  za događaj  $j$  i faktor rizika  $i$  pripadaju intervalu  $I_i^j$  tada se one smatraju prihvatljivim dok se u suprotnom odbacuju. Test ostupanja ocena eksperata je moguće definisati i na drugi način koji uvažava specifičnosti procesa analize kreditnog rizika kao jedne od faza kreditnog procesa što je objašnjeno u nastavku ovog rada.

### Fuzija informacija iz više izvora

Kada postoji više vrsta podataka (dokaza, izvora) na osnovu kojih se zaključuje ili više eksperata koji predlažu propozicije, potrebno je odrediti ukupne funkcije mase svih propozicija na osnovu pravila kombinovanja. Dempster-ovo pravilo kombinovanja u slučaju dve vrste dokaza ima sledeći oblik (Jiang i drugi, 2017) :

$$m(A) = (m_1 \oplus m_2)(A) = f(x) = \begin{cases} 0, & A = \emptyset \\ \frac{\sum_{B \cap C = A} m_1(B) \cdot m_2(B)}{1 - \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \cdot m_2(C)}, & A \neq \emptyset \end{cases} \quad (16)$$

S obzirom na to da za Dempster-ovo pravilo kombinovanja važi komutativnost i asocijativnost, u slučaju postojanja više dokaza (u konkretnom slučaju FMEA-DST metode postoji više eksperata koji ocenjuju propozicije), konačne funkcije mase događaja se dobijaju po sledećoj formuli (Yager, 1987; Curcurù i drugi, 2016) :

$$m_i^j(k) = (m_{i1}^j \otimes m_{i2}^j \otimes \dots \otimes m_{il}^j)(k)$$

$$m_i^j(k) = \begin{cases} \frac{1}{1 - K_i} \prod_{l \in L} m_{il}^j(k) & k \in \bigcap_{l \in L} \mathcal{O}_{il}^j \\ 0 & \text{u suprotnom} \end{cases} \quad (17)$$

Gde je  $K_i = \sum_{(\exists \emptyset, u \in L) k_{\emptyset} \neq k_u} \prod_{l \in L} m_{il}^j(k)$ .

Konačno, kada se za svako  $k \in \mathcal{O}_i^j$  odrede vrednosti  $m_i^j(k)$ , konačna ocena faktora rizika  $i = O, S, D$  za događaj  $j \in N$  određuje se po formuli:

$$RPN_i^j = \sum_{k \in \mathcal{O}_i^j} k \cdot m_i^j(k), i = O, D, S, j \in N \quad (18)$$

### FMEA analiza

RPN za događaj  $j \in N$  se izračunava množenjem konačnih ocena za faktore rizika konkretnog rizičnog događaja:

$$RPN^j = RPN_O^j \cdot RPN_D^j \cdot RPN_S^j \quad (19)$$

## 4.5. Analiza stabla neispravnosti

Analiza stabla neispravnosti (engl. *fault tree analysis – FTA*) predstavlja deduktivnu tehniku koja polazeći od vršnog događaja (engl. *top event*) identifikuje osnovne događaje (engl. *basic events*) koji mogu uzrokovati nastanak vršnog događaja (Kang i drugi, 2019). Cilj *FTA* jeste da identifikuje pojedinačne rizike i modeluje veze između njih koje mogu dovesti do neželjenog ishoda. Posledično, kompleksnost *FTA* zavisi od kompleksnosti analiziranog sistema. Faze u sprovođenju *FTA* metodologije prikazane su na slici 18.



Slika 18. Faze u sprovođenju *FTA* metodologije (ilustracija autora)

*FTA* je korišćena za analizu rizika tokom izgradnje i eksploatacije hidroelektrana (Augutis i drugi, 2004; Hartford i Baecher, 2004; Gabriel-Martin i drugi, 2017). Mali broj studija se može dovesti u vezu sa primenom *FTA* za analizu rizika finansiranja izgradnje i eksploatacije energetske infrastrukture. Li i Qian (2015) koriste *FTA* za analizu rizika koncesionog finansiranja operativne hidroelektrane po modelu preuzmi-koristi-predaj (engl. *transfer-operate-transfer*) sa fokusom na četiri grupe rizika (politički i regulatorni rizik, finansijski rizik, menadžment rizik i rizik ugovaranja). Liu i drugi (2017) koriste *FTA* da identifikuju rizike sa ciljem unapređenja energetske infrastrukture u kineskoj provinciji Sichuan. Spasenić i drugi (2022a) prvi put koriste kombinaciju matrice rizika i *FTA* za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE na primeru izgradnje MHE.

*FTA* metodologija predstavlja sistem kao skup odgovarajućih događaja, povezanih logičkim vezama, koji mogu izazvati poremećaje u radu sistema. *FTA* razlikuje tri nivoa događaja (Makajić-Nikolić, 2012):







1. Vršni događaj je neželjeni događaj sistema. Prilikom definisanja vršnog događaja mora se voditi računa da ne bude suviše opšte definisan kako *FTA* ne bi bila previše kompleksna (rizik kombinatorne eksplozije). Sa druge strane suviše uska definicija vršnog događaja sa sobom nosi rizik izostavljanja važnih elemenata sistema iz *FTA*.
2. Posredni događaj je događaj koji se dešava kao posledica jednog ili više prethodnih događaja.
3. Primarni događaj je događaj koji se dalje ne razlaže i predstavlja krajnju granicu dekompozicije sistema.

Vršni događaj predstavlja koren a primarni događaji listove stabla neispravnosti (engl. *fault tree – FT*) dok posredni događaji predstavljaju njegove čvorove. *FT* se konstruiše odozgo naniže a grananje *FT* do nivoa primarnih događaja se završava dostizanjem željenog nivoa detaljnosti (Aven, 2016) ili kada se pojedinačni rizični događaji ne mogu dalje razložiti a da ne izgube svoj identitet (Ostrom i Wilhelmsen, 2019).

Posredni događaji predstavljaju kombinacije pojedinačnih događaja i/ili drugih posrednih događaja povezanih logičkim vezama. Osnovne pretpostavke prilikom konstruisanja *FT* su:

(i) događaji su binarni, (ii) događaji su nezavisni i (iii) veze između događaja se mogu predstaviti logičkim kolima (Makajić-Nikolić, 2012).

Grafički prikaz *FT* zahteva korišćenje simbola za događaje, logička kola i transfere. Transferi omogućavaju razlaganje *FT* na manje delove što olakšava njegov grafički prikaz u slučaju kompleksnih sistema. Ako je analizirani sistem koherentan <sup>5</sup> koristi se koherentno *FT* u kome se veze između događaja predstavljaju korišćenjem I/ILI logičkih kola. Simboli za događaje, transfere i logička kola prikazani su na slici 19.

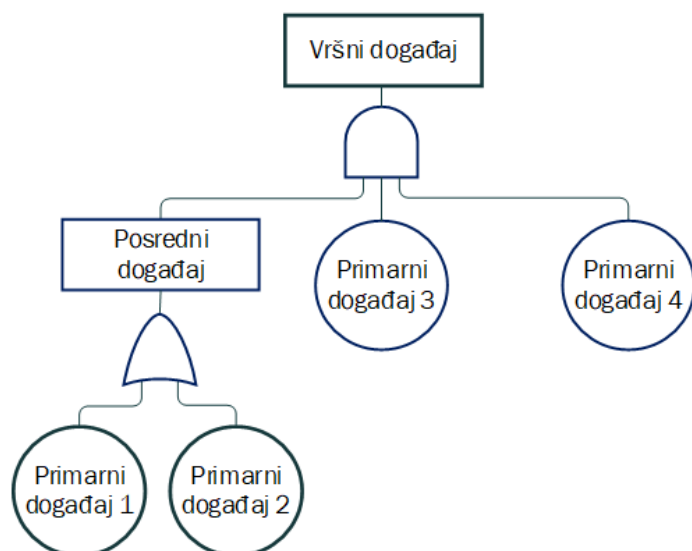
Simbol	Značenje
	Primarni događaj
	Nerazvijeni događaj – događaj koji bi se možda mogao dalje razviti do nivoa primarnih događaja ali to nije učinjeno jer se ne raspolaže potrebnim informacijama ili bi njegovo razvijanje uticalo na složenost <i>FT</i> ali bez značajnog uticaja na sagledavanje sistema.
	Posredni događaj
	Transfer
	Logičko kolo tipa I. Izlaz iz logičkog kola se događa samo ako se svi ulazni (uzročni) događaji dogode istovremeno.
	Logičko kolo tipa ILI. Izlaz iz logičkog kola se događa ako se najmanje jedan ulaz u logičko kolo dogodi.

Slika 19. Simboli za događaje, transfere i logička kola u FTA (ilustracija autora)

Ako je izvršena dekompozicija sistema, odnosno razlaganje vršnog događaja na pojedinačne događaje i ako su definisani prethodno navedeni elementi i logičke veze između njih, može se konstruisati *FT*. Pošto je vršni događaj posledica pojedinačnih i/ili posrednih događaja za njegovo označavanje se koristi simbol za posredni događaj.

Na slici 20 prikazano je *FT*. Vršni događaj će se desiti ukoliko se istovremeno dogode posredni događaj, primarni događaj 3 i primarni događaj 4 (svi navedeni događaji su povezani logičkim kolom I). Daljom analizom stabla neispravnosti zaključuje se da je posredni događaj posledica odigravanja primarnog događaja 1 ili primarnog događaja 2 (primarni događaji 1 i 2 su povezani logičkim kolom „ILI“).

<sup>5</sup> Koherentni sistemi su sistemi u kojima ne postoje komponente čije stanje ne utiče na stanje sistema i u kojima je strukturna funkcija neopadajuća (Makajić-Nikolić, 2012).



Slika 20. Stablo neispravnosti (ilustracija autora)

Primenom pravila Bulove algebre može se sprovesti kvalitativna *FTA* čiji rezultat predstavlja strukturna funkcija *FT* koja izražava uticaj primarnih događaja na vršni događaj. Neka su  $P_i, i = 1, \dots, I$  događaji posmatranog sistema i neka je svakom od događaja pridružena binarna promenljiva  $x_i$  pomoću koje se predstavlja da li se događaj dogodio ili ne (Makajić-Nikolić, 2012):

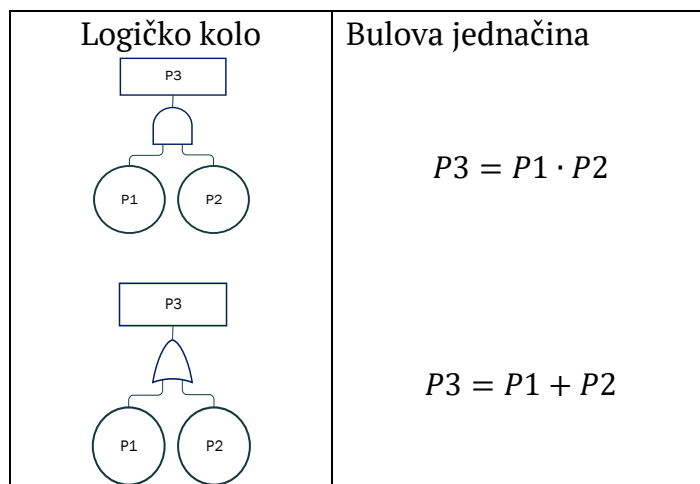
$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{ako se događaj } i \text{ desio} \\ 0, & \text{ako se događaj } i \text{ nije desio} \end{cases} \quad (20)$$

Onda je strukturna funkcija *FT* u odnosu na vršni događaj:

$$\varphi(x) = \varphi(x_1 \dots x_I) = \begin{cases} 1, & \text{ako se vršni događaj desio} \\ 0, & \text{ako se vršni događaj nije desio} \end{cases} \quad (21)$$

Rezultat kvalitativne *FTA* su preseki (engl. *cut sets* - *CS*) koji predstavljaju različite kombinacije primarnih događaja čije istovremeno odigravanje ima za rezultat realizaciju vršnog događaja. Minimalni presek (engl. *minimal cut set* - *MCS*) predstavlja *CS* koji je redukovano na minimalni broj primarnih događaja koji mogu izazvati vršni događaj, odnosno *CS* koji se ne može dalje redukovati a da nakon redukcije i dalje može izazvati vršni događaj (Ericson, 2005).

Korišćenjem Bulove algebre, strukturna funkcija se može dobiti direktno iz *FT* u disjunktivnoj normalnoj formi pri čemu svaka konjunkcija odgovara jednom mini preseku. Ako u *FT* ne postoje višestruki događaji onda su svi *CS* minimalni (Makajić-Nikolić, 2012). Pošto se u ovom radu razmatraju isključivo koherentna *FT*, koja sadrže I/ILI logička kola, za potrebe određivanja *MCS* može se koristiti direktna metoda koja svakom logičkom kolu pridružuje jednu Bulovu jednačinu. Bulove jednačina za I/ILI kola sa 2 ulaza date su na slici 21.



Slika 21. Bulove jednačine za I/ILI logička kola (ilustracija autora)

Određivanje strukturne funkcije biće ilustrovano na jednostavnom primeru *FT* prikazanog na slici 20 uz uvođenje sledećih Bulovih promenljivih:

- $T$  je vršni događaj
- $G_1$  je posredni događaji (*gates* - u opštem slučaju  $G_i$ )
- $B_1, B_2, B_3$  i  $B_4$  su primarni događaj 1, primarni događaj 2, primarni događaj 3 i primarni događaj 4 respektivno (engl. *basic events* - u opštem slučaju  $B_i$ )

Koraci direktnete metode su (Makajić-Nikolić, 2012):

1. *Korak.* Svakom logičkom kolu dodeliti jednu Bulovu jednačinu prema pravilima prikazanim na slici 21. Pošto analizirano *FT* ima samo dva logička kola dodeljuju se dve jednačine: (i)  $T = G \cdot BE_3 \cdot BE_4$  i (ii)  $G = BE_1 + BE_2$ .
2. *Korak.* Izvršiti zamenu svih promenljivih njihovim izrazima kako bi se vršni događaj prikazao kao funkcija primarnih događaja. U primeru, je potrebno zameniti  $G$  u jednačini (i) sa desnom stranom izraza (ii) čime se dobija struktura funkcija  $T = (BE_1 + BE_2) \cdot BE_3 \cdot BE_4 = BE_1 \cdot BE_3 \cdot BE_4 + BE_2 \cdot BE_3 \cdot BE_4$
3. *Korak.* Izvršiti redukciju strukturne funkcije primenom zakona Bulove algebre. Ovaj korak je potreban ako u *FT* postoje višestruki događaji. Pošto u navedenom primeru nema višestrukih događaja, MCS dobijeni u koraku 2 su  $\{BE_1, BE_3, BE_4\}, \{BE_2, BE_3, BE_4\}$ .

Kada su identifikovani svi minimalni preseki i ako su poznate verovatnoće primarnih događaja, verovatnoća vršnog događaja se može izračunati primenom formule 21 (Lisnianski i Levitin, 2003).

$$P(T) = P\left\{\bigcup_{i=1}^m C_i\right\} = \sum_{i=1}^m P(C_i) - \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m P(C_i \cap C_j) + \dots + (-1)^{m-1} P\left(\bigcap_{i=1}^m C_i\right) \quad (21)$$

$C_i, i = 1, \dots, m$  je presek a  $P(C_i)$  njegova verovatnoća.  $P(C_i)$  se može izračunati kao proizvod verovatnoća primarnih događaja koji ga čine jer su primarni događaji nezavisni. U slučaju kompleksnih sistema čiji primarni događaji imaju malu verovatnoću, za izračunavanje verovatnoće vršnog događaja može se koristiti prvi izraz u formuli 21 koji predstavlja sumu verovatnoća minimalnih preseka. Na ovaj način izračunata verovatnoća vršnog događaja jeste gornja granica verovatnoće (Collet, 1996).

#### 4.6. Mere značajnosti

Kvantitativna *FTA* se, pored izračunavanja verovatnoće vršnog događaja, može koristiti i za izračunavanje mera značajnosti (engl. *importance measures – IM*) na osnovu kojih se procenjuje značaj određene komponente za pouzdanost sistema. U kontekstu predmeta istraživanja doktorske disertacije, mere značajnosti se mogu koristiti za rangiranje rizičnih događaja u skladu sa pretpostavkama na kojima je konkretna mera značajnosti zasnovana. U nastavku su objašnjene tri tradicionalne mere značajnosti: Birnbaumova mera značajnosti (eng. *Birnbaum importance measure – BIM*), mera dostizanja rizika (engl. *risk achievement worth – RAW*) i mera redukcije rizika (engl. *risk reduction worth – RAW*).

##### *Birnbaumova mera značajnosti*

Najstarija mera značajnosti je Birnbaumova mera značajnosti (*BIM*). Birnbaum (1968) je posmatrao dva stanja sistema – neuspešan sistem i savršeno pouzdan sistem. Primenjeno na kvantitativnu *FTA* za svaki rizični događaj potrebno je izračunati njegov doprinos povećanju a zatim smanjenju verovatnoće vršnog događaja ukoliko se pretpostavi sigurno odigravanje odnosno sigurno neodigravanje posmatranog rizičnog događaja (Høyland i Rausand, 2009).

Ako se verovatnoća vršnog događaja označi sa  $P(1_i, p)$  u slučaju da se rizični događaj  $i$  sigurno dogodi (verovatnoća rizičnog događaja  $i$  iznosi 1) i ako se verovatnoća vršnog događaja označi sa  $P(0_i, p)$  u slučaju da se rizični događaj  $i$  sigurno neće dogoditi (verovatnoća rizičnog događaja  $i$  iznosi 0), Birnbaumova mera značajnosti za događaj  $i$  označena sa  $I^B(i)$  se može izračunati korišćenjem formule 22.

$$I^B(i) = P(1_i, p) - P(0_i, p) \quad (22)$$

##### *Mera dostizanja rizika i mera redukcije rizika*

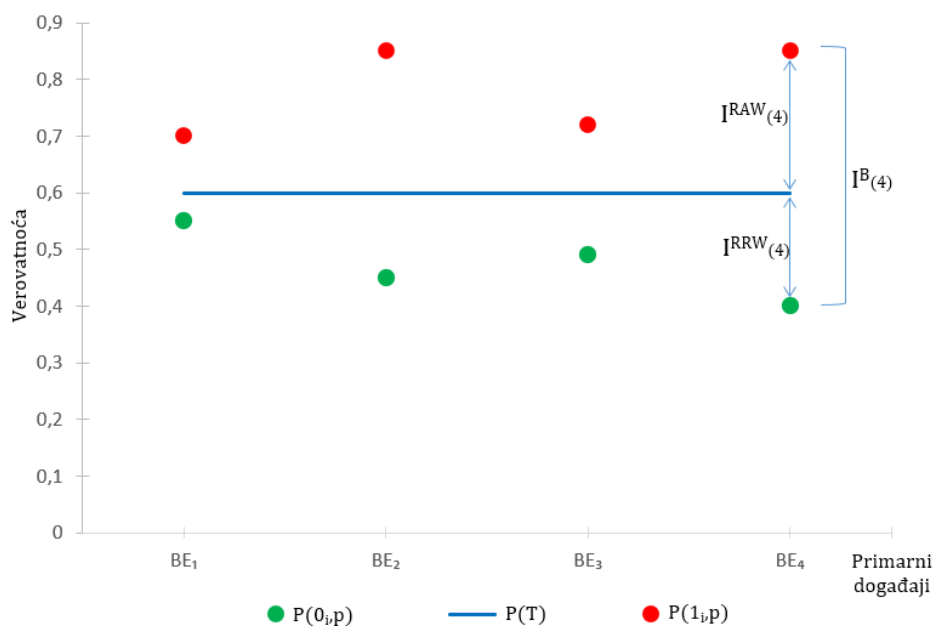
Mera dostizanja rizika (*RAW*) i mera redukcije rizika (*RRW*) posmatraju dva suprotna stanja rizičnog događaja. Ako je verovatnoća vršnog događaja, izračunata korišćenjem formule 21 jednaka  $P(T)$  onda se *RAW* i *RRW* mogu izračunati korišćenjem formula 23 i 24 respektivno (van der Borst i Schoonakker, 2001).

$$I^{RAW}(i) = P(1_i, p) - P(T) \quad (23)$$

$$I^{RRW}(i) = P(T) - P(0_i, p) \quad (24)$$



RAW meri koliko se povećava verovatnoća vršnog događaja ukoliko se rizični događaj  $i$  sigurno desi, dok  $RRW$  meri koliko se smanjuje verovatnoća vršnog događaja ukoliko se rizični događaj  $i$  sigurno neće dogoditi. Odnos između  $BIM$ ,  $RAW$  i  $RRW$  prikazan je na slici 22.



Slika 22. Odnos između BIM, RAW i RRW (ilustracija autora)

#### 4.7. Metodologija za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije u uslovima epistemičke neizvesnosti

Metodologija za analizu i procenu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE na primeru projektnog finansiranja MHE zasniva se na prethodno objašnjenim metodama koje u literaturi i praksi nisu dovoljno iskorišćene u oblasti finansija za procenu kreditnog rizika. Kombinacijom matrice rizika,  $FMEA$  i  $FTA$  proces analize kreditnog rizika, nakon identifikovanja rizičnih događaja, se može podeliti na tri nivoa:

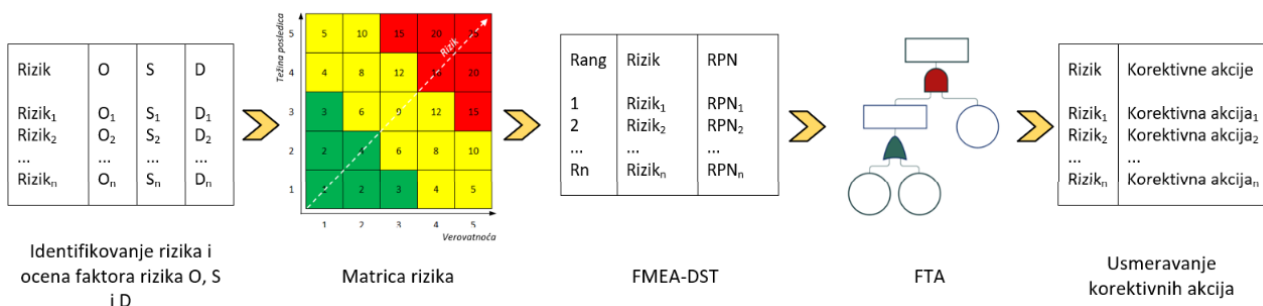
- I Nivo: Identifikovani rizični događaji se analiziraju korišćenjem matrice rizika kao najjednostavnije tehnike.
- II Nivo: Rizični događaji se korišćenjem  $FMEA$  rangiraju u zavisnosti od njihove verovatnoće ( $O$ ), očekivanih posledica ( $S$ ) i mogućnosti detekcije rizika tokom analize kreditnog zahteva ( $D$ ).
- III Nivo: Korišćenjem  $FTA$  uspostavljaju se logičke veze između rizičnih događaja, analizira njihova međuzavisnost i interakcija i identifikuju različite kombinacije rizičnih događaja koje mogu rezultovati neuspehom projektnog finansiranja.

U predloženom modelu  $FMEA$  i  $FTA$  se razmatraju kao dve komplementarne metode koje u kombinaciji daju sveobuhvatan pristup analizi kreditnog rizika.  $FMEA$  je detaljnija od  $FTA$  sa aspekta analize pojedinačnog rizika jer svakom rizičnom događaju pristupa iz tri perspektive ( $O$ ,  $S$  i  $D$ ), ali se analiza ograničava na parcijalno, izolovano, posmatranje svakog rizika pojedinačno. U cilju prevazilaženja ovog nedostatka  $FMEA$ , predlaže se

uvođenje *FTA* koja će povezati rizične događaje u jedinstven sistem i utvrditi njihovu međuzavisnost. Takođe, izračunavanjem verovatnoće vršnog događaja pomoću kvantitativne *FTA* dobija se jedinstvena mera kreditnog rizika koja omogućava rangiranje različitih MHE što nije moguće korišćenjem matrice rizika ili *FMEA*.

Imajući u vidu subjektivnost menadžera za upravljanje kreditnim rizikom, u procesu analize kreditnog rizika potrebno je uvažiti faktor neizvesnosti u njihovim procenama korišćenjem *DST*. *DST* omogućava pouzdaniju procenu rizika u uslovima nesavršenih informacija što je jedna od karakteristika kreditnog procesa. U cilju uvažavanja specifičnosti različitih nivoa odlučivanja prilikom donošenja konačne odluke o kreditnom zahtevu predložen je adekvatan test odstupanja ocena eksperata. Praktično, *DST* se koristi za poboljšanje rezultata dobijenih pomoću *FMEA* i *FTA*.

Na predloženi način obezbeđuje se sveobuhvatan pristup analizi i proceni kreditnog rizika, objektivnije i konzistentnije donošenje odluka o kreditnom zahtevu kao i rangiranje dužnika (MHE) prema njihovom kreditnom riziku. Finalni rezultat integralnog modela je predlog mera kojima se utiče na ključne elemente kreditnog rizika odnosno na smanjivanje verovatnoće primarnih događaja i ublažavanje očekivanih posledica. Grafički prikaz metodologije dat je na slici 23.



Slika 23. Metodologija korišćena u doktorskoj disertaciji (ilustracija autora)

## 5. Istraživanje

### 5.1. Identifikovanje rizičnih događaja

Za potrebe istraživanja, difolt dužnika je definisan kao nesposobnost dužnika da otplaćuje kredit u skladu sa inicijalno dogovorenim planom otplate u ugovoru o kreditu ne uzimajući u obzir mogućnost realizacije instrumenata kreditne zaštite. Neuspeh projektnog finansiranja nastaje kao posledica difolta dužnika odnosno realizovanog kreditnog rizika dužnika. Navedena definicija je u skladu sa prethodno navedenim kriterijumima NBS u tački 3.1 doktorske disertacije. Rizični događaji koji mogu imati za posledicu difolt dužnika identifikovani su na sledeći način:

1. Shaktawat i Vadhera (2020) daju ekstenzivan pregled i analizu rizika povezanih sa projektima eksploatacije hidroenergije zbog čega je inicijalna lista rizičnih događaja preuzeta iz ove publikacije. Dodatni rizici su identifikovani na osnovu publikacija koje se bave rizicima povezanim sa eksploatacijom različitih oblika OIE (Kucukali, 2011; Gatzert i Kosub, 2016; Egli, 2020). Pošto se navedene publikacije ne bave projektnim finansiranjem MHE, na osnovu iskustva autora lista rizika je sužena na one rizike koji mogu biti relevantni za banke tokom analize kreditnog rizika projektnog finansiranja MHE.
2. Istraživanje je zasnovano na procenama eksperata sa relevantnim iskustvom u projektnom finansiranju MHE. Kriterijumi za izbor eksperata koji će verifikovati i oceniti rizične događaje su: (i) ekspert mora imati najmanje 10 godina iskustva na poziciji menadžera za analizu i procenu kreditnog rizika ili menadžera za restrukturiranje problematičnih plasmana, (ii) ekspert mora zauzimati najmanje poziciju starijeg specijaliste za analizu kreditnog rizika ili restrukturiranje problematičnih plasmana (engl. *senior risk/restructuring manager*) i (iii) ekspert mora imati odlično poznavanje kreditnog procesa kao celine. Na osnovu navedenih kriterijuma odabrana su ukupno tri eksperta iz Erste banke i UniCredit banke kao banaka sa najvećim iskustvom u oblasti projektnog finansiranja MHE.
3. Na osnovu intervjua sa ekspertima definisana je konačna lista od 19 rizičnih događaja koji mogu imati za posledicu difolt dužnika.

Identifikovanju rizičnih događaja se pristupilo prema fazi projektnog finansiranja u kojoj su prisutni: (i) faza realizacije projekta odnosno period povlačenja kredita banke, (ii) faza eksploatacije projekta odnosno period otplate kredita banke i (iii) rizici prisutni u fazi realizacije i fazi eksploatacije projekta. U nastavku je dat pregled rizičnih događaja koji su predmet dalje analize. Lista rizičnih događaja predstavlja integralnu listu rizika analiziranih u istraživanjima Spasenić i drugi (2022a) i Spasenić i drugi (2022b).

1. *Propusti u primeni procedure "Upoznaj svog klijenta" (engl. know your customer - KYC)*. Neadekvatna KYC procedura ili propusti u njenoj primeni izlažu banku reputacionom i drugim rizicima (BIS, 2001). Reputacioni rizik proizilazi iz negativne percepcije ključnih stejkholdera (engl. *stakeholders*) banke koja može značajno ograničiti sposobnost banke da zadrži postojeće klijente, uspostavi saradnju sa

novim klijentima i da obezbedi adekvatne izvore finansiranja poslovanja (BIS, 2018). U kontekstu predmeta istraživanja disertacije, reputacioni rizik za banku proizilazi iz negativne selekcije klijenata (investitora) za koje se može ispostaviti da su uključeni u prevarne radnje (npr. dokumentacije za izgradnju MHE je pribavljena izvan zvaničnog institucionalnog i zakonskog okvira) ili realizaciju projekata koji su u sukobu sa propisima u oblasti zaštite životne sredine.

2. *Povlačenje investitora iz projekta.* Rizik se odnosi na diskrecionu odluku investitora da odustane od dalje realizacije započetog projekta. Ovakva odluka može biti posledica različitih faktora kao što su lični razlozi, porodični razlozi ili komercijalni razlozi. Verovatnoća nastanka rizičnog događaja nije visoka dok je mogućnost detekcije niska, osim u slučaju poslovne istorije investitora koja ukazuje ona ovakvo ponašanje.
3. *Nepotpuna projektna dokumentacija.* Neometana izgradnja MHE zasniva se na potpunoj dokumentaciji koja je propisana zakonima i drugim aktima. Rizik se realizuje u situaciji kada nedostajuću dokumentaciju za započeti projekat nije moguće naknadno pribaviti nakon plasiranja kreditnih sredstava banke. Posledično, nedostatak dokumentacije dovodi do trajne obustave projekta. Proveru potpunosti i ispravnosti dokumentacije otežava njena kompleksnost (Ministarstvo rudarstva i energetike, 2015). Banke se oslanjaju na interne procedure i predefinisane liste potrebnih dokumenata dok je nadležnost za proveru potpunosti i ispravnosti projektne dokumentacije podeljena između različitih organizacionih jedinica unutar banke (npr. organizacionih jedinica u čijoj nadležnosti su procena kreditnog rizika, pravni poslovi, upravljanje kolateralima, priprema ugovora o kreditu itd.).
4. *Neiskusna projektant.* Budžet projekta zavisi od većeg broja faktora kao što su mikrolokacija, vrsta i kapacitet MHE, dužina cevovoda, struktura i sastav zemljišta i vrsta opreme koja će biti instalirana. Nenamerne greške koje imaju za posledicu prekoračenje budžeta i/ili produženje perioda realizacije projekta mogu biti rezultat neiskustva projektanta angažovanog za izradu projektne dokumentacije. Iskustvo projektanta se može dokazati referencama u oblasti projektovanja iste ili slične infrastrukture za eksploataciju OIE. Banke nastoje da kreditiraju MHE čiji projekat je izrađen od strane iskusnih projektanata. Međutim, izbor projektanta je diskreciono pravo investitora a kreditni zahtev se podnosi na osnovu već pripremljene projektne dokumentacije zbog čega je manevarski prostor banke značajno sužen.
5. *Namerno potcenjen budžet projekta.* Budžet projekta može biti namerno potcenjen sa ciljem smanjenja učešća sopstvenog kapitala investitora u finansiranje projekta izgradnje MHE koje se najčešće određuje u odgovarajućem procentu od budžeta. U osnovi ovakve strategije nalazi se očekivanje investitora da će banka povećati iznos inicijalno odobrenog kredita, nakon što je plasirala deo odobrenih sredstava, kako bi projekat ušao u fazu eksploatacije. Asimetrične informacije i ireverzibilan karakter projektne finansiranja MHE stavljaju kreditora u subordiniran položaj u odnosu na dužnika zbog čega navedeno ponašanje investitora ima solidne izgleda za uspeh.
6. *Prekoračenje budžeta tokom zemljanih radova.* Prekoračenje (probijanje) budžeta (engl. *cost overrun*) je pozitivna razlika između stvarnog investicionog izdatka za realizaciju projekta i njegovog budžeta. Zemljani radovi se odnose na iskopavanje

zemljišta koje prethodi izgradnji vodozahvata, mašinske kuće i postavljanju cevovoda. Pošto je obim zemljanih radova po pravilu veći od građevinskih radova, ovaj rizik zahteva veći nivo pažnje analitičara, ima veću verovatnoću nastanka i potencijalno teže posledice u odnosu na prekoračenje budžeta koje može nastati tokom građevinskih radova.

7. *Prekoračenje budžeta tokom građevinskih radova.* Zbog ograničenog kapaciteta MHE obim projektovanih građevinskih radova po pravilu nije značajan. Građevinski radovi se odnose na izgradnju vodozahvata i izgradnju mašinske kuće. Posledično, može se očekivati da ovaj rizik ograničen u pogledu verovatnoće nastanka i težine posledica.
8. *Protesti javnosti protiv MHE u fazi izgradnje.* Određena istraživanja pokazuju da MHE imaju pozitivan uticaj na životnu sredinu. Na prime, prema Berga (2016) hidroelektrane imaju značajnu ulogu u smanjenju negativnog uticaja korišćenja fosilnih goriva za proizvodnju električne energije s obzirom na to da nemaju značajnijih negativnih uticaja na životnu sredinu dok je cena koštanja proizvodnje električne energije konkurentna u odnosu na ostale OI. Konkurentnost cene električne energije iz hidroelektrana potvrđuju Manzano-Agugliaro i drugi (2017) i navode da MHE mogu obezbediti troškovno efikasnu elektrifikaciju ruralnih područja. Sa druge strane, novija istraživanja ukazuju na negativan uticaj MHE na životnu sredinu i biodiverzitet (Tanović i drugi, 2020; Sousa i drugi, 2020; Dogmus i Nielsen, 2020). Neki od primera negativnog uticaja MHE na životnu sredinu su povećanje temperature vode i smanjenje koncentracije kiseonika u rekama (Simonović i drugi, 2021), smanjenje opšteg kvaliteta vode (Kuriqi i drugi, 2021), smanjenje i nestanak populacije riba u rekama (Costea i drugi, 2021). Drugi autori ukazuju na negativan uticaj MHE na društvenu zajednicu kao što je smanjenje raspoloživosti vode za navodnjavanje poljoprivrednih površina (Harlan i drugi, 2020) ili narušavanje poljoprivrednog i turističkog potencijala zemlje (Pavlaković i drugi, 2022). Negativno raspoloženje javnosti prisutno nije zaobišlo ni RS a kulminiralo je protestima protiv izgradnje MHE kao i rastućim brojem opština koje su zabranile izgradnju MHE na svojoj teritoriji. Proteste, koji za rezultat imaju obustavu izgradnje MHE, veoma je teško predvideti jer se njihov intenzitet menja u zavisnosti od zainteresovanosti javnosti za očuvanje životne sredine (Mayeda i Boyd, 2020; Venus i drugi, 2020).
9. *Precenjena hidrologija.* Godišnji potencijal vodotoka i negativan uticaj suša su najznačajnije hidrološke varijable koje utiču na proizvodnju električne energije u hidroelektranama (EEA, 2019). Hidrološke varijable, uz redovnu naplatu potraživanja za prodatu električnu energiju, najznačajnije utiču na finansijske performanse MHE u fazi eksploatacije. Potencijal vodotoka ne može biti tačno predviđen na osnovu istorijskih podataka za nekoliko prethodnih godina. Procena se najčešće zasniva na periodu od ~10 godina mada se konačna procena ne može smatrati potpuno pouzdanom zbog stohastičnosti hidrometeoroloških procesa (Contreras i drugi, 2020). Zbog nedostatka znanja i ekspertize za detaljnu analizu ove vrste rizika, menadžeri za procenu kreditnog rizika se oslanjaju na eksterne elaborate o hidrologiji za mikrolokaciju na kojoj je planirana izgradnja MHE.

10. *Sezonske oscilacije u hidrologiji.* Proizvodnja električne energije u MHE nije konstantna tokom njenog ekonomskog veka trajanja niti je konstantna u toku jedne kalendarske godine. Oscilacije u proizvodnji se javljaju pod uticajem promena u vodotoku koji, kako je prethodno navedeno, zavisi od smene perioda padavina i sušnih perioda. Negativan uticaj suše na proizvodnju električne energije naročito je izražen tokom letnjih meseci. Kreditari posvećuju posebnu pažnju predviđanju sezonskih oscilacija koje direktno utiču na mogućnost redovne otplate kredita u periodima smanjene proizvodnje električne energije.
11. *Neadekvatna oprema.* Optimalan izbor opreme pozitivno utiče na performanse MHE od čega je najvažniji optimalan izbor turbine koji zavisi od tehničkih i ekonomskih faktora (Okot, 2013). Zaposleni u bankama nemaju ekspertsko znanje koje bi im omogućilo donošenje pouzdane procene o adekvatnosti turbine već se njihova procena rizika povezanih sa opremom zasniva na opštim smernicama i tehničkim elaboratima izrađenim od strane eksternih eksperata prihvatljivih za banku. Imajući u vidu rizike povezane sa hidrologijom, koja u velikoj meri utiče na izbor turbine, mogućnost detekcije rizika neadekvatne opreme je umerena. Posledice instalacije neodgovarajuće opreme su potencijalno veoma negativne jer se ovakav nedostatak MHE ne može ispraviti bez dodatnih investicionih izdataka za zamenu opreme ili redizajna projekta koji će za posledicu najčešće imati prekoračenje budžeta.
12. *Rizik nenaplativih potraživanja.* Proizvedena električna energija se prodaje isključivo EPS-u kao jedinom kupcu. Procena rizika nenaplativih potraživanja svodi se na procenu kreditnog rizika kupca prema kome je MHE izložena. Analiza navedenog rizika u bankama se sprovodi kroz proces kreditne analize za korporativne klijente i korišćenjem rejting modela za javna preduzeća. Takođe, na odluku banke o finansiranju MHE može uticati i trenutna kreditna izloženost prema EPS-u kao korporativnom klijentu. Specifičnost navedenog rizika se ogleda u tome što je on isti za sve MHE u portfoliju banke u pogledu njegove verovatnoće i mogućnosti detekcije. Razlike između MHE u pogledu ovog rizika proizilaze iz visine kredita u korišćenju i preostalog perioda otplate kredita .
13. *Neadekvatan priključak MHE na distributivnu mrežu električne energije.* Rizik se odnosi na grešku operatera distributivnog sistema koja onemogućava komercijalizaciju punog proizvodnog potencijala MHE. Rizik se manifestuje kao nemogućnost ili kontinuirane teškoće preuzimanja proizvedene električne energije u distributivnu mrežu. Verovatnoća rizika je niska jer se ne radi o tehnički zahtevnom poslu dok je procena ispunjenosti uslova za priključenje MHE predmet detaljnog elaborata od strane stručnih lica.
14. *Protesti javnosti protiv MHE u fazi eksploatacije.* Rizik protesta javnosti protiv MHE se smanjuje prelaskom MHE iz faze izgradnje u fazu eksploatacije. Slično prethodno objašnjenom, verovatnoću rizika je teško proceniti osim u slučaju protesta javnosti protiv najave izgradnje MHE pre početka radova na njenoj izgradnji.
15. *Zloupotreba vodotoka.* Odluka investitora da se vodotok eksploatiše na način suprotan tehničkoj i projektnoj dokumentaciji može imati pozitivan uticaj na ujednačavanje proizvodnje električne energije tokom faze eksploatacije ali će imati negativan uticaj na životnu sredinu. Zloupotreba vodotoka je primamljiva opcija

tokom sušnih meseci a ogleda se u povećanju akumulacije vode u vodozahvatu kroz ograničavanje prirodnog toka reke na kojoj je MHE izgrađena.

16. *Valutni rizik*. Projektno finansiranje skoro da nije izloženo valutnom riziku jer je prodajna cena električne energije indeksirana u evrima dok fakture dospevaju na plaćanje u periodu od mesec dana. Prilivi ostvareni naplatom potraživanja se koriste za otplatu rate po kreditu koji je, takođe, indeksiran u evrima.
17. *Prirodni rizici*. Prirodni rizici su podgrupa rizika više sile na čiju verovatnoću nastanka kreditor ne može uticati. Projektno finansiranje je izloženo prirodnim rizicima kao što su zemljotres, klizište ili poplave. Verovatnoća nastanka kao i mogućnost detekcije su niski dok je negativan uticaj na projektno finansiranje po pravilu visok. Prirodni rizici su jednako relevantni tokom faze realizacije i tokom faze eksploatacije MHE.
18. *Pogrešna kreditna procena*. Na osnovu informacija sadržanih u kreditnom zahtevu i pratećoj dokumentaciji kao i na osnovu dodatnih informacija dobijenih tokom kreditne analize, donosi se kreditna odluka ili kreditna preporuka. Ako se tokom kreditne analize izvedu zaključci koji, na osnovu raspoloživih informacija, nisu najbolji mogući u datim okolnostima onda se radi o pogrešnoj kreditnoj proceni. Pogrešne kreditne odluke mogu biti rezultat različitih faktora od čega su najznačajnije nesavršene informacije i epistemička neizvesnost koja je karakteristična za kreditni proces.
19. *Dodatno finansiranje iz kredita*. Realizacija projekta izgradnje MHE, odnosno prelazak iz faze izgradnje u fazu realizacije, može zahtevati finansiranje dodatnih projektnih izdataka. Finansiranje dodatnih izdataka najčešće je povezano sa rizicima prekoračenja budžeta – događaji br. 6 i 7. Ako se dodatni izdaci finansiraju iz kapitala investitora, prekoračenje budžeta neće imati negativnih efekata na otplatu kredita banke. U suprotnom, finansiranje dodatnih izdataka iz kredita banke, uz nepromenjen potencijal MHE za generisanje gotovine, može imati negativne posledice na otplatni kapacitet dužnika.

Grupisanje rizika na način prikazan u tabeli 11 izvršeno je kombinacijom različitih pristupa koje predlažu dva autora: (i) Gatti (2013) segmentira rizike prema fazi projekta u kojoj se javljaju odnosno na rizike karakteristične za fazu izgradnje, fazu eksploatacije i obe faze i (ii) Yescombe (2002) pravi razliku između rizika u zavisnosti od njihovi pretežnih karakteristika i grupiše ih u komercijalne, finansijske i političke rizike.

Tabela 11. Klasifikacija rizika

	Komercijalni rizici	Finansijski rizici	Politički rizici
Faza izgradnje	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 18	19	8
Faza eksploatacije	9, 10, 11, 12, 13, 15		14
Obe faze	17	16	

Predstavljena lista rizičnih događaja sadrži rizike koje su bili aktuelni u periodu sprovođenja istraživanja. Imajući u vidu globalna dešavanja koja su nastupila u relativno kratkom roku nakon sprovođenja ankete, potrebno je naglasiti da se lista ne može smatrati

nepromenljivo u vremenu i nezavisnom od karakteristika geografskog područja na kome se istraživanje sprovodi.

Projekti eksploatacije OIE su pokazali rezistentnost na krizu i neizvesnost izazvanu COVID-19 pandemijom zbog čega se očekuje dalji rast investicija u izgradnju novih kapaciteta (IRENA, 2020). Analizirano na primeru MHE, do značajnih poremećaja u radu nije došlo zbog (i) stabilne resursne baze za proizvodnju električne energije (vodotok nije pod uticajem širenja pandemije) i (ii) kontinuirane proizvodnje koja nije zavisna od ljudskog rada (MHE proizvode električnu energiju bez značajnog angažovanja ljudi za obavljanje određenih poslova što nije slučaj u većini drugih sektora privrede).

Aktuelni vojni sukob u Ukrajini može imati značajan uticaj na listu rizičnih događaja i njihovo rangiranje. U kontekstu aktuelnih dešavanja, lista rizičnih događaja bi mogla biti dopunjena rizicima povezanim sa prekidom u lancima snabdevanja (npr. kašnjenje u isporuci opreme ili nemogućnost nabavljanja opreme) ili rastom kamatnih stopa. Rizik kamatne stope je izostao iz analize zbog rasprostranjene strategije zamene kamatne stope (engl. *interest rate swap*) koja se ugovara sa dužnikom u fazi analize kreditnog zahteva.

## 5.2. Prikupljanje podataka o rizičnim događajima

Nakon identifikovanja rizičnih događaja potrebno je prikupiti podatke za primenu predložene metodologije. FMEA-DST metodologija zahteva najširi skup podataka koji se može dobiti ocenom faktora rizika za svaki rizični događaj pojedinačno od strane eksperata za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE.

U istraživanju su učestvovala 3 eksperta. Mali broj ispitanika je u skladu sa prethodnim istraživanjima koja koriste unapređenu FMEA metodologiju i zasnovana su na odgovorima od 3 do 5 eksperata (Certa i drugi, 2017; Chen i Deng, 2018; Hu i drugi, 2020; Jiang i drugi, 2017; Su i drugi, 2012; Suo i drugi, 2020; Wang i drugi, 2018; Wang i drugi, 2019b; Yang i drugi, 2011). Povećanje broja eksperata ne utiče na proces primene predložene metodologije već isključivo na povećanje broja računskih operacija koje je potrebno izvršiti. Detaljnije informacije o FMEA timu date su u tabeli 12.

Tabela 12. FMEA tim

Ekspert	Iskustvo	Obrazovanje	Oblast ekspertize
E1	10 godina	Diplomirani ekonomista	Procena i upravljanje kreditnim rizikom
E2	13 godina	Diplomirani ekonomista	Restrukturiranje problematičnih plasmana
E3	15 godina	Diplomirani ekonomista	Procena i upravljanje kreditnim rizikom

Upitnik u elektronskom formatu je korišćen za prikupljanje primarnih podataka za potrebe istraživanja. Prikupljanje podataka je sprovedeno u poslednjem kvartalu 2020. godine. Instrukcije za popunjavanje upitnika od strane eksperata date su u nastavku.

*Instrukcije za popunjavanje upitnika.* Svaki od rizičnih događaja (od 1 do 19) potrebno je oceniti sa tri aspekta koji se nazivaju faktori rizika na skali od 1 do 10:

1. Učestalost javljanja rizičnog događaja (engl. *occurence* - O)



2. Ozbiljnost posledica nastanka rizičnog događaja na kvalitet plasmana za banku mereno očekivanim gubitkom za banku ne uzimajući u obzir sredstva kreditne zaštite (engl. *severity* - S)
3. Mogućnosti da detektujete ričini događaj, procenite verovatnoću njegovog nastanka i ozbiljnost očekivanih posledica na osnovu raspoloživih informacija (engl. *detectability* - D).

Za svaki od faktora rizika (*O*, *S*, *D*) potrebno je uneti ocenu i Vašu sigurnost izraženu u procentima da je ocena tačna odnosno procenat koji pokazuje pouzdanost date ocene. Zbir procenata dodeljenih ocenama za jedan faktor rizika mora biti jednak 100%.

Da biste lakše popunili upitnik predlažemo da za svaki faktor rizika odaberete ocenu koja je po Vašem mišljenju najverovatnija i dodelite joj određenu pouzdanost koja mora biti  $\leq 100\%$ . Nakon izbora najverovatnije ocene odaberite jednu ocenu iznad i jednu ocenu ispod u cilju povećanja Vaše sigurnosti u dati odgovor. Ukoliko ste prilično sigurni da je jedinstvena ocena gotovo izvesna možete uneti jedinstvenu ocenu kojoj ćete pripisati pouzdanost od 100%. Takođe, možete izabrati dve ili više ocena pri čemu zbir njihovih pouzdanosti mora biti 100%. Značenje skala za ocenu faktora rizika *O*, *D* i *S* dat je u tabelama 7, 8 i 9 respektivno.

Ocene rizičnih događaja dobijene istraživanjem prikazane su u tabeli 13 i biće korišćene za potrebe kvantitativne analize u nastavku disertacije. Tabela 13 ne sadrži opise rizičnih događaja iz dela 5.1 na osnovu kojih su eksperti razumeli konkretan rizični događaj koji ocenjuju.

Tabela 13. Ocene eksperata

Dogadaj	Ekspert 1						Ekspert 2						Ekspert 3					
	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D	O	S	D			
RD1	2	40%	4	20%	7	80%	4	50%	4	15%	4	35%	3	15%	6	10%	2	60%
	3	50%	5	60%	8	20%	5	35%	5	50%	5	65%	4	70%	7	70%	3	30%
	4	10%	6	20%	6	15%	6	35%	5	15%	8	20%	4	10%				
RD2	1	60%	6	30%	9	80%	1	60%	4	10%	9	35%	1	80%	7	80%	9	10%
	2	30%	7	40%	10	20%	2	30%	5	35%	10	65%	2	10%	8	10%	10	90%
	3	10%	8	30%	3	10%	6	55%	3	10%	9	10%						
RD3	6	40%	5	100%	1	50%	1	60%	7	10%	1	30%	1	80%	8	10%	1	80%
	7	60%	2	50%	2	30%	8	35%	2	60%	2	10%	9	10%	2	15%		
			3	40%	3	10%	9	55%	3	10%	3	10%	10	80%	3	5%		
RD4	6	30%	3	50%	4	50%	2	60%	6	10%	2	65%	3	30%	4	25%	2	15%
	7	40%	4	50%	5	30%	3	30%	7	35%	3	35%	4	60%	5	50%	3	70%
	8	30%	6	40%	4	10%	8	55%	5	10%	6	25%	4	15%				
RD5	6	100%	2	50%	4	50%	5	15%	4	40%	7	65%	3	30%	4	25%	3	70%
			3	50%	5	30%	6	50%	5	60%	8	35%	4	60%	5	50%	4	20%
			6	40%	7	35%	5	10%	6	25%	5	10%	5	10%	6	25%	5	10%
RD6	5	50%	3	50%	4	30%	6	25%	5	15%	8	50%	5	10%	3	30%	8	100%
	6	50%	4	50%	5	30%	7	65%	6	50%	9	35%	6	80%	4	50%		
			6	40%	8	10%	7	35%	10	15%	7	10%	5	20%				
RD7	3	60%	3	100%	4	30%	2	60%	2	60%	2	40%	3	50%	4	25%	3	20%
	4	40%	5	30%	3	30%	3	30%	3	60%	4	50%	5	50%	4	70%		
			6	40%	4	10%	4	10%	6	25%	5	10%						
RD8	9	60%	9	50%	10	100%	8	60%	9	40%	2	40%	6	25%	9	20%	2	80%
	10	40%	10	50%	9	30%	10	60%	3	60%	7	50%	10	80%	3	10%		
							10	10%	8	25%	4	10%						
RD9	8	30%	5	30%	10	100%	5	20%	5	20%	6	60%	6	50%	7	30%	7	100%
	9	30%	6	30%	6	50%	6	30%	7	40%	7	50%	8	60%				
	10	40%	7	40%	7	30%	7	50%	9	10%								
RD10	6	60%	5	100%	8	100%	6	20%	4	50%	6	60%	4	60%	7	30%	8	80%
	7	40%	7	50%	5	30%	7	40%	5	30%	8	60%	9	10%				
			8	30%	6	20%	6	10%	9	10%	10	10%						
RD11	5	50%	7	60%	4	60%	1	60%	6	30%	2	50%	2	15%	7	20%	2	100%
	6	40%	8	40%	5	40%	2	40%	7	50%	3	30%	3	70%	8	70%		
	7	10%	8	20%	4	20%	4	15%	9	10%	4	15%	9	10%				
RD12	2	100%	8	60%	4	100%	1	70%	9	100%	3	20%	1	80%	9	100%	1	10%
			9	40%	2	30%	2	30%	4	30%	2	20%	2	80%				
									5	50%	3	10%						
RD13	2	50%	5	60%	4	50%	6	30%	4	20%	6	20%	2	100%	8	60%	2	20%
	3	50%	6	40%	5	50%	7	50%	5	30%	7	30%	9	30%	3	70%		
			8	20%	6	50%	8	50%	10	10%	4	10%						
RD14	2	60%	8	60%	10	100%	6	30%	9	70%	7	60%	5	15%	9	20%	7	80%
	3	40%	9	40%	7	50%	10	30%	8	40%	6	15%	10	80%	8	10%		
							8	20%	7	70%	9	10%						
RD15	3	40%	8	60%	7	40%	2	30%	8	70%	8	60%	1	30%	9	20%	7	100%
	4	30%	9	40%	8	30%	3	50%	9	30%	9	40%	2	60%	10	80%		
	5	30%	9	30%	4	20%	3	10%										
RD16	2	20%	2	20%	6	15%	2	30%	3	100%	5	25%	1	10%	3	30%	7	100%
	3	60%	3	60%	7	70%	3	50%	6	50%	2	80%	4	70%				
	4	20%	4	20%	8	15%	4	20%	7	25%	3	10%						
RD17	1	10%	8	100%	6	50%	3	100%	9	10%	6	10%	1	10%	7	10%	5	10%
	2	80%	7	50%	10	90%	7	80%	2	80%	8	70%	6	80%				
	3	10%	8	10%														
RD18	3	30%	4	50%	3	50%	3	25%	5	50%	3	60%	2	20%	4	70%	4	50%
	4	70%	5	50%	4	50%	4	50%	6	30%	4	40%	3	60%	5	30%	5	50%
							5	25%	7	20%	4	20%						
RD19	6	30%	7	50%	5	60%	5	60%	6	50%	5	50%	6	100%	6	25%	5	70%
	7	50%	8	30%	6	40%	6	40%	7	50%	6	50%	7	50%	6	30%		
	8	20%	9	20%							8	25%						

### 5.3. Analiza kreditnog rizika primenom matrice rizika

Analiza rizičnih događaja prikazanih u tabeli 13 korišćenjem matrice rizika zahteva (i) simplifikaciju odgovora ispitanika na način da se za svakog eksperta dobije jedinstvena ocena faktora rizika ili (ii) primenu *DST* i odgovarajućeg pravila kombinovanja za fuziju informacija iz više izvora. Takođe, za matricu rizika nisu potrebni podaci o mogućnosti detekcije rizičnog događaja jer se analiza zasniva na verovatnoći nastanka (*O*) i težini posledica (*S*). Pošto se radi o početnoj analizi kreditnog rizika projektnog finansiranja MHE koja ima za cilj grubu segmentaciju rizičnih događaja biće prikazan prvi pristup koji je jednostavniji.

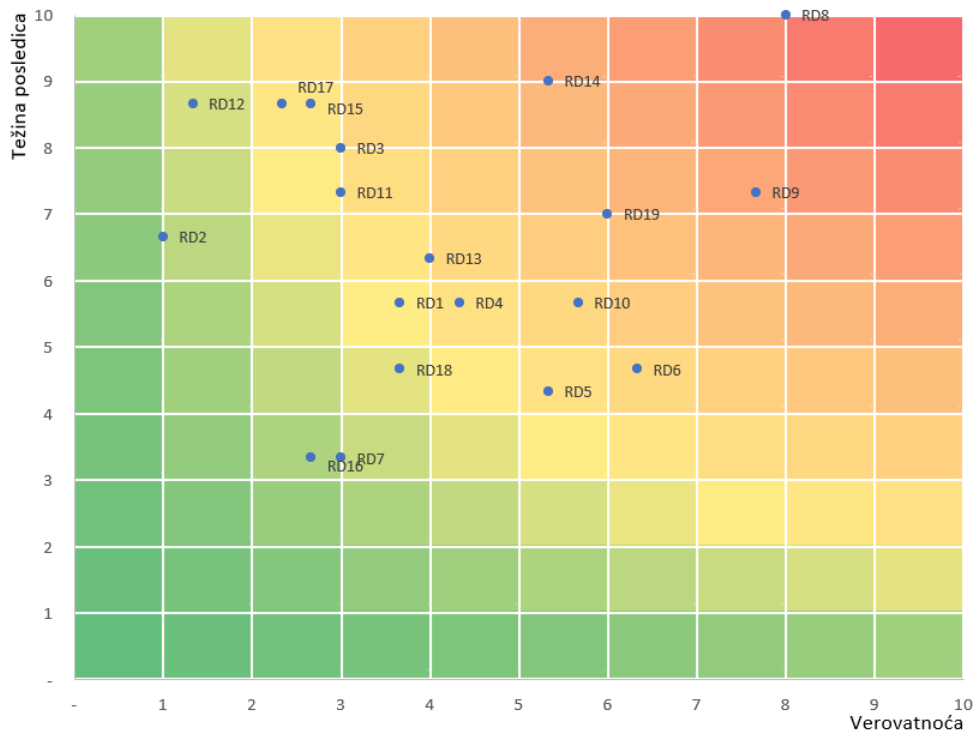
Za svaki rizični događaj  $j, j \in N$  i faktor rizika  $i, i \in \{O, S\}$  uzima se jedinstvena ocena  $k, k \in \{1, 2, 3, \dots, 10\}$  kojoj je ekspert pripisao najveće verovanje  $m_{il}^j(k)$ . Ako je ekspert pripisao isto verovanje za dve ili više ocena faktora rizika  $i$ , uzeta je najveća ocena. Navedeni pristup je konzervativan i obezbeđuje da se rizični događaji ne potcene na osnovu dobijenih ocena eksperata. Jedinstvene ocene za verovatnoću nastanka i težinu posledica rizičnih događaja koji su ocenjeni od tri eksperta izračunate su korišćenjem proste aritmetičke sredine. Rizik (*R*) se izračunava na način objašnjen u tački 4.1 odnosno kao proizvod *O* i *S*. Dobijeni rezultati su dati u tabeli 14.

Tabela 14. Izračunavanje R za matricu rizika

Događaj	E1		E2		E3		Matrica rizika		
	O	S	O	S	O	S	O	S	R
RD1	3	5	4	5	4	7	3,67	5,67	20,78
RD2	1	7	1	6	1	7	1,00	6,67	6,67
RD3	7	5	1	9	1	10	3,00	8,00	24,00
RD4	7	4	2	8	4	5	4,33	5,67	24,56
RD5	6	3	6	5	4	5	5,33	4,33	23,11
RD6	6	4	7	6	6	4	6,33	4,67	29,56
RD7	3	3	2	2	4	5	3,00	3,33	10,00
RD8	9	10	8	10	7	10	8,00	10,00	80,00
RD9	10	7	6	7	7	8	7,67	7,33	56,22
RD10	6	5	7	4	4	8	5,67	5,67	32,11
RD11	5	7	1	7	3	8	3,00	7,33	22,00
RD12	2	8	1	9	1	9	1,33	8,67	11,56
RD13	3	5	7	6	2	8	4,00	6,33	25,33
RD14	2	8	7	9	7	10	5,33	9,00	48,00
RD15	3	8	3	8	2	10	2,67	8,67	23,11
RD16	3	3	3	3	2	4	2,67	3,33	8,89
RD17	2	8	3	10	2	8	2,33	8,67	20,22
RD18	4	5	4	5	3	4	3,67	4,67	17,11
RD19	7	7	5	7	6	7	6,00	7,00	42,00

Dobijeni rezultati su predstavljeni u matrici rizika koja je prikazana na slici 24. Pozicija rizičnog događaja u matrici je određena na osnovu njegove učestalosti javljanja

(horizontalna osa) i očekivane težine njegovih posledica (vertikalna osa). Presek vrednosti za ove dve dimenzije daje tačnu poziciju rizičnog događaja u matrici. Pošto su rizični događaji ocenjeni na skalama od 1 do 10, matrica je dimenzija 10x10. Fleksibilnost matrice u pogledu njenih dimenzija daje joj sposobnost prilagođavanja različitim skalama koje se mogu koristiti za ocenu rizičnih događaja.



Slika 24. Matrica rizika (ilustracija autora)

Na osnovu pozicije u matrici rizika, najnepovoljniju kombinaciju učestalosti javljanja i očekivane težine posledica ima RD8 koji predstavlja proteste javnosti protiv izgradnje MHE. Imajući u vidu da većina rizičnih događaja može imati značajne negativne posledice na finansiranje MHE (u kontekstu slike 24, većina događaja se nalazi u gornjoj polovini matrice), na osnovnom nivou analize događaji se mogu podeliti na događaje sa manjom verovatnoćom nastanka ( $0 < 5$ ) i događaje sa većom verovatnoćom nastanka ( $0 > 5$ ) i usmeravanjem pažnje analitičara na događaje koji se češće javljaju.

Nešto detaljnija, ali i dalje arbitrarna, segmentacija rizičnih događaja može se izvršiti grupisanjem rizičnih događaja u 3 grupe:

1. *Grupa*: Obuhvata rizične događaje koji su učestali i imaju ozbiljne posledice na kvalitet kreditnog plasmana banke. Ovoj grupi pripadaju događaji br. 8, 9, 14, 19, 10 i 6. RD6 se može svrstati u ovu grupu imajući u vidu njegovu visoku verovatnoću nastanka ( $>6$ ) iako je težina njegovih posledica niža od 5.
2. *Grupa*: Obuhvata rizične događaje br. 17, 15, 3, 11, 13, 1, 4, 18 i 5 koji imaju umerenu verovatnoću javljanja i ozbiljne posledice na kreditni plasman banke. U ovu grupu su klasifikovan RD5 koji ima potencijalno lakše posledice ali je njegova verovatnoća nastanka iznad 5.
3. *Grupa*: Obuhvata događaje br. 12 i 2 koji imaju malu verovatnoću nastanka ali potencijalno ozbiljne posledice. Takođe, ovde se mogu klasifikovati RD16 i RD7 čije

očekivane negativne posledice su najslabijeg intenziteta među analiziranim događajima.

Navedeno grupisanje rizika sugerise menadžerima za analizu i procenu kreditnog rizika da svoju pažnju i korektivne akcije za smanjenje rizika primarno usmere na rizike iz prve grupe, a zatim na rizike iz druge i treće grupe. Nedostaci matrice rizika koje je potrebno prevazići korišćenjem dodatnih tehnika za analizu i procenu kreditnog rizika su:

1. Matrica rizika ne uzima u obzir mogućnost detekcije rizika tokom kreditnog procesa.
2. Veoma je teško proceniti pouzdanost jedinstveno datih ocena eksperata koje su subjektivne zbog čega se ne mogu smatrati preciznom kvantifikacijom verovatnoće i očekivane težine posledica rizičnih događaja. Uprosečavanje odgovora eksperata, sa ili bez pondera, neće doprineti smanjenju subjektivnosti ocena ali može imati pozitivan uticaj na njihovu pouzdanost kao rezultat kombinovanja domenskog znanja i iskustva.
3. Rangiranje rizičnih događaja je neprecizno zbog čega je prioritizacija korektivnih akcija subjektivna odluka menadžera.
4. Matrica rizika se ne može koristiti kao alat za procenu efikasnosti predloženih korektivnih akcija za umanjenje rizika.

Uvođenje mogućnosti detekcije rizika, kao treće dimenzije, obezbeđuje *FMEA*. Međutim, tradicionalna *FMEA* je izložena sličnim slabostima kao i matrica rizika o čemu je bilo reči u tački 4.2. Navedeni nedostaci posledica su epistemičke (saznajne) neizvesnosti. U narednom poglavlju analiza kreditnog rizika je sprovedena primenom kombinacije *FMEA* i *DST*. Parcijalni rezultati dobijeni primenom *DST* mogu se iskoristiti za matricu rizika u cilju poboljšanja dobijenih rezultata.

#### **5.4. Analiza kreditnog rizika primenom unapređene analize načina i efekata otkaza**

Primena *FMEA-DST* se realizuje kroz korake prikazane na slici 17. Rizični događaji koji su predmet *FMEA-DST* analize prikazani su u tabeli 13. Za svako  $i, i \in \{O, D, S\}$  formiran je poseban skup mogućih procena  $\Theta \in \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10\}$ . Rezultati prikupljanja ocena su  $m_{i,l}^j(k)$  gde su  $l \in L, L = \{1,2,3\}, j \in N, N = \{1,2,3,\dots,19\}, i k \in \Theta_i$ .

##### *Modifikacija jedinstvenih ocena*

U slučaju kada je neko od eksperata dao jedinstvenu ocenu za jedan ili više faktora rizika za bilo koji analizirani rizični događaj od 1 do 19, jedinstvena ocena je modifikovana korišćenjem normalne raspodele prema formuli 11. Kao što je prethodno navedeno, primena formule 11 se svodi na modifikaciju jedinstvene ocene na način da jedinstveno data ocena dobija osnovnu verovatnoću od 80% a njene susedne vrednosti (ocene koje su za jedan veće i jedan manje od jedinstvene ocene) osnovne verovatnoće od 10%.

Modifikacija jedinstvene ocene biće ilustrovana sledećim primerom. Ekspert 1 je dao jedinstvenu ocenu 6 za rizični događaj 5 za faktor rizika *S*. Modifikacijom jedinstvene ocene faktor rizika *S* je ocenjen sa ocenama 5, 6 i 7 uz osnovne verovatnoće 10%, 80% i 10% respektivno, odnosno:  $m_{s,1}^5(6) = 100\% \Rightarrow m_{s,1}^5(5) = 10\%, m_{s,1}^5(6) = 80\%, m_{s,1}^5(7) = 10\%$ .

### Test odstupanja odgovora eksperata

Svaki rizični događaj ocenjen je od strane tri eksperata. Odgovori eksperata mogu značajno odstupati usled njihove različite procene koja zavisi od iskustva ali i od sklonosti odnosno averzije menadžera prema određenom riziku. Test odstupanja odgovora eksperata omogućava eliminisanje ocena eksperata koje značajno odstupaju od ostalih. Takođe, u zavisnosti od strukture dobijenih ocena efikasnost testa odstupanja odgovora eksperata može imati presudan uticaj za mogućnost korišćenja Dempster-ovog pravila kombinovanja. Ako u tabeli 13 postoji rizični događaj  $j, j \in N$ , i njegov faktor rizika  $i, i \in \{O, S, D\}$  čiji je okvir rasuđivanja eksperta  $q$  jednak skupu  $\Theta_{iq}^j$  pri čemu važi  $\Theta_{il}^j \cap \Theta_{iq}^j = \emptyset$  za svako  $l \in L \setminus q$  primena Dempster-ovog pravila kombinovanja datog u formuli 17 nije moguća jer će brojilac biti jednak 0 za faktor rizika  $i$ .

Navedeni nedostatak Dempster-ovog pravila kombinovanja može se prevazići na različite načine. Yang i drugi (2011) i Su i drugi (2012) predlažu korišćenje modifikovanog Dempster-ovog pravila kombinovanja. Li i Chen (2019) i Chen i Deng (2018) uvode koeficijent diskontovanja (engl. *discounting coefficient*) dok su Wang i drugi (2018) razvili novo pravilo kombinovanja. Većina predloženih rešenja koristi kompleksne obračune pri čemu ne postoji jedinstven pristup koji nudi superiorne rezultate u odnosu na ostale. Jednostavniji pristup koriste Suo i drugi (2020) a zasniva se na normalnoj raspodeli i formiranju intervala prihvatljivih ocena na način objašnjen u delu 4.4 disertacije. Potencijalni problem sa korišćenjem intervala pouzdanosti leži u činjenici da će većina, ako ne i sve, ocene eksperata pripadati formiranom intervalu zbog čega primena Dempster-ovog pravila kombinovanja i dalje nije moguća. Ovo je naročito izraženo u slučaju malog broja ispitanika kada standardna devijacija može imati relativno veliku vrednost. Većina autora u svojim istraživanjima potpuno ignoriše navedeni nedostatak Dempster-ovog pravila kombinovanja i koriste formulu 17 za fuziju odgovora većeg broja eksperata (Kulkarni i Johnson, 2012; Emovon, 2016, Certa i drugi 2017; Seiti i drugi, 2018; Wang i drugi, 2019b).

Za potrebe istraživanja u ovom radu koristi se jednostavan, ali efikasan, test odstupanja odgovora eksperata definisan na sledeći način: ako u tabeli 13 postoji rizični događaj  $j, j \in N$ , i njegov faktor rizika  $i, i \in \{O, S, D\}$  za koji je ekspert  $q$  dodelio okvir rasuđivanja  $\Theta_{iq}^j$  pri čemu važi  $\Theta_{il}^j \cap \Theta_{iq}^j = \emptyset$  za svako  $l \in L \setminus q$ , onda se rasuđivački okvir  $\Theta_{iq}^j$  isključuje iz dalje analize rizičnog događaja. Posledično, unija preostalih rasuđivačkih okvira,  $\Theta_{il}^j$ , postaje rasuđivački okvir  $\Theta_i^j$  za  $i$ -ti faktor rizika  $j$ -og rizičnog događaja. Predloženi test odstupanja direktno utiče na nedostatak Dempster-ovog pravila kombinovanja tako što eliminiše procenu eksperata koja je potpuno različita u odnosu na procene ostalih eksperata, nakon čega se koeficijent  $K_i$  u formuli 17 sigurno može izračunati.

Pored toga što omogućava sigurnu primenu pravila kombinovanja, predloženi test odstupanja je prilagođen specifičnostima analize kreditnog rizika. Pravilo kombinovanja eliminiše ocene eksperata koji je averzan prema konkretnom riziku a što može biti rezultat negativnog iskustva iz prethodnog perioda koje je pre izuzetak nego pravilo. Sličan argument važi u situaciji kada ekspert ignoriše određeni rizik zbog nedostatka negativnog iskustva u prethodnom periodu.

Primena pravila kombinovanja biće ilustrovana sledećim primerom. Ako se analizira RD13 koji se odnosi na grešku operatera distributivnog sistema prilikom priključivanja MHE na distributivnu mrežu, mišljenje drugog eksperta značajno odstupa u pogledu učestalosti javljanja u odnosu na preostala dva eksperta. Razlog jeste averzija eksperta prema rizičnom događaju zbog negativnog iskustva sa projektnim finansiranjem jedne MHE koja je imala performanse ispod očekivanih zbog greške EPS-a. Primenom testa odstupanja odgovori drugog eksperta za *O* i *D* biće eliminisani. Test odstupanja ima za rezultat balansiran pristup proceni kreditnog rizika eliminisanjem ekstremnih ocena eksperata za određene faktore rizika pojedinačnih rizičnih događaja. Slično objašnjenje je primenljivo za ostale ocene koje su isključene iz analize. U tabeli 15 prikazane su ocene eksperata nakon modifikacije jedinstvenih ocena i primene testa odstupanja odgovora eksperata. Ocene koje su isključene na osnovu testa odstupanja precrtane su jednom linijom (npr. ocene faktora rizika D za RD1 date od strane eksperta 1).

Tabela 15. Ocene eksperata nakon modifikacije jedinstvenih ocena i test odstupanja

Događaj	Ekspert 1			Ekspert 2			Ekspert 3											
	O	S	D	O	S	D	O	S	D									
RD1	2	40%	4	20%	7	80%	4	50%	4	15%	4	35%	3	15%	6	10%	2	60%
	3	50%	5	60%	8	20%	5	35%	5	50%	5	65%	4	70%	7	70%	3	30%
	4	10%	6	20%			6	15%	6	35%			5	15%	8	20%	4	10%
RD2	1	60%	6	30%	9	80%	1	60%	4	10%	9	35%	1	80%	7	80%	9	10%
	2	30%	7	40%	10	20%	2	30%	5	35%	10	65%	2	10%	8	10%	10	90%
	3	10%	8	30%			3	10%	6	55%			3	10%	9	10%		
RD3	6	40%	4	10%	1	30%	1	60%	7	10%	1	30%	1	80%	8	10%	1	80%
	7	60%	5	80%	2	30%	2	30%	8	35%	2	60%	2	10%	9	10%	2	15%
			6	10%	3	40%	3	10%	9	55%	3	10%	3	10%	10	80%	3	5%
RD4	6	30%	3	50%	4	30%	2	60%	6	10%	2	65%	3	30%	4	25%	2	15%
	7	40%	4	50%	5	30%	3	30%	7	35%	3	35%	4	60%	5	50%	3	70%
	8	30%			6	40%	4	10%	8	55%			5	10%	6	25%	4	15%
RD5	5	10%	2	50%	4	30%	5	15%	4	40%	7	65%	3	30%	4	25%	3	70%
	6	80%	3	50%	5	30%	6	50%	5	60%	8	35%	4	60%	5	50%	4	20%
	7	10%			6	40%	7	35%			5	10%	5	10%	6	25%	5	10%
RD6	5	50%	3	50%	4	30%	6	25%	5	15%	8	50%	5	10%	3	30%	7	10%
	6	50%	4	50%	5	30%	7	65%	6	50%	9	35%	6	80%	4	50%	8	80%
			6	40%			8	10%	7	35%	10	15%	7	10%	5	20%	9	10%
RD7	3	60%	2	10%	4	30%	2	60%	2	60%	2	40%	3	50%	4	25%	3	20%
	4	40%	3	80%	5	30%	3	30%	3	30%	3	60%	4	50%	5	50%	4	70%
			4	10%	6	40%	4	10%	4	10%					6	25%	5	10%
RD8	9	60%	9	50%	9	10%	8	60%	9	40%	2	40%	6	25%	9	20%	2	80%
	10	40%	10	50%	10	90%	9	30%	10	60%	3	60%	7	50%	10	80%	3	10%
							10	10%					8	25%			4	10%
RD9	8	30%	5	30%	9	10%	5	20%	5	20%	6	60%	6	50%	7	30%	6	10%
	9	30%	6	30%	10	90%	6	50%	6	30%	7	40%	7	50%	8	60%	7	80%
	10	40%	7	40%			7	30%	7	50%					9	10%	8	10%
RD10	6	60%	4	10%	7	10%	6	20%	4	50%	6	60%	4	60%	7	30%	8	80%
	7	40%	5	80%	8	80%	7	50%	5	30%	7	40%	5	30%	8	60%	9	10%
			6	10%	9	10%	8	30%	6	20%			6	10%	9	10%	10	10%
RD11	5	50%	7	60%	4	60%	1	60%	6	30%	2	50%	2	15%	7	20%	1	10%
	6	40%	8	40%	5	40%	2	40%	7	50%	3	30%	3	70%	8	70%	2	80%
	7	10%							8	20%	4	20%	4	15%	9	10%	3	10%
RD12	1	10%	8	60%	3	10%	1	70%	8	10%	3	20%	1	80%	8	10%	1	10%
	2	80%	9	40%	4	80%	2	30%	9	80%	4	30%	2	20%	9	80%	2	80%
	3	10%			5	10%			10	10%	5	50%			10	10%	3	10%
RD13	2	50%	5	60%	4	50%	6	30%	4	20%	6	20%	1	10%	8	60%	2	20%
	3	50%	6	40%	5	50%	7	50%	5	30%	7	30%	2	80%	9	30%	3	70%
							8	20%	6	50%	8	50%	3	10%	10	10%	4	10%
RD14	2	60%	8	60%	9	10%	6	30%	9	70%	7	60%	5	15%	9	20%	7	80%
	3	40%	9	40%	10	90%	7	50%	10	30%	8	40%	6	15%	10	80%	8	10%
							8	20%					7	70%			9	10%
RD15	3	40%	8	60%	7	40%	2	30%	8	70%	8	60%	1	30%	9	20%	6	10%
	4	30%	9	40%	8	30%	3	50%	9	30%	9	40%	2	60%	10	80%	7	80%
	5	30%			9	30%	4	20%					3	10%			8	10%
RD16	2	20%	2	20%	6	15%	2	30%	2	10%	5	25%	1	10%	3	30%	6	10%
	3	60%	3	60%	7	70%	3	50%	3	80%	6	50%	2	80%	4	70%	7	80%
	4	20%	4	20%	8	15%	4	20%	4	10%	7	25%	3	10%			8	10%
RD17	1	10%	7	10%	6	50%	2	10%	9	10%	6	10%	1	10%	7	10%	5	10%
	2	80%	8	80%	7	50%	3	80%	10	90%	7	80%	2	80%	8	70%	6	80%
	3	10%	9	10%			4	10%			8	10%	3	10%	9	20%	7	10%
RD18	3	30%	4	50%	3	50%	3	25%	5	50%	3	60%	2	20%	4	70%	4	50%
	4	70%	5	50%	4	50%	4	50%	6	30%	4	40%	3	60%	5	30%	5	50%
							5	25%	7	20%			4	20%				
RD19	6	30%	7	50%	5	60%	5	60%	6	50%	5	50%	5	10%	6	25%	5	70%
	7	50%	8	30%	6	40%	6	40%	7	50%	6	50%	6	80%	7	50%	6	30%
	8	20%	9	20%									7	10%	8	25%		



*Fuzija informacija iz više izvora, izračunavanje broja prioriteta rizika i rangiranje rizičnih događaja*

Rezultati fuzije informacija iz više izvora za  $O$ ,  $S$  i  $D$  (dobijeni primenom formule 17) i vrednost  $RPN$  (dobijene primenom formula 18 i 19) za sve rizične događaje dobijeni primenom *FMEA-DST* metodologije su dati u tabeli 16. Konačno, rizični događaji su rangirani poštovanjem principa da veća vrednost  $RPN$  korespondira sa višim rangom rizičnog događaja.

Tabela 16. Rezultati FMEA-DST metodologije i rangiranje rizičnih događaja

Događaj	$K_O$	$RPN_O^j$	$K_S$	$RPN_S^j$	$K_D$	$RPN_D^j$	$RPN^j$	Rang
RD1	0,9650	4,0000	0,9930	6,0000	0,9650	4,0000	96,0000	10
RD2	0,7020	1,0396	0,6500	7,0857	0,8550	9,8069	72,0539	12
RD3	0,4800	1,0962	0,9100	8,6111	0,8990	1,3069	12,3363	19
RD4	0,8500	3,4000	0,8750	4,0000	0,6575	2,7153	36,9285	17
RD5	0,9985	5,0000	0,6000	4,7500	0,9100	4,3333	102,9167	9
RD6	0,9000	6,0000	0,6000	3,6250	0,5650	8,0850	175,7500	7
RD7	0,8900	3,1818	0,9975	4,0000	0,7600	4,1250	52,5000	13
RD8	0,7800	9,1818	0,7200	9,8571	0,6200	2,1579	195,3035	6
RD9	0,6000	6,3750	0,9400	7,0000	0,6200	6,8421	305,3289	2
RD10	0,9880	6,0000	0,6900	4,9032	0,3500	8,0154	235,8074	3
RD11	0,9400	2,0000	0,8840	7,4828	0,5700	2,0698	30,9751	18
RD12	0,8960	1,4615	0,7380	8,9771	0,9980	3,0000	39,3611	16
RD13	0,5500	2,1111	0,6200	5,5263	0,9500	4,0000	46,6667	15
RD14	0,6050	6,8861	0,9440	9,0000	0,4800	7,0769	438,5901	1
RD15	0,9800	3,0000	0,9760	9,0000	0,9820	8,0000	216,0000	5
RD16	0,9220	2,3846	0,8420	3,0886	0,8525	6,9429	51,1825	14
RD17	0,9280	2,1111	0,9980	9,0000	0,9200	6,5000	123,5000	8
RD18	0,8850	3,6087	0,9250	5,0000	0,9000	4,0000	72,1739	11
RD19	0,9040	6,0000	0,8750	7,0000	0,7300	5,2222	219,3333	4

*Analiza robusnosti FMEA-DST metodologije*

Prethodno dobijeni rezultati zasnovani su na pretpostavci da ocene svih eksperata imaju jednake težine prilikom izračunavanja  $RPN$ . Ponderisanjem odgovora eksperata može se testirati robusnost predloženog modela. Analiza robusnosti zasnovana je na pristupu Tang i drugih (2018) koji koriste eksponencijalno ponderisanje za izračunavanje ponderisanih  $RPN$ . Pošto se odgovori eksperata fuzionišu u zajedničku vrednost korišćenjem pravila kombinovanja jasno je da se ponderi moraju uključiti u ovoj fazi primene *FMEA-DST* metodologije. Modifikovano pravilo kombinovanja, koje uključuje pondere eksperata, dato je u formuli 25.

$$m_i^j(k) = \begin{cases} \frac{1}{1 - K_i} \prod_{l \in L} (m_{il}^j(k))^{w_l} & k \in \bigcap_{l \in L} \Theta_{il}^j \\ 0 & \text{u suprotnom} \end{cases} \quad (25)$$

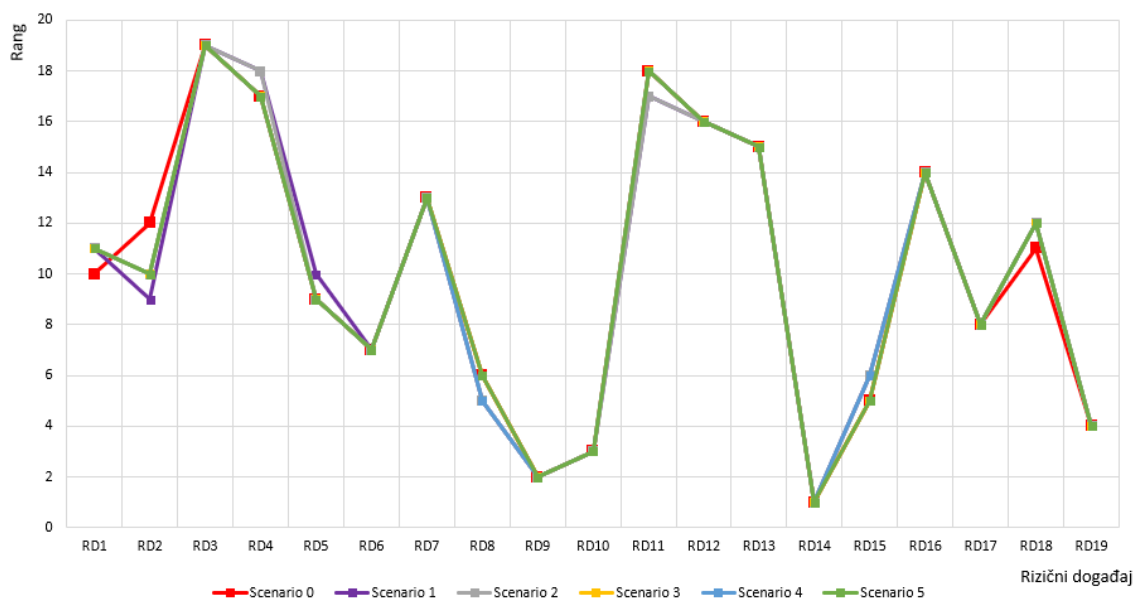
gde je  $K_i = \sum_{(\exists \theta, u \in L) k_\theta \neq k_u} \prod_{l \in L} (m_{il}^j(k))^{w_l}$

Vrednosti  $w_1 \dots w_l$  su ponderi za koje važi  $w_i \in (0,1), \sum_{i=1}^l w_i = 1$ . Kako je  $m_{il}^j(k) \in [0,1]$ , ponderi dati u tabeli 17, koji će se koristiti za test robusnosti, dodeljuju težinu ekspertu u opadajućem poretku – ekspertu sa najmanjim ponderom u konkretnom scenariju dodeljena je najveća težina u kontekstu primene *FMEA-DST* metodologije. Analiza robusnosti urađena je prema pet različitih scenarija prikazanih u tabeli 17.

Tabela 17. Ponderi dodeljeni ekspertima u različitim scenarijima

Scenario	Ekspert 1	Ekspert 2	Ekspert 3
Scenario 1	0,70	0,20	0,10
Scenario 2	0,50	0,30	0,20
Scenario 3	0,30	0,20	0,50
Scenario 4	0,10	0,60	0,30
Scenario 5	0,40	0,15	0,45

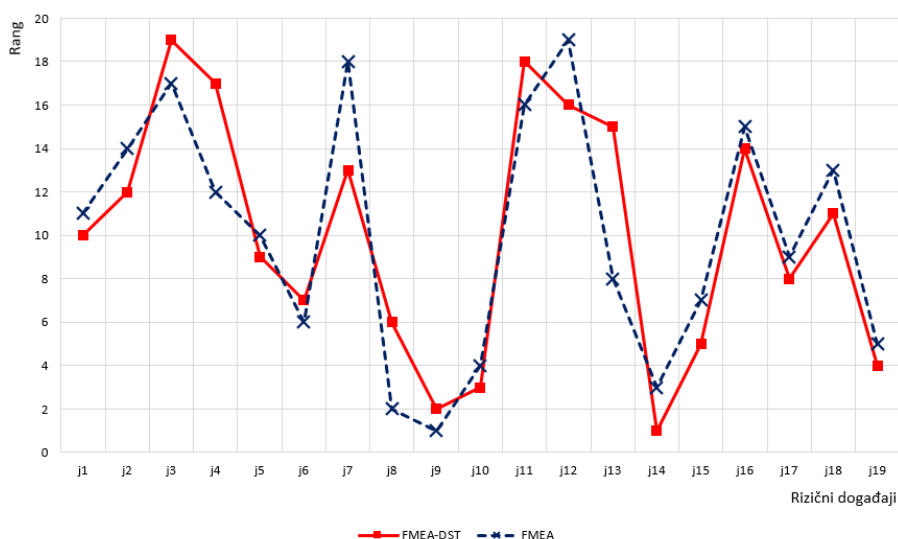
Na slici 25 prikazani su rezultati dobijenim primenom testa robusnosti modela. Rezultati testa robusnosti pokazuju da su RD14, RD9, RD10 i RD19 rangirani na prvom, drugom, trećem i četvrtom mestu respektivno prema svim analiziranim slučajevima. Scenario 0, scenario 3 i scenario 5 rangiraju RD15 i RD8 na peto i šesto mesto respektivno. Scenario 1, scenario 2 i scenario 4 rangiraju događaje RD15 i RD8 na šesto i peto mesto respektivno. Rangovi za RD3, RD6, RD7, RD13, RD16, RD17 i RD18 su isti nezavisno od korišćenih pretpostavki o težinama eksperata. Preostalih šest rizičnih događaja zauzimaju gotovo identične rangove u svim analiziranim slučajevima. Na osnovu analize dobijenih rezultata može se zaključiti da je korišćeni model robusan.



Slika 25. Rezultati testa robusnosti FMEA-DST metodologije (ilustracija autora)

*Poređenje rezultata tradicionalne i unapređene analize načina i efekata otkaza*

Ako bi se od istih eksperata tražilo da dodele jedinstvenu ocenu za svaki faktor rizika svakog pojedinačnog rizičnog događaja onda bi eksperti dodelili onu ocenu kojoj su pripisali najveću osnovnu verovatnoću. Izračunavanjem proste aritmetičke sredine, na ovaj način dobijenih, jedinstvenih ocena eksperata i njihovim množenjem dobija se RPN primenom tradicionalne FMEA. Korišćenjem navedenih pretpostavki može se primeniti tradicionalna FMEA na odgovore eksperata date u tabeli 13. Komparativni prikaz rezultata *FMEA-DST* metodologije i tradicionalne *FMEA* dat je na slici 26.



Slika 26. Poređenje rezultata FMEA-DST i tradicionalne FMEA (ilustracija autora)

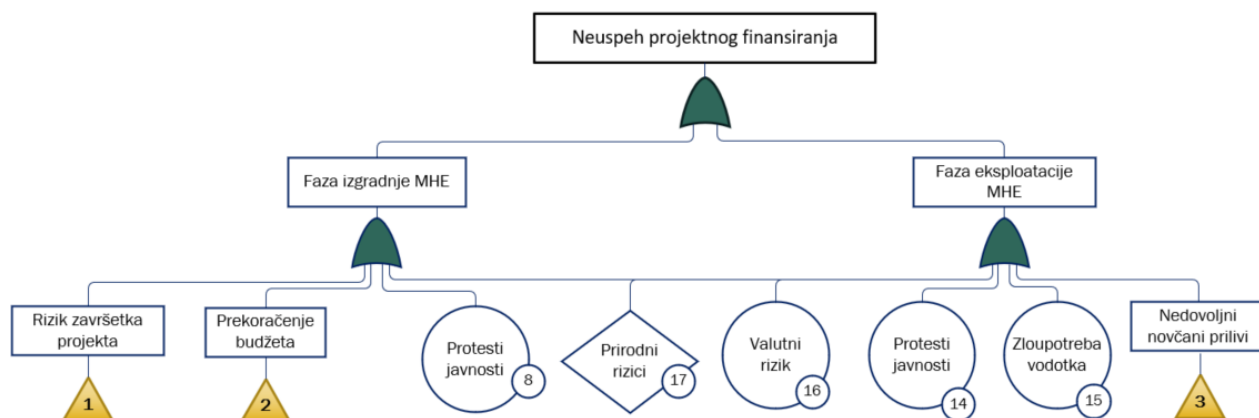
Rangovi rizičnih događaja prikazani na slici 26 nisu isti. Međutim, rizični događaji koje treba uključiti u CIL su nepromenjeni. Najveće odstupanje u rangovima ostvareno je za događaje 4, 7, 8 i 13. Razlike u rezultatima dobijenim primenom analiziranih metoda su: (i)

test odstupanja odgovora eksperata koji isključuje odgovore eksperata koji su suviše averzni ili skloni riziku i (ii) pravilo kombinovanja korišćeno za fuziju odgovora većeg broja eksperata. Razlika u rangovima za RD4, RD8 i RD13 je pretežno pod uticajem testa odstupanja jer su njegovom primenom isključeni odgovori eksperata koji su suviše averzni prema riziku. Ovakav pristup obezbeđuje realističniju analizu rizičnih događaja. Razlika u rangovima za događaj RD7 je pretežno pod uticajem korišćenog pravila kombinovanja koje agregira odgovore eksperata u zavisnosti od njihovih verovanja umesto prostog uprosečavanja dominantnih mišljenja.

## 5.5. Analiza stabla neispravnosti

### Kvalitativna analiza stabla neispravnosti

Početni korak u analizi kreditnog rizika projektnog finansiranja MHE je identifikovanje rizičnih događaja korišćenjem kvalitativne *FTA*. Rezultat kvalitativne *FTA* jeste stablo neispravnosti koje grafički prikazuje vršni događaj (neuspeh projektnog finansiranja) kao skup pojedinačnih rizičnih događaja povezanih logičkim kolima. Stablo neispravnosti je konstruisano odozgo naniže korišćenjem simbola prikazanih na slici 19. Prateći pristup Yescombe (2002), vršni događaj je analiziran kroz faze projektnog finansiranja u kojima se može dogoditi primarni događaj, zbog čega je stablo neispravnosti inicijalno podeljeno na dve grane odnosno dva posredna događaja: neuspeh u fazi izgradnje MHE i neuspeh u fazi eksploatacije MHE. Slika 27 prikazuje početno grananje stabla neispravnosti od korena (vršni događaj) prema listovima (primarni događaji). Posredni događaji su raščlanjeni do nivoa primarnih događaja i grafički su predstavljeni parcijalnim stablima neispravnosti.

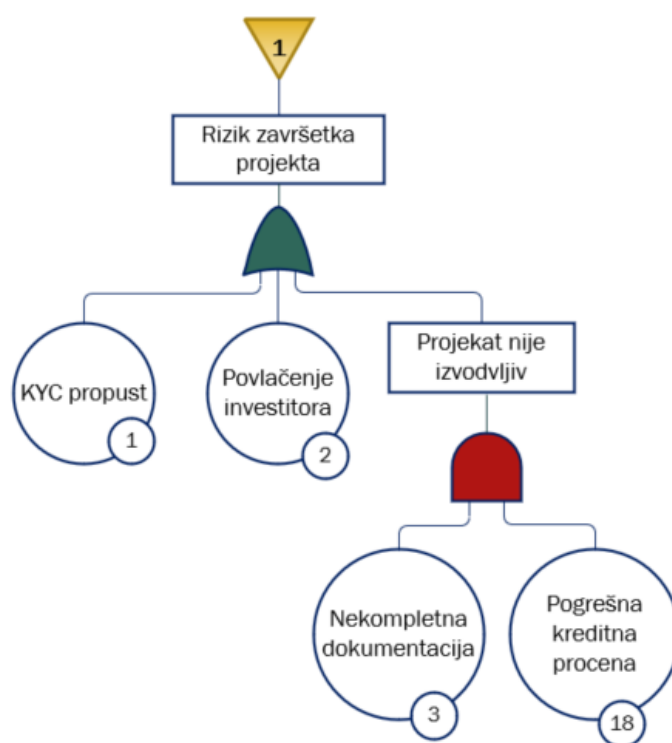


Slika 27. Stablo neispravnosti za vršni događaj (ilustracija autora)

Osim posrednih događaja koji su u nastavku raščlanjeni kroz kapije 1, 2 i 3, slika 27 pokazuje pet rizičnih događaja koji samostalno mogu izazvati vršni događaj: protesti javnosti u fazi izgradnje MHE (RD8), prirodni rizici (RD17), valutni rizik (RD16), protesti javnosti u fazi eksploatacije (RD14) i zloupotreba vodotoka (RD15). U kontekstu *FTA* svaki od navedenih događaja predstavlja mini presek. Prirodni rizici (RD17) se mogu detaljnije raščlaniti na

zemljotres, klizište i poplave zbog čega su prikazani kao nerazvijeni događaj (Spasenic i drugi, 2022a). Sažimanje prirodnih rizika neće imati značajni uticaj na analizu u nastavku.

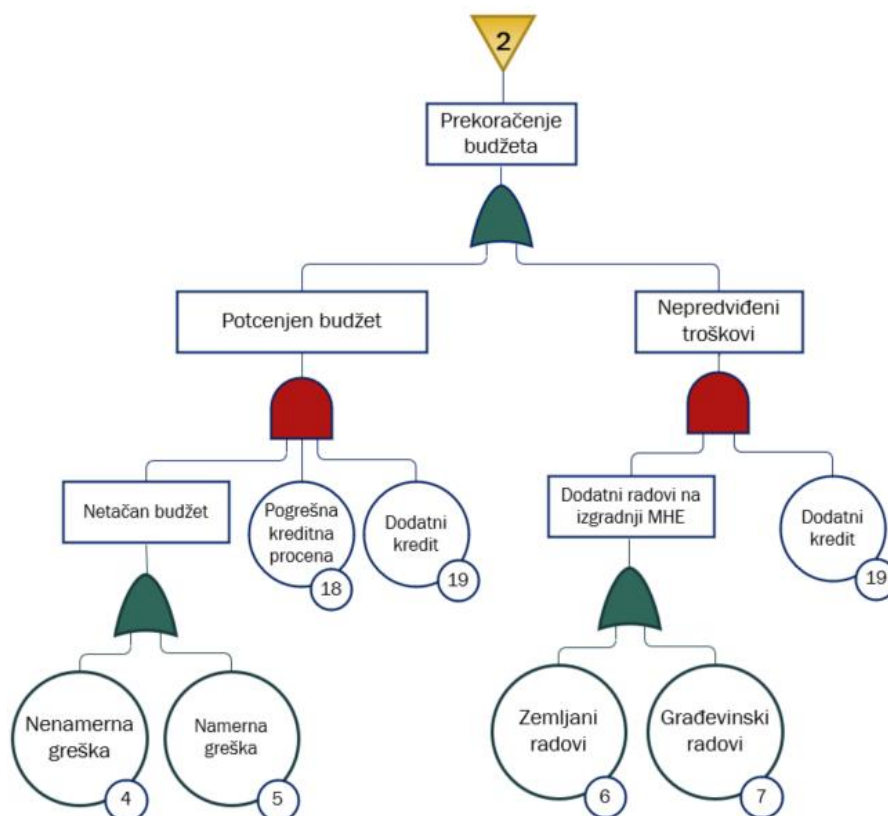
Rizik završetka projekta je prikazan na slici 28. Obustava projekta u fazi izgradnje može biti rezultat propusta u *KYC* proceduri banke (RD1) ili oduke investitora da odustane od dalje implementacije projekta (RD2) ili nekompletne dokumentacije (RD3) pri čemu nedostatak dokumentacije nije primećen tokom analize kreditnog zahteva (RD18). Važno je napomenuti da propusti u primeni internih procedura banke i greške koje su rezultat ljudskog faktora predstavljaju dodatni rizik koji je identifikovan primenom kvalitativne *FTA* zahvaljujući kojoj je rizik uključen u istraživanje (Spasenić i drugi, 2022a; Spasenić i drugi, 2022b). Banke ulažu značajne napore sa ciljem da isključivo finansiraju projekte koji zadovoljavaju sve pozitivne propise RS ali su greške i dalje moguće. U svom istraživanju MHE u RS, Popović i Rajić (2019) su pronašli slučajeve: (i) izgradnje MHE na osnovu projektne dokumentacije i lokacijskih uslova koji su izdat za lokaciju koja je različita u odnosu na lokaciju na kojoj je izgrađena MHE, (ii) izgradnje MHE bez građevinske dozvole, (iii) izgradnje MHE bez planske dokumentacije i (iv) izgradnje MHE koja ne zadovoljava propise u oblasti zaštite životne sredine. Rizik nepotpune dokumentacije je veoma značajan rizik jer može dovesti do obustave izgradnje MHE.



Slika 28. Parcijalno stablo za rizik završetka projekta (ilustracija autora)

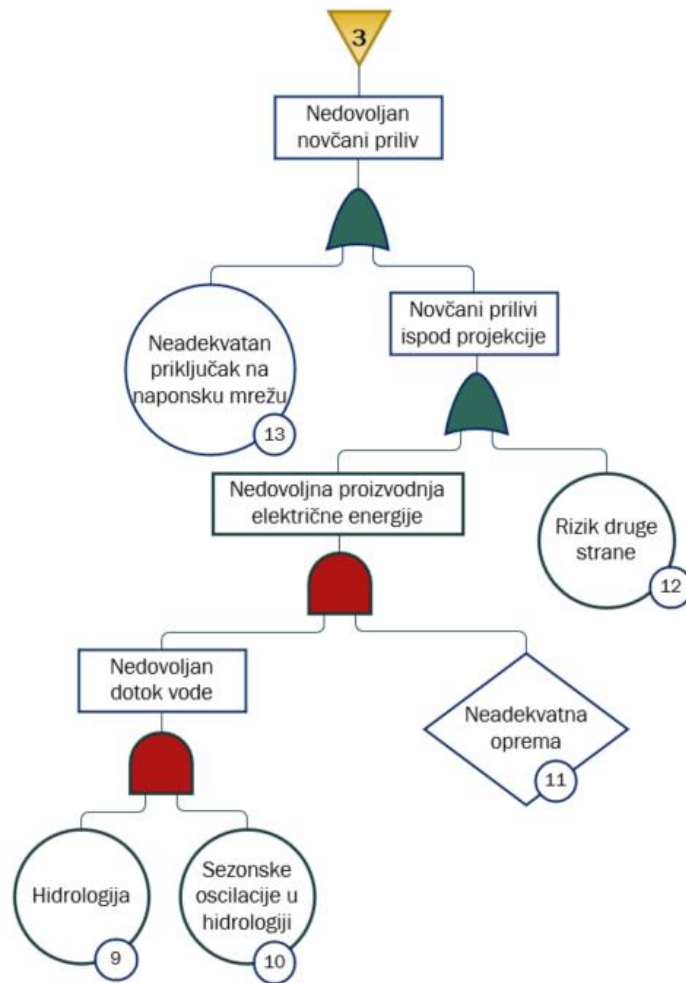
Na slici 29 prikazan je rizik prekoračenja budžeta koji može biti rezultat dva posredna događaja - potcenjenog budžeta ili nepredviđenih investicionih izdataka. Potcenjen budžet nastaje kao rezultat nenamerne greške u projektnoj dokumentaciji (RD4) ili namerne greške (RD5), što mora biti praćeno pogrešnom kreditnom procenom (RD18) i finansiranjem prekoračenja budžeta iz dodatnog kredita (RD19). Slično riziku pogrešne kreditne procene, rizik finansiranja iz dodatnog kredita je identifikovan primenom kvalitativne *FTA*.

Nepredviđeni troškovi mogu nastati tokom izvođenja zemljanih radova (RD6) ili građevinskih radova (RD7) a finansiraju se iz dodatnog kredita (RD19). Slika 29 pokazuje da prekoračenje budžeta može imati negativan uticaj na kreditnu sposobnost MHE samo ako se dodatni izdaci finansiraju od strane banke. Ako bi investitor finansirao dodatne projektne izdatke iz sopstvenog kapitala prekoračenje budžeta ne bi imalo negativnih efekata na banku ali bi negativno uticalo na pokazatelje investicione isplativosti projekta.



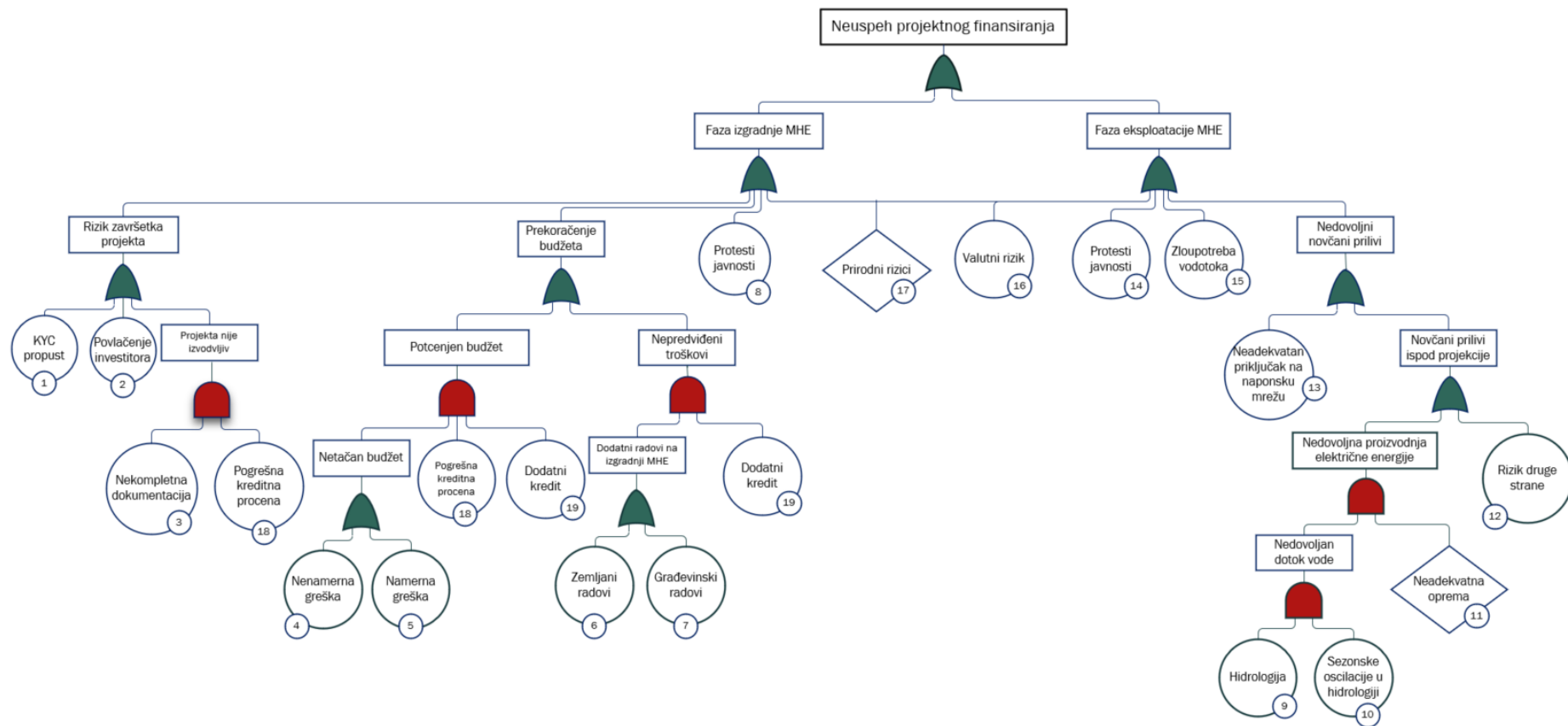
Slika 29. Parcijalno stablo za rizik prekoračenja budžeta (ilustracija autora)

Rizik novčanih priliva je prikazan na slici 30. Nedovoljan novčani priliv za urednu otplatu kredita banke može biti posledica neadekvatnog priključka MHE na naponsku mrežu (RD13) ili stvarnog novčanog toka koji je ispod finansijskih projekcija korišćenih tokom analize kreditnog zahteva. Negativno odstupanje novčanih priliva u odnosu na projektovane rezultat je smanjenje proizvodnje električne energije (posredni događaj) ili realizovanog kreditnog rizika EPS-a (RD12). Smanjena proizvodnja električne energije rezultat je loše hidrologije (RD9) koja izaziva velike sezonske oscilacije u hidrologiji (RD10) i neadekvatne opreme (RD11) pod pretpostavkom da je turbina izabrana na osnovu projektovanog hidropotencijala koji značajno odstupa od stvarnog. Rizici povezani sa izborom opreme se mogu detaljnije analizirati (Spasenic i drugi, 2022a) zbog čega je događaj predstavljen kao nerazvijen.



Slika 30. Parcijalno stablo za rizik novčanih priliva (ilustracija autora)

Kvalitativna *FTA* ima za rezultat dva dodatna rizika - RD18 i RD19 koja nisu identifikovana za potrebe analize primenom *FMEA-DST* metodologije. Na osnovu ovoga može se zaključiti da kvalitativna *FTA* daje sistematičniji pristup analizi kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE i smanjuje mogućnost da pojedini rizici ostanu neprimećeni od strane analitičara. Kompletno stablo neispravnosti prikazano je na slici 31.



Slika 31. Stablo neispravnosti (ilustracija autora)



## Kvantitativna FTA

Kvantitativna FTA biće zasnovana na parcijalnim rezultatima *FMEA-DST* metodologije. Verovatnoće rizičnih događaja izračunate su direktno iz odgovora ispitanika na osnovu rezultata dobijenih za  $RPN_o^j(k)$  koji su prikazani u tabeli 16. Dobijene verovatnoće su iskorišćene za kvantitativnu FTA i za izračunavanje mera značajnosti.

Primenom pravila Bulove algebre dobijeno je 15 mini preseka koji su dati u tabeli 18. Pojedinačni događaji 1, 2, 8, 17, 16, 14, 15, 13 i 12 su mini preseci i njihova realizacija može direktno dovesti do difolta dužnika kao vršnog događaja. Ostali rizični događaji mogu dovesti do vršnog događaja samo ukoliko se istovremen realizuju zajedno sa događajima sa kojima čine mini presek. Na primer, prema rezultatima *FMEA-DST* metodologije iz tabele 16, RD19 je rangiran kao četvrti najrizičniji događaj. Međutim, RD19 se nalazi u četiri mini preseka zbog čega ovaj događaj ne može samostalno rezultovati neuspehom projektnog finansiranja već je povezan sa ostalim rizicima prekoračenja budžeta projekta. Na osnovu početne FTA može se naslutiti da je značaj RD19 manji u odnosu na njegov rang prema *FMEA-DST* metodologiji. Na sličan način se mogu analizirati ostali događaji koji su povezani logičkim kolom „I“ u stablu neispravnosti.

Tabela 18. Minimalni preseci

Mini presek	Opis	Verovatnoća
RD1	KYC propust	$4,00 \cdot 10^{-3}$
RD2	Povlačenje investitora	$1,04 \cdot 10^{-3}$
RD3, RD18	Nekompletna dokumentacija I Pogrešna kreditna procena	$3,96 \cdot 10^{-6}$
RD4, RD18, RD19	Nenamerna greška I Pogrešna kreditna procena I Dodatni kredit	$7,36 \cdot 10^{-8}$
RD5, RD18, RD19	Namerna greška I Pogrešna kreditna procena I Dodatni kredit	$1,08 \cdot 10^{-7}$
RD6, RD19	Zemljani radovi I Dodatni kredit	$3,60 \cdot 10^{-5}$
RD7, RD19	Građevinski radovi I Dodatni kredit	$1,91 \cdot 10^{-5}$
RD8	Protesti javnosti protiv izgradnje MHE	$9,18 \cdot 10^{-3}$
RD17	Prirodni rizici	$2,11 \cdot 10^{-3}$
RD16	Valutni rizik	$2,38 \cdot 10^{-3}$
RD14	Protesti javnosti u fazi eksploatacije MHE	$6,89 \cdot 10^{-3}$
RD15	Zloupotreba vodotoka	$3,00 \cdot 10^{-3}$
RD13	Neadekvatan priključak MHE na naponsku mrežu	$2,11 \cdot 10^{-3}$
RD9, RD10, RD11	Hidrologija I Sezonske oscilacije u hidrologiji I Neadekvatna oprema	$7,65 \cdot 10^{-8}$
RD12	Rizik druge strane	$1,46 \cdot 10^{-3}$

Gornja granica verovatnoće neuspeha projektnog finansiranja je 0,03223248792 ili 3,22% i izračunata je kao suma verovatnoća mini preseka. S obzirom na to da se RD18 i RD19 javljaju u većem broju mini preseka, može se izračunati tačna verovatnoća vršnog događaja korišćenjem formule 21. Tačna verovatnoća vršnog događaja je 0,03223248723.

Smanjenje verovatnoće vršnog događaja zahteva identifikovanje pojedinačnih događaja koji najviše doprinose verovatnoći vršnog događaja što se postiže izračunavanjem mera značajnosti. Vrednosti za BIM, RAW i RRW dobijene su korišćenjem formule 22, formule 23 i formule 24 respektivno. Rezultati su dati u tabeli 19. Rizični događaji su rangirani poštovanjem pravila da veća vrednost mere značajnosti implicira viši rang.

Tabela 19. Mere značajnosti i rangovi rizičnih događaja

Događaj	RAW		RRW		BIM	
	Vrednost	Rang	Vrednost	Rang	Vrednost	Rang
RD1	0,9678	1	0,0040	3	0,9638	7
RD2	0,9678	1	0,0010	9	0,9667	1
RD3	0,0036	5	0,0000	14	0,0036	13
RD4	0,0000	8	0,0000	19	0,0000	16
RD5	0,0000	9	0,0000	15	0,0000	17
RD6	0,0060	4	0,0000	11	0,0059	12
RD7	0,0060	3	0,0000	12	0,0060	11
RD8	0,9678	1	0,0092	1	0,9586	9
RD9	0,0000	11	0,0000	16	0,0000	19
RD10	0,0000	10	0,0000	16	0,0000	18
RD11	0,0000	7	0,0000	16	0,0000	15
RD12	0,9678	1	0,0015	8	0,9663	2
RD13	0,9678	1	0,0021	6	0,9657	3
RD14	0,9678	1	0,0069	2	0,9609	8
RD15	0,9678	1	0,0030	4	0,9648	6
RD16	0,9678	1	0,0024	5	0,9654	5
RD17	0,9678	1	0,0021	6	0,9657	3
RD18	0,0011	6	0,0000	13	0,0011	14
RD19	0,0092	2	0,0001	10	0,0091	10

Rangiranje rizičnih događaja na osnovu *RAW* nije jednoznačno. Rizični događaji koji su istovremeno mini preseki imaju istu vrednost *RAW* i posledično isti rang. Ovo proizilazi direktno iz formule 23 za izračunavanje *RAW*. Slično, rangiranje rizičnih događaja na osnovu *RRW* nije jednoznačno. Isti rang imaju događaji koji čine isti mini presek i ne javljaju se u više različitih mini preseka. *BIM* će, u većini slučajeva, rezultovati jedinstvenim rangovima za svaki događaj pojedinačno.

Sličnost u rangovima između *RAW* i *BIM* (koeficijent korelacije je jednak 0,92) nije iznenađujuća i elaborirana je u prethodnim istraživanjima (van der Borst i Schoonakker, 2001; Aven i Nøkland, 2010). Pošto se izračunavanje mera značajnosti zasniva na različitim pretpostavkama, potrebno je izabrati meru značajnosti čija definicija najviše odgovara ciljevima analize kreditnog rizika. Kako je osnovni cilj menadžera za upravljanje kreditnim rizikom da identifikuje i mitiguje rizične događaje da bi se smanjila verovatnoća difolta dužnika može se zaključiti da je *RRW* najpogodniji pokazatelj za rangiranje rizičnih događaja. Koristeći *RRW*, korektivne akcije bi trebalo usmeriti na RD8, RD14, RD1, RD15 itd.

*RRW* sugeriše da su najznačajniji ekološki rizici (RD8 i RD14). Ako bi se obezbedila podrška javnosti za realizaciju projekta izgradnje MHE odnosno ako bi verovatnoća RD8 i RD14 bila svedena na 0, verovatnoća vršnog događaja se smanjuje sa 0,03223248792 na 0,01606789413 odnosno za ~50%. Sličan obračun doprinosa verovatnoći vršnog događaja se može uraditi i za ostale rizične događaje pojedinačno ili njihove kombinacije.

## **5.6. Korektivne akcije za umanjeње kreditnog rizika**

Sumiranjem kvantitativnih rezultata istraživanja može se zaključiti da bi korektivne akcije trebalo usmeriti na RD6, RD8, RD9, RD10, RD14, RD15, RD17 i RD19. MHE koriste zrele tehnologije za proizvodnju električne energije što je rezultat duge istorije u eksploataciji energije vode. Zrelost tehnologije ima pozitivan uticaj na smanjenje kreditnog rizika projektnog finansiranja MHE koji proizilazi iz rizika povezanih sa tehnologijom. Veći tehnološki rizici su karakteristični za eksploataciju drugih oblika OIE kao što su geotermalna energija ili energija biomase (Polzin i drugi, 2021). Predložene korektivne akcije za umanjeње rizika kritičnih rizičnih događaja date su u nastavku.

*RD6 - Prekoračenje budžeta tokom zemljanih radova.* Prvi mogući način za mitigovanje rizika je gotovina položena na namenski račun kod banke koja služi kao garancija da će investitor finansirati prekoračenje budžeta tokom faze izgradnje MHE. Iznos gotovine se određuje za svaki projekat pojedinačno u zavisnosti od vrste MHE, planiranog budžeta i kompleksnosti projekta. Keš kolateral će biti oslobođen nakon prelaska MHE u fazu eksploatacije. Drugačiji pristup ublažavanju rizika prekoračenja budžeta je zaključenje ugovora o građenju MHE po principu "ključ u ruke" kojim se rizik prebacuje na izvođača radova. Odredba "ključ u ruke" obavezuje izvođača radova, prema Zakonu o obligacionim odnosima, da izvrši sve radove potrebne za izgradnju MHE pri čemu ugovorena cena obuhvata i vrednost svih nepredviđenih radova a isključuje uticaj manjkova radova na ugovorenu cenu (Zakon, 1978). Zakonska osnova odredbe nije dovoljna za njenu efikasnost kao instrumenta za ublažavanje rizika. Kreditor mora analizirati kreditni rizik izvođača radova kako bi se uverio u njegovu objektivnu sposobnost da izvede radove na izgradnji MHE i da podnese teret dodatnih troškova na izgradnji MHE. Analiza izvođača radova se sprovodi u skladu sa procedurama za kreditiranje korporativnih klijenata bez obzira što banka nema direktnu kreditnu izloženost. Ugovor o gradnji po principu "ključ u ruke" koji je zaključen sa nekompetentnim i/ili finansijski slabim izvođačem radova neće ublažiti rizik prekoračenja budžeta projekta. Predložene strategije za umanjeње rizika prekoračenja budžeta i u fazi izvođenja građevinskih radova (RD7). S obzirom da su RD6 i RD7 povezani sa RD19 logičkim kolom „I“ u *FT*, predlaganje posebnih korektivnih akcija za RD19 koji treba uključiti u *CIL* nije neophodno.

*RD8 - Protesti javnosti u fazi izgradnje MHE.* Kreditore moraju insistirati na jasnoj regulativi u oblasti eksploatacije OIE. Kreditore ne smeju finansirati izgradnju MHE u zaštićenim područjima već isključivo na lokacijama koje nisu u konfliktu sa propisima o zaštiti životne sredine. Kreditore moraju sprovoditi, samostalno ili angažovanjem stručnih lica, kontinuiranu kontrolu usklađenosti izgradnje i eksploatacije MHE sa zakonskim propisima. Lokalno stanovništvo mora biti blagovremeno upoznato sa planiranim projektom i edukovano o očekivanim koristima od izgradnje MHE kao i potencijalnim neželjenim

efektima. Kreditori moraju promovisati pozitivne primere projektnog finansiranja MHE koje su deo njihovog kreditnog portfolija.

*RD9 - Precenjena hidrologija.* Kreditori moraju insistirati na istorijskim hidrološkim podacima za mikro lokaciju na kojoj je planirana izgradnja MHE. U svom istraživanju, Contreras i drugi (2020) pokazuju da dugoročne vremenske prognoze daju korisne informacije za predviđanje vodnog potencijala reka u određenim područjima. Pošto se radi o specifičnoj ekspertizi koju ne poseduju zaposleni u bankama, potrebno je angažovati stručna lica za procenu vodnog potencijala i pripremu stres testova (engl. *stress tests*) prema različitim scenarijima u pogledu hidrologije.

*RD10 – Velike sezonske oscilacije u hidrologiji.* Hidroelektrana, bez obzira na veličinu, ne može da obezbedi konstantnu proizvodnju električne energije tokom ekonomskog veka trajanja. Takođe, hidroelektrana ne generiše ujednačen priliv gotovine ni tokom kraćih vremenskih intervala (npr. jedne kalendarske godine). Prva mera za ublažavanje ovog rizika je neregularan plan otplate kredita koji je usklađen sa očekivanim oscilacijama u proizvodnji električne energije. Druga mera se odnosi na formiranje keš depozita tokom povoljnih perioda kada je generisani priliv gotovine značajno veći od odliva gotovine za otplatu kredita. Keš kolateral se može koristiti u slučaju smanjenog priliva gotovine koji nije dovoljan za otplatu kredita tokom nepovoljnih meseci. Keš kolateral se mora redovno obnavljati sve dok ne dostigne inicijalno dogovoren iznos. Praćenje otplatnog kapaciteta projekta se mora vršiti kvartalno kako bi kreditor mogao adekvatno da reaguje u slučaju njegovog pogoršanja kroz ponovno pregovaranje sa dužnikom o strukturi zaštitnih klauzula i kolaterala ili smanjenju zaduženosti projekta.

*RD14 – Protesti javnosti u fazi eksploatacije MHE.* Kreditori moraju da insistiraju na procesu zelene sertifikacije za MHE nakon njihove izgradnje. Zeleni sertifikat mora biti izdat od strane nezavisnog, stručnog tela, kojim se potvrđuje da je MHE izgradnje u skladu sa zahtevanim standardima u pogled zaštite životne sredine. Sertifikati se moraju redovno obnavljati (npr. jednom godišnje) čime se obezbeđuje objektivna potvrda da MHE nema štetan uticaj na životnu sredinu tokom celog perioda eksploatacije. Pošto predloženi proces sertifikacije još uvek ne postoji u RS, kreditori moraju obezbediti podršku lokalne zajednice za realizaciju projekta pre početka aktivnosti na izgradnji. Prelaskom u fazu eksploatacije, kreditor mora pratiti usklađenost rada MHE sa propisima na prethodno predložen način za rizični događaj 15.

*RD15 – Zloupotreba vodotoka.* Kreditori se moraju opredeliti za saradnju sa kredibilnim investitorima koji poštuju zakonske propise i čija poslovna praksa ne pokazuje kršenje propisa u oblasti zaštite životne sredine. Kreditori moraju kontinuirano pratiti način eksploatacije MHE naročito tokom sušnih perioda kada je verovatnoća zloupotrebe vodotoka veća. Praćenje aktivnosti na terenu može biti povereno trećim licima koja bi svoje nalaze adekvatno dokumentovala.

*RD17 – Prirodni rizici.* Projektna dokumentacija za izgradnju MHE mora, na adekvatan način, povećati otpornost projekta na prirodne rizike i mora ublažiti očekivane posledice u slučaju nastanka prirodnih rizika kao što su poplava, klizišta i zemljotres. MHE, uključujući

cevovod i opreme mora biti osigurani protiv rizika više sile a polisa osiguranja vinkulirana u korist kreditora.

Rezultati istraživanja nedvosmisleno pokazuju da su, u periodu sprovođenja istraživanja, najznačajniji rizici povezani sa negativnim raspoloženjem javnosti prema projektima izgradnje MHE. Navedeni rezultat je jasan signal prioriternog usmeravanja korektivnih akcija u pravcu smanjenja ovih rizika. Dobijeni rezultat je konzistentan sa rezultatima Mayeda i Boyd (2020) i Venus i drugih (2020) koji potvrđuju značaj raspoloženja javnosti za dalju eksploataciju hidroenergije i potrebu donošenja i sprovođenja rigorozne regulative u oblasti izgradnje i eksploatacije MHE.

## 6. Zaključak

Na osnovu pregleda literature, korišćene metodologije i rezultata istraživanja može se zaključiti da analiza kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE predstavlja značajno i kompleksno područje istraživanja u oblasti finansiranja projekata za eksploataciju OIE. Imajući u vidu mali broj istraživanja u ovoj oblasti, cilj rada jeste da prikaže mogućnost integracije i efikasnost primene različitih tehnika za procenu rizika koje nisu, ili su neznatno, korišćene za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE. Pored identifikovanja pojedinačnih rizika, koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE, celovit pristup predmetu istraživanja podrazumeva i smanjenje epistemičke neizvesnosti u ocenama i procenama eksperata, rangiranje rizičnih događaja, rangiranje različitih kreditnih zahteva i predlog korektivnih akcija za smanjenje rizika. Dobijeni rezultati su postignuti zahvaljujući interdisciplinarnom pristupu analizi kreditnog rizika što je značajan doprinos nauci i praksi.

### 6.1. Razmatranje hipoteza

Na osnovu pregleda literature, korišćene metodologije i dobijenih kvalitativnih i kvantitativnih rezultata istraživanja, može se zaključiti da su prethodno definisani ciljevi doktorske disertacije ostvareni:

1. Razvijena je metodologija za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE u uslovima epistemičke neizvesnosti koja je zasnovana na kombinaciji matrice rizika, *FMEA*, *DST* i *FTA*.
2. Primena razvijene metodologije unapređuje analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE jer omogućava identifikovanje rizičnih događaja, rangiranje rizičnih događaja i pojedinačnih projekata kao i prioritizaciju korektivnih akcija za ublažavanje kreditnog rizika.
3. Predložena metodologija uvažava karakteristike kreditnog procesa i prilagođena je zahtevima koji se postavljaju pred menadžera za analizu i procenu kreditnog rizika.

Hipoteze iz doktorske disertacije su testirane na osnovu pregleda relevantne literature, sprovedenog istraživanja i rezultata dobijenih primenom korišćene metodologije. Disertacija sadrži kvalitativne i kvantitativne podatke koji su korišćeni u istraživanju a naučno zasnovana metodologija je detaljno objašnjena sa ciljem jednostavnijeg replikovanja korišćenog pristupa u budućim istraživanjima.

*H1: Analiza načina i efekata otkaza se može primeniti kao polazište za identifikovanje rizičnih događaja koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika dužnika po kreditu za projektno finansiranje OIE.*

Tvrdnja data hipotezom 1 je delimično dokazana. Identifikovanje rizičnih događaja i ocena faktora rizika su kritična faza analize kreditnog rizika od koje zavisi kvalitet kvantitativnih rezultata korišćene metodologije. Naime, u osnovi *FMEA* se nalazi brainstorming tehnika za identifikovanje pojedinačnih rizika koju sprovode članovi *FMEA* tima. Poređenjem rezultata istraživanja koja se zasnivaju na primeni *FMEA* (Spasenic i drugi, 2022b) i primeni *FTA* (Spasenic i drugi, 2022a) zaključuje se da kvalitativna *FTA* nudi prednost u fazi analize pojedinačnih rizika kroz sistematičniji proces njihove identifikacije čime se smanjuje

mogućnost izostavljanja rizika izvan obuhvata kreditne analize. *FMEA* se može efikasno koristiti za identifikovanje pojedinačnih rizika uz visok stepen pažnje i opreznosti članova *FMEA* tima u ovom procesu.

*H2: Analiza stabla neispravnosti se može koristiti za uspostavljanje veza i odnosa između rizičnih događaja koji su identifikovani primenom analize načina i efekata otkaza.*

Matrica rizika i *FMEA* analiziraju svaki rizik pojedinačno nezavisno od veza i odnosa koji između njih postoje. Sa ciljem ispitivanja interakcije između rizičnih događaja konstruisano je stablo neispravnosti koje prikazuje difolt dužnika kao skup pojedinačnih rizika povezanih logičkim kolima. Za konstruisanje stabla neispravnosti korišćena je kvalitativna *FTA* a celo stablo neispravnosti prikazano je na slici 31. Stablo neispravnosti dobijeno primenom kvalitativne *FTA* je detaljno analizirano u tački 5.5 koja dokazuje drugu hipotezu.

*H3: Dempster-Shafer teorija doprinosi smanjenju neizvesnosti u proceni verovatnoća pojedinačnih rizičnih događaja koji se nalaze u osnovi kreditnog rizika.*

Dodata vrednost *DST* u predloženom metodološkom pristupu proizilazi iz njene prilagođenosti procesu donošenja odluka na osnovu procena eksperata u uslovima epistemičke neizvesnosti. Objektivniji kvantitativni inputi za analizu kreditnog rizika dobijaju se: (i) izjašnjavanjem eksperata o rasponu ocena za faktore rizika uz određeni stepen verovanja umesto eksplicitnog dodeljivanja jedinstvenih ocena, (ii) korišćenjem odgovarajućeg testa odstupanja odgovora eksperata eliminišu se odgovori koji mogu biti rezultat preterane sklonosti ili averzije prema određenom riziku i (iii) korišćenjem pravila kombinovanja koje uzima u obzir mišljenja većeg broja eksperata. Superiornost *FMEA-DST* u odnosu na tradicionalnu *FMEA* dokazana je u tački 5.4.

*H4: Kvantitativni rezultati razvijene metodologije omogućavaju rangiranje rizičnih događaja i predstavljaju osnovu za prioritizaciju, definisanje i usmeravanje korektivnih akcija za smanjenje verovatnoće nastanka i ublažavanje očekivanih posledica rizičnih događaja.*

Kvalitativni rezultati korišćene metodologije su *RPN*, mini preseci, mere značajnosti i verovatnoća vršnog događaja. Rangiranje pojedinačnih rizičnih događaja na osnovu rezultata matrice rizika, *FMEA* i *FTA* nije isto. Različiti rangovi su posledica različitih kvantitativnih inputa koji se koriste za njihovo određivanje. Matrica rizika omogućava brzu i jednostavnu analizu rizičnih događaja zbog čega je pogodna za početno i grubo razdvajanje rizika prema njihovoj verovatnoći i očekivanim posledicama. Matrica rizika rangira rizične događaje na osnovu njihove verovatnoće i težine očekivanih posledica, *FMEA* na osnovu verovatnoće, težine očekivanih posledica i mogućnosti detekcije rizika tokom kreditne analize dok su rangovi izvedeni iz kvantitativne *FTA* zasnovani na verovatnoći rizičnih događaja i međuzavisnosti koja između njih postoji. Šta više, na osnovu pojedinih mera značajnosti nije moguće odrediti jedinstveno rangiranje rizika zbog čega se rezultati kvantitativne *FTA* moraju kombinovati sa rezultatima drugih metoda (npr. matrice rizika). Najdetaljnije rangiranje obezbeđuje *FMEA* jer se *RPN* izračunava na osnovu sva tri faktora rizika odnosno *O*, *S* i *D*. Međutim, rangovi rizičnih događaja izvedeni iz *FMEA* ne moraju nužno da korespondiraju sa prioritetom korektivnih akcija koje bi trebalo preduzeti. Mini preseci nedvosmisleno pokazuju da nije neophodno, niti optimalno, ublažavanje

svakog rizika pojedinačno. Ako veći broj mini preseka sadrži isti rizični događaj potrebno je prvo razmotriti njegovu mitigaciju. Ovakav zaključak se ne može izvesti direktno iz matrice rizika i *FMEA*.

*H5: Kvantitativni rezultati razvijene metodologije omogućavaju rangiranje dužnika na osnovu njihovog kreditnog rizika.*

Rangiranje različitih dužnika na osnovu rezultata matrice rizika i *FMEA* nije moguće jer se ove tehnike bave izolovanom analizom pojedinačnih rizika što onemogućava direktno poređenje različitih kreditnih zahteva. Kvantitativna *FTA* obezbeđuje jedinstvenu meru kreditnog rizika projektnog finansiranja MHE što omogućava direktno poređenje različitih dužnika. Izračunavanjem verovatnoće vršnog događaja,  $P(T)$ , dobija se sumarni pokazatelj kreditnog rizika koji se može koristiti kao kvantitativni rezultat za scoring model. Hipoteza je dokazana u tački 5.6 disertacije.

Na osnovu razmatranja posebnih hipoteza koje potvrđuju efikasnost korišćene metodologije za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE na primeru projektnog finansiranja MHE, može se zaključiti da je potvrđena opšta hipoteza čime su ispunjeni postavljeni ciljevi doktorske disertacije:

*HO: Moguće je razviti metodologiju za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE koja uzima u obzir epistemičku neizvesnost datih procena i ocena od strane eksperata.*

## **6.2. Naučni i stručni doprinosi doktorske disertacije**

Najznačajniji opšti doprinos doktorske disertacije je metodologija za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE zasnovana na matrici rizika, *FMEA*, *DST* i *FTA*. Kao specifični naučni doprinosi doktorske disertacije mogu se izdvojiti:

1. Pregled naučnog saznanja u oblasti projektnog finansiranja OIE;
2. Sistematizacija, proširivanje i produblivanje naučnog znanja u oblasti analize kreditnog rizika u projektnom finansiranju OIE;
3. Usmeravanje daljeg naučnog istraživanja i pružanje integralne predstave o ovoj oblasti;
4. Prikaz mogućnosti primene, uz odgovarajuće adaptacije, metoda koje se ne koriste primarno u oblasti finansija za analizu kreditnog rizika u projektnom finansiranju na primeru projektnog finansiranja MHE;
5. Kombinovanje, prilagođavanje i unapređenje korišćenih metoda u cilju njihove primene za potrebe analize kreditnog rizika projektnog finansiranja na primeru MHE;
6. Razvoj nove metodologije za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja OIE;
7. Primena, na osnovu stečenih saznanja, razvijene metodologije za analizu i upravljanje kreditnim rizikom na primeru opšte studije slučaja projektnog finansiranja MHE.

Stručni doprinosi doktorske disertacije su:



1. kritički osvrt na postojeću praksu analize kreditnog rizika;
2. mogućnost primene predložene metodologije i rezultata istraživanja na unapređenje procesa kreditne analize u bankama i na poboljšanje kvaliteta odluka o kreditnim zahtevima klijenata;
3. fokusiranje donosilaca odluka na najvažnije rizične događaje kroz objektivniju prioritizaciju korektivnih akcija;
4. unapređenje procesa komunikacije banke i potencijalnog dužnika i posledično skraćivanje trajanja procesa kreditne analize i objektivnije donošenje konačne odluke po kreditnom zahtevu;
5. rangiranje različitih kreditnih zahteva na osnovu kreditnog rizika dužnika.

Društveni doprinosi doktorske disertacije su:

1. društveni doprinosi doktorske disertacije zasnivaju se na značaju finansiranja projekata za eksploataciju OIE u cilju postizanja energetske nezavisnosti i energetske održivosti Republike Srbije. Razvojem metodologije za analizu i upravljanje kreditnim rizikom u projektnom finansiranju na primeru OIE stvara se osnova za uključivanje većeg broja kreditora u finansiranje ove vrste projekata. Posledično, investitorima se olakšava pristup potrebnim finansijskim sredstvima što može imati za rezultat veći broj projekata i veću proizvodnju energije iz OI. Na kraju, rezultati primene novog modela mogu se koristiti prilikom definisanja planova i strategija na nivou Republike Srbije u cilju smanjenja specifičnih rizika koji proizilaze iz opštih uslova privređivanja i zakonskih propisa koji su u nadležnosti države.

Na osnovu svega prethodno izloženog, kao i eksterne validacije metodologije i dobijenih rezultata istraživanja u međunarodnim časopisima sa impakt faktorom (Spasenic i drugi, 2022a; Spasenic i drugi, 2022b; Spasenic i drugi, 2022c) može se zaključiti da disertacija predstavlja originalni naučni doprinos u odnosu na postojeća naučna saznanja.

### **6.3. Ograničenja i buduća istraživanja**

Pored naučnih i stručnih doprinosa, disertacija ima i određena ograničenja koja je potrebno prevazići u budućim istraživanjima:

1. Istraživanje je fokusirano na bankarsko tržište RS koje je relativno mlado i malo;
2. Istraživanje je sprovedeno na primeru opšte studije slučaja projektnog finansiranja MHE što je samo jedan oblik investiranja u oblasti eksploatacije OIE;
3. Predloženo pravilo kombinovanja je rigidno i potpuno eliminiše odgovore pojedinih eksperata;
4. Faktori rizika (O, S i D) imaju jednake težine za izračunavanje RPN;
5. Metodologija ne nudi mogućnost ocene efikasnosti predloženih korektivnih akcija, osim ponovljenom primenom metodologije nakon preduzetih akcija;
6. Istraživanje je sprovedeno pre početka ratnog sukoba Rusije i Ukrajine što može uticati na potpunost analiziranih rizika i njihove rangove odnosno rezultate dobijene istraživanjem.

Buduća istraživanja u oblasti finansiranja OIE se mogu usmeriti u više pravaca, uključujući nova istraživanja koja bi prevazišla prethodno navedene nedostatke:

1. Proširenje geografskog obuhvata istraživanja čime bi se mogla uporediti praksa analize kreditnog rizika projektnog finansiranja između različitih zemalja;
2. Primena predložene metodologije na projektno finansiranje ostalih oblika OIE;
3. Unapređenje metodologije kroz korišćenje različitih pravila kombinovanja koja nude veći stepen fleksibilnosti za uključivanje svih odgovora eksperata;
4. Unapređenje objektivnosti rangiranja rizika kroz ponderisanje faktora rizika  $O$ ,  $S$  i  $D$ ;
5. Nadogradnju metodologije u pravcu merenja efikasnosti predloženih korektivnih akcija.

## 7. Literatura

1. Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2134–2143. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.050>
2. AERS. (2021). Izveštaj o radu Agencije za energetiku za 2021. godinu. Agencija za energetiku Republike Srbije. Dostupno na: <https://www.aers.rs/Index.asp?l=1&a=53> (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
3. AG. (2022). Register of the status of ratification of the Montreal Protocol and its Amendments. Australian Government, Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water. Dostupno na: <https://www.dceew.gov.au/environment/protection/ozone/montreal-protocol/register-montreal-protocol-countries> (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
4. Aggidis, G. A., Luchinskaya, E., Rothschild, R., & Howard, D. C. (2010). The costs of small-scale hydro power production: Impact on the development of existing potential. *Renewable Energy*, 35(12), 2632–2638. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.008>
5. Akçay, E. C. (2021). Prioritization of risk events in PPP wind power projects using integrated FMEA and Monte Carlo simulation. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 4(2), 80–91. <https://doi.org/10.31462/jcemi.2021.02080091>
6. Anagnostopoulos, J. S., & Papantonis, D. E. (2007). Optimal sizing of a run-of-river small hydropower plant. *Energy Conversion and Management*, 48(10), 2663–2670. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.04.016>
7. Andreo-Martínez, P., Ortiz-Martínez, V. M., García-Martínez, N., de los Ríos, A. P., Hernández-Fernández, F. J., & Quesada-Medina, J. (2020). Production of biodiesel under supercritical conditions: State of the art and bibliometric analysis. *Applied Energy*, 264, 114753. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114753>
8. Arriola, E. R., Ubando, A. T., & Chen, W. (2020). A bibliometric review on the application of fuzzy optimization to sustainable energy technologies. *International Journal of Energy Research*, 46(1), 6–27. Portico. <https://doi.org/10.1002/er.5729>
9. Asadujjaman, Md., & Zaman, K. (2018). Robustness-based portfolio optimization under epistemic uncertainty. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(2), 207–219. <https://doi.org/10.1007/s40092-018-0292-4>
10. Augutis, J., Volskiene, J. S., Uspuras, E., & Kriauciuniene, J. (2004). Risk analysis of the Kaunas hydropower system. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 77. Dostupno na: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/RISK04/RISK04050FU.pdf>
11. Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
12. Aven, T., & Nøklund, T. E. (2010). On the use of uncertainty importance measures in reliability and risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(2), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2009.09.002>
13. Ayyub, B. M. (2003). *Risk Analysis in Engineering and Economics*, Chapman and Hall/CRC. <http://dx.doi.org/10.1201/9780203497692>.
14. Baker, A. A. A. (2016). Optimal Location of Small Hydro Power Plants (SHPPS) at Distribution System by Using Voltage Sensitivity Index. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 5(2), 13. <https://doi.org/10.11648/j.ijepe.s.2016050201.13>
15. Baker, L. (2015). The evolving role of finance in South Africa's renewable energy sector. *Geoforum*, 64, 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.06.017>

16. Barroco, J., & Herrera, M. (2019). Clearing barriers to project finance for renewable energy in developing countries: A Philippines case study. *Energy Policy*, 135, 111008. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111008>
17. Benejam, L., Saura-Mas, S., Bardina, M., Solà, C., Munné, A., & García-Berthou, E. (2014). Ecological impacts of small hydropower plants on headwater stream fish: from individual to community effects. *Ecology of Freshwater Fish*, 25(2), 295–306. Portico. <https://doi.org/10.1111/eff.12210>
18. Berga, L. (2016). The Role of Hydropower in Climate Change Mitigation and Adaptation: A Review. *Engineering*, 2(3), 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2016.03.004>
19. Beynon, M. J. (2005). A novel technique of object ranking and classification under ignorance: An application to the corporate failure risk problem. *European Journal of Operational Research*, 167(2), 493–517. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.03.016>
20. Birkle, C., Pendlebury, D. A., Schnell, J., & Adams, J. (2020). Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 363–376. [https://doi.org/10.1162/qss\\_a\\_00018](https://doi.org/10.1162/qss_a_00018)
21. Birnbaum, Z. W. (1968). On the importance of different components in a multicomponent system. <https://doi.org/10.21236/ad0670563>
22. BIS. (2001). Customer due diligence for banks. Bank for International Settlements. Dostupno na: <https://www.bis.org/publ/bcbs77.pdf> (Datum poslednjeg pristupa: 31.05.2022)
23. BIS. (2017). Basel III: Finalising post-crisis reforms. Bank for International Settlements: Dostupno na: <https://www.bis.org/bcbs/publ/d424.htm> (Datum poslednjeg pristupa: 31.05.2022)
24. BIS. (2018). Srp30: Risk management. Bank for International Settlements. Dostupno na: [https://www.bis.org/basel\\_framework/chapter/SRP/30.htm](https://www.bis.org/basel_framework/chapter/SRP/30.htm) (Datum poslednjeg pristupa: 31.05.2022)
25. BIS. (2019). IRB approach: supervisory slotting approach for specialised lending. Bank for International Settlements. Dostupno na: [https://www.bis.org/basel\\_framework/chapter/CRE/33.htm?tldate=20220101&inforce=20191215&published=20191215](https://www.bis.org/basel_framework/chapter/CRE/33.htm?tldate=20220101&inforce=20191215&published=20191215) (Datum poslednjeg pristupa: 31.05.2022)
26. Bøckman, T., Fleten, S.-E., Juliussen, E., Langhammer, H. J., & Revdal, I. (2008). Investment timing and optimal capacity choice for small hydropower projects. *European Journal of Operational Research*, 190(1), 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.05.044>
27. Bonacci, O., & Roje-Bonacci, T. (2002). The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the karstic river Cetina. *Hydrological Processes*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/10.1002/hyp.1190>
28. Bortoluzzi, M., Correia de Souza, C., & Furlan, M. (2021). Bibliometric analysis of renewable energy types using key performance indicators and multicriteria decision models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110958. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110958>
29. Brodny, J., Tutak, M., & Bindzár, P. (2021). Assessing the Level of Renewable Energy Development in the European Union Member States. A 10-Year Perspective. *Energies*, 14(13), 3765. <https://doi.org/10.3390/en14133765>
30. Cabeza, L. F., Palacios, A., Serrano, S., Ürge-Vorsatz, D., & Barreneche, C. (2018). Comparison of past projections of global and regional primary and final energy consumption with historical data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 681–688. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.073>
31. Carlson, C. (2012). *Effective FMEAs: Achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis (Vol. 1)*. John Wiley & Sons. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118312575>
32. Certa, A., Hopps, F., Inghilleri, R., & La Fata, C. M. (2017). A Dempster-Shafer Theory-based approach to the Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) under epistemic uncertainty:

- application to the propulsion system of a fishing vessel. *Reliability Engineering & System Safety*, 159, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.10.018>
33. CFA. (2016). *Equity*. CFA Institute. ISBN 978-1-942471-06-6
  34. Chen, H., Ding, T., & Xu, X. (2021). *International Debates and Reflections on the Successful Case of Montreal Protocol*. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.211020.287>
  35. Chen, L., & Deng, Y. (2018). A new failure mode and effects analysis model using Dempster–Shafer evidence theory and grey relational projection method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 76, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.08.010>
  36. Chen, N., Ribeiro, B., & Chen, A. (2015). Financial credit risk assessment: a recent review. *Artificial Intelligence Review*, 45(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s10462-015-9434-x>
  37. Chin, K.-S., Wang, Y.-M., Ka Kwai Poon, G., & Yang, J.-B. (2009). Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. *Computers & Operations Research*, 36(6), 1768–1779. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2008.05.002>
  38. Collet, J. (1996). Some remarks on rare-event approximation. *IEEE Transactions on Reliability*, 45(1), 106–108. <https://doi.org/10.1109/24.488924>
  39. Contreras, E., Herrero, J., Crochemore, L., Aguilar, C., & Polo, M. J. (2020). Seasonal Climate Forecast Skill Assessment for the Management of Water Resources in a Run of River Hydropower System in the Poqueira River (Southern Spain). *Water*, 12(8), 2119. <https://doi.org/10.3390/w12082119>
  40. Costea, G., Pusch, M. T., Bănăduc, D., Cosmoiu, D., & Curtean-Bănăduc, A. (2021). A review of hydropower plants in Romania: Distribution, current knowledge, and their effects on fish in headwater streams. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111003. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111003>
  41. Dempster, A. P. (1967). Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping. *The Annals of Mathematical Statistics*, 38(2), 325–339. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177698950>
  42. Dervi, U. D., Khan, A., Saba, I., Hassan, M. K., & Paltrinieri, A. (2022). Green and socially responsible finance: past, present and future. *Managerial Finance*, 48(8), 1250–1278. <https://doi.org/10.1108/mf-11-2021-0561>
  43. DIRECTIVE 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028> (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
  44. Dogmus, Ö. C., & Nielsen, J. Ø. (2020). The on-paper hydropower boom: A case study of corruption in the hydropower sector in Bosnia and Herzegovina. *Ecological Economics*, 172, 106630. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106630>
  45. Donastorg, A., Renukappa, S., & Suresh, S. (2017). Financing Renewable Energy Projects in Developing Countries: A Critical Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 83, 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/83/1/012012>
  46. Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
  47. EEA. (2019). *Adaptation challenges and opportunities for the European energy system: Building a climate-resilient low-carbon energy system*. European Environment Agency. Dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-in-energy-system> (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
  48. Egli, F. (2020). Renewable energy investment risk: An investigation of changes over time and the underlying drivers. *Energy Policy*, 140, 111428. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111428>

49. Elie, L., Granier, C., & Rigot, S. (2021). The different types of renewable energy finance: A Bibliometric analysis. *Energy Economics*, 93, 104997. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104997>
50. Emovon, I. (2016). Failure mode and effects analysis of ship systems using an integrated dempster shafer theory and electre method. *Journal of Advanced Manufacturing Technology (JAMT)*, 10(1), 45–60. Dostupno na: <https://jamt.utem.edu.my/jamt/article/view/651>
51. EPS. (2022). Izveštaji o prikupljenim i isplaćenim novčanim sredstvima za podsticaj povlašćenih proizvođača električne energije za 2013 – 2021. godinu. JP Elektroprivreda Srbije. Dostupno na: <https://www.eps.rs/lat/snabdevanje/Stranice/izvestaji-oie.aspx> (Datum poslednjeg pristupa: 30.06.2022)
52. Ericson, C. A. (2015). *Hazard analysis techniques for system safety*. John Wiley & Sons.
53. Eurostat. (2022). Share of renewable energy in gross final energy consumption. Dostupno na: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020\\_rd330/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd330/default/table?lang=en) (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
54. Farman, J. C., Gardiner, B. G., & Shanklin, J. D. (1985). Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction. *Nature*, 315(6016), 207–210. <https://doi.org/10.1038/315207a0>
55. Frisari, G., & Stadelmann, M. (2015). De-risking concentrated solar power in emerging markets: The role of policies and international finance institutions. *Energy Policy*, 82, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.02.011>
56. FS-UNEP. (2020). *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*. Frankfurt School FS-UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance. Dostupno na: <https://www.fs-unep-centre.org/global-trends-in-renewable-energy-investment-2020/> (Datum poslednjeg pristupa: 31.05.2022)
57. Gabriel-Martin, I., Sordo-Ward, A., Garrote, L., & Castillo, L. G. (2017). Influence of initial reservoir level and gate failure in dam safety analysis. Stochastic approach. *Journal of Hydrology*, 550, 669–684. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.032>
58. Garcia-Ortiz, A., & Cundiff, P. A. (1988). Applying evidential reasoning to avionics troubleshooting. *Proceedings of the First International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems - IEA/AIE '88*. <https://doi.org/10.1145/55674.55710>
59. Gatti, S. (2013). *Project Finance in Theory and Practice: Designing, Structuring, and Financing Private and Public Projects*. Academic Press.
60. Gatzert, N., & Kosub, T. (2016). Risks and risk management of renewable energy projects: The case of onshore and offshore wind parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 982–998. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.103>
61. Ghumman, A. R., Haider, H., Yousuf, I., & Shafiquzamman, Md. (2020). Sustainable Development of Small-Sized Hydropower Plants: Multilevel Decision-Making from Site Selection to Optimal Design. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(5), 4141–4159. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04407-8>
62. Curcurù, G., Galante, G., La Fata, C. (2016). A Dempster-Shafer Theory-Based Approach to Compute the Birnbaum Importance Measure under Epistemic Uncertainty. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(21), 10574-10585.
63. Hall, S., Foxon, T. J., & Bolton, R. (2015). Investing in low-carbon transitions: energy finance as an adaptive market. *Climate Policy*, 17(3), 280–298. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1094731>
64. Harlan, T., Xu, R., & He, J. (2020). Is small hydropower beautiful? Social impacts of river fragmentation in China's Red River Basin. *Ambio*, 50(2), 436–447. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01367-z>
65. Hartford, D. N., & Baecher, G. B. (2004). *Risk and uncertainty in dam safety*. Thomas Telford.

66. Hatefi, S. M., Basiri, M. E., & Tamošaitienė, J. (2019). An Evidential Model for Environmental Risk Assessment in Projects Using Dempster–Shafer Theory of Evidence. *Sustainability*, 11(22), 6329. <https://doi.org/10.3390/su11226329>
67. Hosseini, S. M. H., Forouzbakhsh, F., & Rahimpour, M. (2005). Determination of the optimal installation capacity of small hydro-power plants through the use of technical, economic and reliability indices. *Energy Policy*, 33(15), 1948–1956. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.03.007>
68. Høyland, A., & Rausand, M. (2009). *System reliability theory: models and statistical methods*. John Wiley & Sons.
69. Hu, Y., Gou, L., Deng, X., & Jiang, W. (2020). Failure mode and effect analysis using multi-linguistic terms and Dempster–Shafer evidence theory. *Quality and Reliability Engineering International*, 37(3), 920–934. Portico. <https://doi.org/10.1002/qre.2773>
70. Huang, J., You, J.-X., Liu, H.-C., & Song, M.-S. (2020). Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda. *Reliability Engineering & System Safety*, 199, 106885. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106885>
71. Huđek, H., Žganec, K., & Pusch, M. T. (2020). A review of hydropower dams in Southeast Europe – distribution, trends and availability of monitoring data using the example of a multinational Danube catchment subarea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109434. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109434>
72. Hüllermeier, E., & Waegeman, W. (2021). Aleatoric and epistemic uncertainty in machine learning: an introduction to concepts and methods. *Machine Learning*, 110(3), 457–506. <https://doi.org/10.1007/s10994-021-05946-3>
73. Ibrahim, M., Imam, Y., & Ghanem, A. (2019). Optimal planning and design of run-of-river hydroelectric power projects. *Renewable Energy*, 141, 858–873. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.009>
74. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers*. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Dostupno na: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
75. IRENA. (2018). *Renewable Power Generation Costs in 2018*. International Renewable Agency, Abu Dhabi. Dostupno na: <https://www.irena.org/publications> (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
76. IRENA. (2020). *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*. International Renewable Agency, Abu Dhabi. Dostupno na: <https://www.irena.org/publications> (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
77. IRENA. (2021). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. International Renewable Agency, Abu Dhabi. Dostupno na: <https://www.irena.org/publications> (Datum poslednjeg pristupa: 30.04.2022)
78. Jacobsson, R., & Jacobsson, S. (2012). The emerging funding gap for the European Energy Sector— Will the financial sector deliver? *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 5, 49–59. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2012.10.002>
79. Jensen, M. C. (1996). Agency costs of free cash flow, corporate finance, and takeovers. *Corporate Bankruptcy*, 11–16. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511609435.005>
80. Jiang, W., Xie, C., Zhuang, M., & Tang, Y. (2017). Failure mode and effects analysis based on a novel fuzzy evidential method. *Applied Soft Computing*, 57, 672–683. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.04.008>
81. Kahn, E. (1996). The production tax credit for wind turbine powerplants is an ineffective incentive. *Energy Policy*, 24(5), 427–435. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00014-6](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00014-6)
82. Kang, J., Sun, L., & Guedes Soares, C. (2019). Fault Tree Analysis of floating offshore wind turbines. *Renewable Energy*, 133, 1455–1467. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.097>

83. Khanuja, H. K., & Adane, D. (2019). Detection of Suspicious Transactions with Database Forensics and Theory of Evidence. *Security in Computing and Communications*, 419–430. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-5826-5\\_32](https://doi.org/10.1007/978-981-13-5826-5_32)
84. Kann, S. (2009). Overcoming barriers to wind project finance in Australia. *Energy Policy*, 37(8), 3139–3148. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.04.006>
85. Kar, S. K., Harichandan, S., & Roy, B. (2022). Bibliometric analysis of the research on hydrogen economy: An analysis of current findings and roadmap ahead. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(20), 10803–10824. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.137>
86. Karltorp, K. (2016). Challenges in mobilising financial resources for renewable energy—The cases of biomass gasification and offshore wind power. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 19, 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.10.002>
87. Knez, S., Štrbac, S., & Podbregar, I. (2022). Climate change in the Western Balkans and EU Green Deal: status, mitigation and challenges. *Energy, Sustainability and Society*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00328-y>
88. Krehbiel, T. C., Eighme, J. E., & Cottell, P. G. (2009). Morgan Systems, Inc.: Application of Six Sigma to the finance function. *Journal of Accounting Education*, 27(2), 104–123. <https://doi.org/10.1016/j.jaccedu.2009.11.002>
89. Kucukali, S. (2011). Risk assessment of river-type hydropower plants using fuzzy logic approach. *Energy Policy*, 39(10), 6683–6688. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.067>
90. Kulkarni, N. S., & Johnson, A. R. (2012). Dempster-Shafer theory approach to fmea. In *IIE Annual Conference. Proceedings* (p. 1). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).
91. Kuriqi, A., Pinheiro, A. N., Sordo-Ward, A., Bejarano, M. D., & Garrote, L. (2021). Ecological impacts of run-of-river hydropower plants—Current status and future prospects on the brink of energy transition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110833>
92. Li, Z., & Chen, L. (2019). A novel evidential FMEA method by integrating fuzzy belief structure and grey relational projection method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 77, 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.10.005>
93. Li, H., & Qian, C. (2015) Research on the Risk of TOT Hydropower Project Based on Fuzzy Fault Tree. In: *Proceedings of The International Conference on Organizational Strategy, Business Models, and Risk Management*, Dubai, UAE (pp. 40-48)
94. Lin, L., & Huang, N. (2009). Credit Risk Assessment Using BP Neural Network with Dempster-Shafer Theory. *2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*. <https://doi.org/10.1109/aici.2009.193>
95. Lisnianski, A., & Levitin, G. (2003). *Multi-state system reliability: Assessment, optimization and applications*. World scientific. <https://doi.org/10.1142/5221>
96. Liu, H.-C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828–838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
97. Liu, X., Hu, Y., & Xiao, Y. (2017). Risk management for rural energy industry of Sichuan Province in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1029–1044. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.084>
98. Lüdeke-Freund, F., & Loock, M. (2011). Debt for brands: tracking down a bias in financing photovoltaic projects in Germany. *Journal of Cleaner Production*, 19(12), 1356–1364. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.006>
99. Lyu, X., & Shi, A. (2018). Research on the Renewable Energy Industry Financing Efficiency Assessment and Mode Selection. *Sustainability*, 10(1), 222. <https://doi.org/10.3390/su10010222>



100. Mäder, J. A., Staehelin, J., Peter, T., Brunner, D., Rieder, H. E., & Stahel, W. A. (2010). Evidence for the effectiveness of the Montreal Protocol to protect the ozone layer. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(24), 12161–12171. <https://doi.org/10.5194/acp-10-12161-2010>
101. Makajić-Nikolić, D. (2012). Novi pristup analizi pouzdanosti sistema primenom inverznih Petrijevih mreža, Nepublikovana doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu
102. Makajić-Nikolić, D. (2019). Risk Assessment and Management. *Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, 774–783. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95885-9\\_75](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95885-9_75)
103. Makajić-Nikolić, D., Jednak, S., Benković, S., & Poznanić, V. (2011). Project finance risk evaluation of the Electric power industry of Serbia. *Energy Policy*, 39(10), 6168–6177. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.017>
104. Manzano-Agugliaro, F., Taher, M., Zapata-Sierra, A., Juaidi, A., & Montoya, F. G. (2017). An overview of research and energy evolution for small hydropower in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 476–489. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.013>
105. Mayeda, A. M., & Boyd, A. D. (2020). Factors influencing public perceptions of hydropower projects: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109713. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109713>
106. McCollum, D. L., Zhou, W., Bertram, C., de Boer, H.-S., Bosetti, V., Busch, S., Després, J., Drouet, L., Emmerling, J., Fay, M., Fricko, O., Fujimori, S., Gidden, M., Harmsen, M., Huppmann, D., Iyer, G., Krey, V., Kriegler, E., Nicolas, C., ... Riahi, K. (2018). Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Energy*, 3(7), 589–599. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0179-z>
107. Ministarstvo rudarstva i energetike. (2015). Vodič za investitore za projekte u oblasti obnovljivih izvora energije. Dostupno na: <https://www.energetskiportal.rs/wp-content/uploads/2015/04/Vodic-za-OIE-2016-A4.pdf> (datum poslednjeg pristupa: 31.01.2022)
108. Ministarstvo rudarstva i energetike. (2022). Registar povlašćenih proizvođača električne energije, privremenih povlašćenih proizvođača električne energije i proizvođača iz obnovljivih izvora energije. Dostupno na: <https://www.mre.gov.rs/registri> (datum poslednjeg pristupa: 31.05.2022)
109. Mitra Thakur, G. S., Bhattacharyya, R., & Sarkar (Mondal), S. (2018). Stock portfolio selection using Dempster–Shafer evidence theory. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 30(2), 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.07.001>
110. IASB. (2001). Međunarodni računovodstveni standard 7: Izveštaj o tokovima gotovine. International Accounting Standard Board. Dostupno na: <https://www.mfin.gov.rs/sr/dokumenti2-1/medjunarodni-racunovodstveni-standardi-i-medjunarodni-standardi-revizije-1> (Datum poslednjeg pristupa: 31.5.2022)
111. NBS. (2011a). Odluka o klasifikaciji bilansne aktive i vanbilansnih stavki banke. Narodna Banka Srbije. Dostupno na: <https://nbs.rs/sr/drugi-nivo-navigacije/propisi/propisi-kpb/> (datum poslednjeg pristupa: 30.06.2022)
112. NBS. (2011b). Odluka o upravljanju rizicima banke. Narodna Banka Srbije. Dostupno na: <https://nbs.rs/sr/drugi-nivo-navigacije/propisi/propisi-kpb/> (datum poslednjeg pristupa: 30.06.2022)
113. NBS. (2016). Odluka o adekvatnosti kapitala banke. Dostupno na: <https://nbs.rs/sr/drugi-nivo-navigacije/propisi/propisi-kpb/> (datum poslednjeg pristupa: 30.06.2022)
114. NBS. (2022). Spisak banaka. Narodna banka Srbije. Dostupno na: <https://nbs.rs/sr/finansijske-institucije/banke/spisak-banaka/> (datum poslednjeg pristupa: 30.06.2022)
115. Neale, R. E., Barnes, P. W., Robson, T. M., Neale, P. J., Williamson, C. E., Zepp, R. G., Wilson, S. R., Madronich, S., Andrady, A. L., Heikkilä, A. M., Bernhard, G. H., Bais, A. F., Aucamp, P. J., Banaszak, A. T., Bornman, J. F., Bruckman, L. S., Byrne, S. N., Foereid, B., Häder, D.-P., ... Zhu, M. (2021). Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate

- change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. Photochemical & Photobiological Sciences, 20(1), 1–67. <https://doi.org/10.1007/s43630-020-00001-x>
116. Ni, H., Chen, A., & Chen, N. (2010). Some extensions on risk matrix approach. *Safety Science*, 48(10), 1269–1278. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.04.005>
  117. Nikolić, N. (2014). Kvantifikovanje verovatnoće difolta preduzeća u Srbiji i razvoj internog kreditnog rejtinga za potebe banke. Nepublikovana doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu
  118. Okot, D. K. (2013). Review of small hydropower technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 515–520. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.006>
  119. Okoye, C. O., & Oranekwu-Okoye, B. C. (2018). Economic feasibility of solar PV system for rural electrification in Sub-Sahara Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2537–2547. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.054>
  120. Ostrom, L. T., & Wilhelmsen, C. A. (2019). Risk assessment: Tools, techniques, and their applications. John Wiley & Sons.
  121. Pavlaković, B., Okanovic, A., Vasić, B., Jesic, J., & Šprajc, P. (2022). Small hydropower plants in Western Balkan countries: status, controversies and a proposed model for decision making. *Energy, Sustainability and Society*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13705-022-00335-7>
  122. Polzin, F., Sanders, M., & Serebriakova, A. (2021). Finance in global transition scenarios: Mapping investments by technology into finance needs by source. *Energy Economics*, 99, 105281. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105281>
  123. Popović, M., & Rajić, J. (2019). What can you do in Serbia when you build a small hydropower plant? Dostupno na: <https://crt.rs/wp-content/uploads/2019/07/What-can-you-do-in-Serbia-when-you-build-a-small-hydropower-plant.pdf>
  124. Pryor, S. C., Shepherd, T. J., & Barthelmie, R. J. (2018). Interannual variability of wind climates and wind turbine annual energy production. *Wind Energy Science*, 3(2), 651–665. <https://doi.org/10.5194/wes-3-651-2018>
  125. Radivojević, D. (2020). The oil industry and climate changes. *Tehnika*, 75(1), 31–37. <https://doi.org/10.5937/tehnika2001031r>
  126. REN21. (2021). Renewables 2021 Global Status Report. REN21 Secretariat, Paris, France. Dostupno na: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/> (Datum poslednjeg pristupa: 30.04.2022)
  127. Rojanamon, P., Chaisomphob, T., & Bureekul, T. (2009). Application of geographical information system to site selection of small run-of-river hydropower project by considering engineering/economic/environmental criteria and social impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2336–2348. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.003>
  128. Qadir, S. A., Al-Motairi, H., Tahir, F., & Al-Fagih, L. (2021). Incentives and strategies for financing the renewable energy transition: A review. *Energy Reports*, 7, 3590–3606. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.041>
  129. Rausand, M. (2013). Risk assessment: theory, methods, and applications (Vol. 115). John Wiley & Sons.
  130. Reyes-Belmonte, M. A. (2021). Quo Vadis Solar Energy Research? *Applied Sciences*, 11(7), 3015. <https://doi.org/10.3390/app11073015>
  131. Rom, W. N., & Pinkerton, K. E. (2020). Introduction: Consequences of Global Warming to Planetary and Human Health. *Respiratory Medicine*, 1–33. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54746-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54746-2_1)
  132. Salehy, N., & Okten, G. (2021). Dempster-Shafer Theory for Stock Selection. 2021 IEEE 45th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC). <https://doi.org/10.1109/compsac51774.2021.00258>

133. Schwarz, U. (2015), Hydropower projects on the balkan rivers – Update (pp. 1-33). dostupno na: <https://www.balkanrivers.net/en/studies/hydropower-projects-on-the-balkan-rivers-update>
134. Schwarz, U. (2019). Hydropower pressure on European river: The story in numbers (pp. 1-40) dostupno na: <https://www.wwf.eu/?356638/Hydropower-pressure-on-European-rivers-The-story-in-numbers>
135. Sevastianov, P., & Dymova, L. (2009). Synthesis of fuzzy logic and Dempster–Shafer Theory for the simulation of the decision-making process in stock trading systems. *Mathematics and Computers in Simulation*, 80(3), 506–521. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2009.06.027>
136. Shafer, G. (1976). *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press, 3–34. <https://doi.org/10.1515/9780691214696>
137. Singal, S. K., Saini, R. P., & Raghuvanshi, C. S. (2010). Analysis for cost estimation of low head run-of-river small hydropower schemes. *Energy for Sustainable Development*, 14(2), 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2010.04.001>
138. Sudirman, W. B., & Hardjomuljadi, S. (2011). Project Risk Management in Hydropower Plant Projects. *Journal of Infrastructure Development*, 3(2), 171–186. <https://doi.org/10.1177/097493061100300205>
139. Seiti, H., Hafezalkotob, A., Najafi, S. E., & Khalaj, M. (2018). A risk-based fuzzy evidential framework for FMEA analysis under uncertainty: An interval-valued DS approach. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 35(2), 1419–1430. <https://doi.org/10.3233/jifs-169684>
140. Shaktawat, A., & Vadhera, S. (2020). Risk management of hydropower projects for sustainable development: a review. *Environment, Development and Sustainability*, 23(1), 45–76. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00607-2>
141. Sikora, A. (2020). European Green Deal – legal and financial challenges of the climate change. *ERA Forum*, 21(4), 681–697. <https://doi.org/10.1007/s12027-020-00637-3>
142. Simonović, P., Ristić, R., Milčanović, V., Polovina, S., Malušević, I., Radić, B., Kanjuh, T., Marić, A., & Nikolić, V. (2021). Effects of run-of-river hydropower plants on fish communities in montane stream ecosystems in Serbia. *River Research and Applications*, 37(5), 722–731. Portico. <https://doi.org/10.1002/rra.3795>
143. Singh, V. K., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, 126(6), 5113–5142. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>
144. Sousa, R., Ferreira, A., Carvalho, F., Lopes-Lima, M., Varandas, S., Teixeira, A., & Gallardo, B. (2020). Small hydropower plants as a threat to the endangered pearl mussel *Margaritifera margaritifera*. *Science of The Total Environment*, 719, 137361. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137361>
145. Spasenić, Ž., Benković, S., & Dmitrović, V. (2019). Project finance capability of homebuilding in the Republic of Serbia. *Proceedings of the 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019)*. <https://doi.org/10.2991/senet-19.2019.17>
146. Spasenic, Z., Makajic-Nikolic, D., & Benkovic, S. (2022a). Integrated FTA-risk matrix model for risk analysis of a mini hydropower plant's project finance. *Energy For Sustainable Development*, 70, 511–523. doi: 10.1016/j.esd.2022.08.024 (M22)
147. Spasenic, Z., Makajic-Nikolic, D., & Benkovic, S. (2022b). Risk assessment of financing renewable energy projects: A case study of financing a small hydropower plant project in Serbia. *Energy Reports*, 8, 8437–8450. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.06.065>
148. Spasenic, Z., Milosavljevic, M., & Milanovic, N. (2022c). Project financing of renewable energy projects: a bibliometric analysis and future research agenda, *Fresenius Environmental Bulletin*, 31 (8), 7844-7851.

149. Steffen, B. (2018). The importance of project finance for renewable energy projects. *Energy Economics*, 69, 280–294. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.11.006>
150. Su, X., Deng, Y., Mahadevan, S., & Bao, Q. (2012). An improved method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft engine rotor blades. *Engineering Failure Analysis*, 26, 164–174. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.07.009>
151. Suo, B., Zhao, L., & Yan, Y. (2020). A novel Dempster-Shafer theory-based approach with weighted average for failure mode and effects analysis under uncertainty. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 65, 104145. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104145>
152. Tang, Y., Zhou, D., & Chan, F. T. S. (2018). AMWRPN: Ambiguity Measure Weighted Risk Priority Number Model for Failure Mode and Effects Analysis. *IEEE Access*, 6, 27103–27110. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2836139>
153. Tanović, A., Kasamović, E., & Džafro, H. (2020). An Overview of Research Irregularities Regarding Water Regimes and Environmental Effects in the Design of Small Hydropower Plants in Bosnia and Herzegovina. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 571–580. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-54765-3\\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-54765-3_40)
154. Tao, J., Qiu, D., Yang, F., & Duan, Z. (2020). A bibliometric analysis of human reliability research. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121041. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121041>
155. Taroun, A., & Yang, J.-B. (2013). A DST-based approach for construction project risk analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 64(8), 1221–1230. <https://doi.org/10.1057/jors.2013.38>
156. Triana, Y. S., & Pangabea, R. A. M. (2021). Risk Analysis in the Application of Financore Information Systems Using FMEA Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012032>
157. Tu, Q., Betz, R., Mo, J., Fan, Y., & Liu, Y. (2019). Achieving grid parity of wind power in China – Present leveled cost of electricity and future evolution. *Applied Energy*, 250, 1053–1064. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.039>
158. UN. (2022). The Sustainable Development Goals. United Nations. Dostupno na: <https://sdgs.un.org/>
159. Urošević, B. G., & Marinović, B. (2021). Ranking construction of small hydro power plants using multi-criteria decision analysis. *Renewable Energy*, 172, 1174–1183. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.115>
160. van der Borst, M., & Schoonakker, H. (2001). An overview of PSA importance measures. *Reliability Engineering & System Safety*, 72(3), 241–245. [https://doi.org/10.1016/s0951-8320\(01\)00007-2](https://doi.org/10.1016/s0951-8320(01)00007-2)
161. Vejnović, I., & Gallop, P. (2018). Financing for hydropower in protected areas in south east Europe (pp. 1-73). Dostupno na: <https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2018/03/Financing-hydropower-southeast-Europe-web-2018-update.pdf>
162. Venus, T. E., Hinzmann, M., Bakken, T. H., Gerdes, H., Godinho, F. N., Hansen, B., ... & Sauer, J. (2020). The public's perception of run-of-the-river hydropower across Europe. *Energy Policy*, 140, 111422. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111422>
163. Wang, H., Deng, X., Zhang, Z., & Jiang, W. (2019a). A New Failure Mode and Effects Analysis Method Based on Dempster–Shafer Theory by Integrating Evidential Network. *IEEE Access*, 7, 79579–79591. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2923064>
164. Wang, Z., Gao, J.-M., Wang, R.-X., Chen, K., Gao, Z.-Y., & Jiang, Y. (2018). Failure mode and effects analysis using Dempster-Shafer theory and TOPSIS method: Application to the gas insulated metal enclosed transmission line (GIL). *Applied Soft Computing*, 70, 633–647. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.06.015>
165. Wang, W., Liu, X., Chen, X., & Qin, Y. (2019b). Risk assessment based on hybrid FMEA framework by considering decision maker's psychological behavior character. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 516–527. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.051>

166. Woo, S. (2017). *Reliability design of Mechanical Systems*, Springer International Publishing. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-50829-0>
167. Xiao, Z., Yang, X., Pang, Y., & Dang, X. (2012). The prediction for listed companies' financial distress by using multiple prediction methods with rough set and Dempster–Shafer evidence theory. *Knowledge-Based Systems*, 26, 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2011.08.001>
168. Yager, R. R. (1987). On the dempster-shafer framework and new combination rules. *Information Sciences*, 41(2), 93–137. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(87\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0020-0255(87)90007-7)
169. Yang, J., Huang, H.-Z., He, L.-P., Zhu, S.-P., & Wen, D. (2011). Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster–Shafer evidence theory under uncertainty. *Engineering Failure Analysis*, 18(8), 2084–2092. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.06.014>
170. Yao, Y., Xu, J.-H., & Sun, D.-Q. (2021). Untangling global levelised cost of electricity based on multi-factor learning curve for renewable energy: Wind, solar, geothermal, hydropower and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124827. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124827>
171. Yescombe, E. R. (2002). *Principles of project finance*. Elsevier.
172. Yi, C.-S., Lee, J.-H., & Shim, M.-P. (2010). Site location analysis for small hydropower using geo-spatial information system. *Renewable Energy*, 35(4), 852–861. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.08.003>
173. Zakon (1978). Zakon o obligacionim odnosima. Službeni list SFRJ, br. 29 od 26. maja 1978, 39 od 28. jula 1985, 45 od 28. jula 1989 – USJ, 57 od 29. septembra 1989, Službeni list SRJ, broj 31 od 18. juna 1993, Službeni glasnik RS, broj 18 od 3. marta 2020. Dostupno na: <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/slsfrj/skupstina/zakon/1978/29/1/reg>
174. Zakon. (2006). Zakon o ratifikaciji Ugovora o osnivanju Energetske zajednice između Evropske zajednice i Republike Albanije, Republike Bugarske, Bosne i Hercegovine, Republike Hrvatske, Bivše Jugoslovenske Republike Makedonije, Republike Crne Gore, Rumunije, Republike Srbije i Privremene Misije Ujedinjenih nacija na Kosovu u skladu sa Rezolucijom 1244 Saveta bezbednosti Ujedinjenih nacija. Službeni Glasnik RS, broj 62 od 19. jula 2006. Dostupno na: [https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/prilozi/Ugovor\\_o\\_osnivanju\\_Energetske\\_zajednice.htm&regactid=404637&doctype=reg](https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/prilozi/Ugovor_o_osnivanju_Energetske_zajednice.htm&regactid=404637&doctype=reg) (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
175. Zakon. (2009). Zakon o planiranju i izgradnji. Sl. glasnik RS", br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 - odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 - odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon, 9/2020 i 52/2021. Dostupno na: [https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_planiranju\\_i\\_izgradnji.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_planiranju_i_izgradnji.html) (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
176. Zakon. (2021). Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije. Službeni glasnik RS, broj 40 od 22. aprila 2021. Dostupno na: <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2021/40/2/reg> (Datum poslednjeg pristupa: 30.10.2022)
177. Zhang, K., & Liang, Q.-M. (2020). Recent progress of cooperation on climate mitigation: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123495. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123495>
178. Zhang, L., Zhang, L., Teng, W., & Chen, Y. (2013). Based on Information Fusion Technique with Data Mining in the Application of Finance Early-Warning. *Procedia Computer Science*, 17, 695–703. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.05.090>
179. Zhang, W., Li, B., Xue, R., Wang, C., & Cao, W. (2021). A systematic bibliometric review of clean energy transition: Implications for low-carbon development. *PLOS ONE*, 16(12), e0261091. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261091>
180. Zhu, X., & Wang, P. (2008). The Credit Risk Assessment Method Based on Evidence Reasoning. 2008 International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops. <https://doi.org/10.1109/iita.workshops.2008.34>

## 8. Biografija

Željko Spasenić je rođen 25.08.1989. godine u Užicu. Osnovnu školu je završio na Zlatiboru kao đak generacije i nosilac Vukove diplome. Srednju Ekonomsku školu je završio u Užicu kao đak generacije i nosilac Vukove diplome. Osnovne akademske studije je završio na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Beogradu 2012. godine sa prosečnom ocenom 9,93 na smeru računovodstvo, revizija i finansijsko upravljanje, modul računovodstvo i revizija. Master studije je završi na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Beogradu 2014. godine sa prosečnom ocenom 9,89 na studijskom programu računovodstvo, revizija i poslovne finansije. Trenutno je student doktorskih akademskih studija na Fakultetu organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu na studijskom programu informacioni sistemi i kvantitativni menadžment, izorno područje kvantitativni menadžment. Zaključno sa junom 2020. godine položio je sve ispite predviđene nastavnim planom sa prosečnom ocenom 10.

Kao student master studija izvodio je vežbe, u svojstvu demonstratora, na Ekonomskom Fakultetu Univerziteta u Beogradu, na predmetima osnovi ekonomije i ekonomika preduzeća. Od 2014. godine bio je zaposlen u Erste banci na poslovima finansijskog analitičara za velike privredne subjekte. Karijeru nastavlja u UniCredit banci gde je angažovan kao menadžer za procenu i upravljanje kreditnim rizikom za srednja preduzeća, opštine i finansiranje obnovljivih izvora energije. Nakon UniCredit banke prelazi u Societe Generale banku gde obavljao posao na poziciju menadžera za procenu i upravljanje kreditnim rizikom za velike privredne subjekte, opštine, finansijske institucije i složene finansijske plasmane. Učestvovao je u strukturiranju i odobravanju složenih bankarskih proizvoda i finansijskih struktura, sindikalnih kredita, *leveraged buyout* transakcija, finansijskih derivata, finansiranju kapitalnih projekata, uključujući javno-privatna partnerstva, i finansiranju obnovljivih izvora energije. Isti posao obavljao i u Societe Generale banci u Sofiji, Bugarska. Tokom rada u Societe Generale banci nagrađen je kao najbolji zaposleni u 2017. godini. Od 2018. godine profesionalnu karijeru nastavlja u kompaniji Adacta gde obavlja poslove konsultanta za implementaciju ERP sistema (MS NAV i Business central) sa primarnim fokusom na finansijski i računovodstveni modul sistema. Uspešno realizovao nekoliko projekat implementacije i veći projekata unapređenja ERP sistema. Od 2019. godine zaposlene je na Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu najpre u zvanju saradnika u nastavi a zatim zvanju asistenta. Izvodi nastavu na časovima vežbi na osnovnim i master studijama za grupu računovodstveno-finansijskih predmeta. U anonimnim anketama studenata za ocenu kvaliteta rada nastavnika i saradnika dobio je visoke ocene za svaku školsku godinu.

Dobitnik je većeg broja nagrada i priznanja od koji se mogu izdvojiti stipendija „Dositeja“ Fonda za mlade talente Ministarstva omladine i sporta Republike Srbije, povelja Ekonomskog fakulteta Univerziteta u Beogradu za izuzetan uspeh tokom studiranja i nagrada za studenta generacije i nagrada Saveza računovođa i revizora za izuzetan uspeh postignut u grupi računovodstveno-finansijskih predmeta tokom studija na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.

## 9. Lista objavljenih naučnih radova

### *Monografije, monografske studije, tematski zbornici, leksikografske i kartografske publikacije međunarodnog značaja (M10)*

1. Milosavljević, M., **Spasenić, Ž.**, & Benković, S. (2021). Participatory Budgeting in Serbia. *Governance and Public Management*, 229–245. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-79930-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79930-4_12) (M14)
2. Milosavljevic, M., **Spasenic, Z.**, Benkovic, S., Milanovic, N. (2021). The Effects of Public Procurement on Sustainability in the EU: A Mixed-Method Analysis, in I. Hoffmann, K. F. Rozsnyai, M. Nagy (Eds.). *Urbanisation and Local Government(s)*, Maribor: Lex Localis Press, pp. 77-93. [ISBN: 978-961-7124-06-4(PDF)]. <https://doi.org/10.4335/2021.7.7> (M14)
3. **Spasenić, Ž.**, Sredojević, S., & Benković, S. (2022). Digital Transformation of Commercial Banks in Serbia During COVID-19 Pandemic. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 196–209. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18645-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18645-5_12) (M14)
4. Milosavljević, M., **Spasenić, Ž.**, & Damjanović, V. (2022). Bibliometric Survey on Microfinance for the SMEE Sector. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 430–444. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18645-5\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18645-5_27) (M14)

### *Radovi objavljeni u naučnim časopisima međunarodnog značaja (M20)*

1. **Spasenic, Z.**, Makajic-Nikolic, D., & Benkovic, S. (2022). Risk assessment of financing renewable energy projects: A case study of financing a small hydropower plant project in Serbia. *Energy Reports*, 8, 8437-8450. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.06.065> (M21)
2. **Spasenic, Z.**, Makajic-Nikolic, D., & Benkovic, S. (2022). Integrated FTA-risk matrix model for risk analysis of a mini hydropower plant's project finance. *Energy for Sustainable Development*, 70, 511-523. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.06.065> (M22)
3. **Spasenic, Z.**, Milosavljevic, M., Milanovic, N. (2022). Project financing of renewable energy projects: a bibliometric analysis and future research agenda, *Fresenius Environmental Bulletin*, 31 (8), 7844-7851 ISSN 1018-4619 [IF=0.618] (M23)
4. Benkovic, S., Milosavljevic, M., **Spasenic, Z.**, Jovanovic, A. (2022). Antecedents of University Entrepreneurship: Empirical Evidence from Serbian Public Universities. *Croatian Journal of Education - Hrvatski casopis za odgoj i obrazovanje*, 24(2), 397-427. [IF=0.250] (M23)
5. Milanović, N., Milosavljević, M., Benković, S., Starčević, D., & **Spasenić, Ž.** (2020). An Acceptance Approach for Novel Technologies in Car Insurance. *Sustainability*, 12(24), 10331. <https://doi.org/10.3390/su122410331> (M22)
6. Milosavljević, M., **Spasenić, Ž.**, Benković, S., & Dmitrović, V. (2020). Participatory Budgeting in Serbia: Lessons Learnt from Pilot Projects. *Lex Localis - Journal of Local Self-Government*, 18(4), 999–1021. [https://doi.org/10.4335/18.3.999-1021\(2020\)](https://doi.org/10.4335/18.3.999-1021(2020)) (M23)
7. **Spasenić, Ž.**, Benkovic, S., & Dmitrović, V. (2019). Potentials for Improving Financial Management Capacities in Serbian Public Administration. *Lex Localis - Journal of Local Self-Government*, 17(3), 435–451. [https://doi.org/10.4335/17.3.435-451\(2019\)](https://doi.org/10.4335/17.3.435-451(2019)) (M23)
8. **Spasenić, Ž.**, Petrović, D., & Benković, S. (2022). Key Success Factors of a Shopping Mall Project: Creditors Perspective in Serbia. *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*. <https://doi.org/10.7595/management.fon.2022.0006> (M24)

### *Zbornici međunarodnih naučnih skupova (M30)*

1. **Spasenić, Ž.**, Benković, S., & Dmitrović, V. (2019). Project finance capability of homebuilding in the Republic of Serbia. *Proceedings of the 5th IPMA SENET Project Management Conference (SENET 2019)*. <https://doi.org/10.2991/senet-19.2019.17> (M33)

2. **Spasenić, Ž.**, Benković, S., & Dmitrović, V. (2019). Izazovi projektnog finansiranja u IT industriji. Zbornik radova XXII Internacionalnog kongresa iz projektnog menadžmenta, Projektni menadžment i industrija 4.0, Udruženje za upravljanje projektima Srbije, ISBN-978-86-86385-17-8 **(M33)**
3. **Spasenić Ž.**, Milosavljević M., Benović S. (2020) The Role of ERP in Digital Transformation: A User Perspective. In proceedings of XVII International symposium Symorg 2020 "Business and Artificial Intelligence", Faculty of Organizational Sciences, online, Serbia, 7-9 September 2020, Belgrade: Faculty of Organizational Sciences **(M33)**
4. **Spasenić, Ž.**, Milosavljević M., Savić S. (2020). Employee Perception on Enforced Telework in Financial Industry: Evidence from Serbia. In proceedings of International scientific conference: Emerging Trends in Business Economics: Towards Competitiveness, Digitalization and Financial Innovation, Book of abstracts, 28-29 October, 2020, Belgrade, Serbia, ISBN 978-86-89465-56-3 **(M33)**
5. **Spasenić Ž.**, Sredojević S., Benović S. (2022) Digital transformation of banking business in Serbia caused by COVID-19 pandemic. In book of abstracts of XVIII International symposium Symorg 2022 "Sustainable Business Management and Digital Transformation: Challenges and Opportunities in the Post-COVID era", Faculty of Organizational Sciences, hybrid, Serbia, 11-14 June 2022, Belgrade: Faculty of Organizational Sciences, 153-154, ISBN 978-86-7680-411-5 **(M33)**
6. Milosavljević M., **Spasenić Ž.**, Damnjanović V. (2022) Microfinance for the SMEE sector: a bibliometric review. In book of abstracts of XVIII International symposium Symorg 2022 "Sustainable Business Management and Digital Transformation: Challenges and Opportunities in the Post-COVID era", Faculty of Organizational Sciences, hybrid, Serbia, 11-14 June 2022, Belgrade: Faculty of Organizational Sciences, 162-163, ISBN 978-86-7680-411-5 **(M33)**

#### *Zbornici skupova nacionalnog značaja (M60)*

1. Dmitrović, V., Benković S., & **Spasenić, Ž.** (2019) Digitalno okruženje kao izazov računovodstvu. Zbornik radova XII Skupa privrednika i naučnika SPIN '19, Lin transformacija i digitalizacija privrede Srbije, Beograd, ISBN 978-86-7680-365-1 **(M63)**
2. Milosavljevic, M., Milanovic, N., **Spasenic, Z.**, & Benkovic, S. (2021). Civic Crowdfunding: Systematic Literature Review and Future Research Agenda. In the Book of Abstracts of the 2021 International Conference E-Business Technologies "EBT 2021", 10-11 June 2021, Belgrade, Serbia, pp. 72-74. **(M64)**
3. Milosavljević, M., **Spasenić, Ž.**, Milanović, N., & Benković, S. (2022). Innovations in museum financing: Potential of Civic Crowdfunding. In E-business technologies conference proceedings (Vol. 2, No. 1, pp. 21-25) **(M64)**
4. Dmitrović, V., Benković, S., & **Spasenić, Ž.** (2022). Kontroling u funkciji podrške menadžmentu preduzeća, Računovodstvena znanja kao činilac društvenog i ekonomskog napretka, Ekonomski fakultet Univerziteta u Kragujevcu, str. 264 – 275 **(M63)**



## 10. Izjava o autorstvu

### Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora: **Željko Spasenić**

Broj indeksa: **5006/2017**

### Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

**„Metodologija za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije“**

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, . . . 2023. godine

Potpis autora

---

## 11. Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

### Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora:     **Željko Spasenić**  
Broj indeksa:               **5006/2017**  
Studijski program:       **Informacioni sistemi i kvantitativni menadžment**  
Naslov rada:               **Metodologija za analizu projektnog finansiranja  
obnovljivih izvora energije**  
Mentor:                     **prof. dr Slađana Benković**

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istoverna elektronskoj verziji koju sam predao radi pohranjivanja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum obrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu,     .     . 2023. godine

---

## 12. Izjava o korišćenju

### Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

**„Metodologija za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije“**

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo (CC BY)

2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)

3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)

4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)

5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)

6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci.

Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

Potpis autora

U Beogradu, . . . 2023. godine

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.