Broj rada: R5-09
DOI:10.46793/CIRED2026.R5-09_183

OPTIMALNA LOKACIJA DIZEL GENERATORA ZA FORMIRANJE MIKROMREŽE

THE OPTIMAL LOCATION OF THE DIESEL GENERATOR FOR THE FORMATION OF A MICROGRID

Miroslav DOČIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak Leskovac, Srbija*
Aleksandar ANĐELKOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak Leskovac, Srbija
Aleksandar JANJIĆ, GOPA Tech, Ogranak Srbija, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Savremeni sistemi za distribuciju električne energije suočavaju se sa sve većim izazovima od prirodnih katastrofa, kvarova opreme i poremećaja u mreži koji mogu dovesti do velikih prekida i značajnih ekonomskih gubitaka. Integracija distribuiranih izvora proizvodnje (DG), uključujući obnovljive izvore energije kao što su solarni fotonaponski sistemi i vetroturbine, zajedno s konvencionalnim generatorima i sistemima za skladištenje energije, stvorila je nove mogućnosti za poboljšanje otpornosti mreže kroz autonomno formiranje mikromreža tokom stanja kvara. Kada dođe do kvara u glavnoj mreži, strateški locirane DG jedinice mogu omogućiti formiranje samoodrživih ostrvskih mikromreža koje održavaju napajanje prioritetnih opterećenja, čime se poboljšava pouzdanost i otpornost sistema. U ovom radu korišćena je višekriterijumska optimizacija za raspodelu dizel generatora u 10 kV mreži. Na osnovu nekoliko kriterijuma (restaurirana snaga, troškovi, sigurnost) odabrana je optimalna lokacija ugradnje dizel generatora za slučaj većih kvarova nadzemnih mreža. Metodologija je ilustrovana na realnom 10 kV dalekovodu u području ED Leskovac.

Ključne reči: mikromreža, optimizacija više kriterijuma, ekstremni vremenski uslovi

ABSTRACT

Modern power distribution systems are increasingly challenged by natural disasters, equipment failures, and grid disturbances that can lead to major outages and significant economic losses. The integration of distributed generation (DG) resources, including renewable energy sources such as photovoltaic systems and wind turbines, alongside conventional generators and energy storage systems, has created new opportunities to enhance grid resilience through autonomous microgrid formation during fault conditions. When faults occur in the main grid, strategically located DG units can enable the creation of self-sustaining islanded microgrids that maintain supply to priority loads, thereby improving system reliability and resilience. In this paper, multi-criteria optimization is used to allocation of diesel generators within a 10 kV network. Based on several criteria (restored power, costs, and safety), the optimal installation locations of diesel generators were determined for scenarios involving major overhead line failures. The methodology was illustrated using a real 10 kV feeder in the ED Leskovac area.

* Miroslav Dočić miroslav.docic@es.rs; Aleksandar Anđelković aleksandar.andjelkovic@es.rs; Aleksandar Janjić Aleksandar.Janjic@gopa-intec.de

Keywords: microgrid, reliability, multicriteria optimization, extreme weather conditions

1. UVOD

Savremene distributivne mreže suočavaju se sa izazovima održavanja kontinuiteta napajanja (indikatori SAIDI i SAIFI). U slučaju kvara na glavnom SN vodu, određeni delovi mreže ostaju bez napona. Koncept **mikromreže (microgrid)** omogućava da se ovi „isečeni“ delovi mreže napajaju iz lokalnih izvora, gde dizel generatori i dalje igraju ključnu ulogu zbog svoje robusnosti i brzog odziva.

Korišćenje dizel generatora za formiranje mikromreže na 10 kV nivou je efikasno rešenje za povećanje pouzdanosti, ali zahteva:

- preciznu koordinaciju zaštitnih uređaja;
- automatizovan sistem upravljanja (SCADA/EMS);
- jasno definisane protokole za prelazak iz mrežnog u ostrvski režim i obrnuto (re-sinhronizacija).

Ovaj pristup minimizuje ekonomsku štetu uzrokovanu prekidima i omogućava kritičnoj infrastrukturi rad čak i u uslovima teških havarija na prenosnom ili distributivnom sistemu.

Izbor lokacija dizel generatora za formiranje ostrvskih mikromreža nakon glavnog kvara u snabdevanju zahteva kombinovanje više merljivih kriterijuma, tako da novoformirana ostrva mogu da ispune ciljeve opterećenja i stabilnosti u vanrednim uslovima. Pregledi i studije primene tretiraju problem kao problem višekriterijumskog odlučivanja ili kao zadatak optimizacije lokacije dizel generatora sa ciljem smanjenja gubitaka, troškova, nezadovoljene potražnje i operativnih ograničenja [1, 2, 3]:

- **Kriterijumi koji se koriste** uključuju tehničke, ekonomske, ekološke i operativne kriterijume;
- **Formulacije problema** variraju: MCDM (*Multi-Criteria Decision Making* za ponderisanje / rangiranje atributa) i matematička optimizacija (lokacija objekta, MILP – *Mixed-Integer Linear Programming*, heuristika) se primenjuju u zavisnosti od toga da li je fokus kvalitativno rangiranje ili eksplicitno minimiziranje troškova.

U ovom radu korišćene su dve tehnike višekriterijumske optimizacije (TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* i SMART – *Simple Multi-Attribute Rating Technique*) za određivanje lokacije dizel generatora u 10 kV mreži. Na osnovu nekoliko kriterijuma (restaurirana snaga, naponski profil, sigurnost) odabrana je optimalna lokacija ugradnje dizel generatora za slučaj većih kvarova nadzemnih mreža. Metodologija je ilustrovana na realnom 10 kV dalekovodu u području ED Leskovac.

2. KRITERIJUMI ZA FORMIRANJE MIKROMREŽE

Kada nastupi kvar na 10 kV vodu, zaštitni uređaji izoluju pogođenu deonicu. Formiranje mikromreže podrazumeva sledeće korake:

1. **Detekcija kvara i izolacija:** Isključenje prekidača u napojnoj transformatorskoj stanici 35/10 kV ili na linijskim rastavljačima;
2. **Provera uslova za ostrvski rad:** Validacija da u izolovanom delu nema kratkih spojeva koji bi ugrozili generator;

3. **Pokretanje i sinhronizacija:** DG se pokreće i preuzima ulogu „formirača mreže“ (*grid-former*), uspostavljajući referentni napon i frekvenciju.

Za rad u 10 kV mreži, DG sistem se obično sastoji od niskonaponskog generatora (0,4 kV) i blok-transformatora 0,4/10 kV. Ključni parametri su:

- **Regulacija napona (AVR):** Mora biti sposobna da kompenzuje varijacije usled uključenja velikih tereta;
- **Regulacija frekvencije (Governor):** Sinhroni režim rada je neophodan za održavanje frekvencije od 50 Hz u izolovanom sistemu;
- **Sposobnost preopterećenja:** DG mora izdržati polazne struje asinhronih motora u mreži.

Tabela 1 – Poređenje režima rada DG

Karakteristika	**Paralelni rad sa mrežom**	**Ostrvski rad (mikromreža)**
Kontrola napona	Diktira mreža	Diktira DG (AVR)
Kontrola frekvencije	Diktira mreža	Diktira DG (regulator)
Struja kratkog spoja	Visoka (doprinos mreže)	Limitirana (karakteristika generatora)

Jedan od najvećih izazova je drastična promena struja kratkog spoja. Problem je taj što je klasična prekostrujna zaštita na 10 kV vodovima podešena za visoke struje iz sistema. DG ima struju kvara koja je često samo 3-5 puta veća od nominalne. Upotreba digitalnih releja sa prilagodljivim (adaptivnim) grupama podešenja može biti rešenje ovog problema. Kada se detektuje prelazak u ostrvski rad, releji automatski prelaze na osetljivije krive isključenja.

U mikromreži je snaga DG ograničena. Neophodno je primeniti rasterećenje (*Load Shedding*):

1. **Prioritetni potrošači:** zdravstvene ustanove, vodovodi, kritična industrija, telekomunikacioni objekti (ostaju napojeni);
2. **Sekundarni potrošači:** domaćinstva ili javna rasveta (isključuju se ako frekvencija opadne ispod kritične granice).

$$P_{DG} \geq \sum P_{load} + P_{losses} \quad (1)$$

gde P_{DG} mora pokriti sumu svih opterećenja P_{load} i gubitaka u transformatorima i vodovima P_{losses} kako bi sistem ostao stabilan.

Prilikom prelaska na DG, mora se voditi računa o režimu uzemljenja neutralne tačke. U zavisnosti od toga kako je izvedeno uzemljenje neutralne tačke 10 kV mreže, mikromreža mora obezbediti slične uslove kako bi zaštita od zemljospojeva uspešno funkcionisala.

Optimalno postavljanje DG u distributivnim TS SN/NN zahteva pažljiv izbor lokacija koje omogućavaju restauraciju snage, održavanje napona u propisanim granicama i stabilnost napajanja. Ključni kriterijumi uključuju tehničke, mrežne, ekonomske i bezbednosne faktore:

- Tehnički kriterijumi
  - Snaga generatora mora biti usklađena sa transformatorom u TS, odnosno očekivanim opterećenjima TS;

- Generator treba da obezbedi stabilan napon u granicama ±10 % od naznačenog;
- Postavljanje generatora zahteva pouzdano uzemljenje radi zaštite od prenapona i stabilnog rada;
- Mora se u potpunosti obezbediti tehnička ispravnost mikromreže kako bi se izbegla neželjena isključenja.

- Mrežni kriterijumi
  - Generator se postavlja u stanicama blizu kritičnih potrošača ili onih od strateškog značaja;
  - Optimalna lokacija za postavljanje su čvorišta mreže gde se može obezbediti napajanje većeg broja krajnjih korisnika;
  - Lokaciju treba odabrati tako da smanji padove napona i tehničke gubitke u mreži;
  - Generator mora da ima podršku za rad u izolovanom sistemu kada je odvojen od mreže, odnosno ostrvskom radu.
- Ekonomski kriterijumi
  - Generator treba da bude postavljen na mestu na kome su troškovi instalacije i održavanja (infrastrukturni zahtevi za transport i raspoloživi prostor) minimalni;
  - Lokacija treba da omogući jednostavnu logistiku za dopremu dizela (efikasnost korišćenja goriva);
  - Prioritet treba da imaju TS sa većim brojem korisnika i značajem za kontinuitet snabdevanja (investiciona opravdanost).
- Bezbednosni kriterijumi
  - Generator mora biti smešten u prostoru sa kontrolisanim pristupom;
  - Potrebno je obezbediti zaštitu od požara i buke;
  - Lokacija mora da ispuni ekološke zahteve (propise o emisiji izduvnih gasova).

2.1 Tehnički i mrežni kriterijumi

Lokacija dizel agregata mora da zadovolji električna i mrežna ograničenja kako bi se osiguralo da ostrvska mikromreža može stabilno da radi i služi prioritetnim opterećenjima. Tehnički kriterijumi obično odražavaju ravnotežu snage, napon i performanse gubitka, kapacitet generatora i dinamičko ponašanje, zaštitu / koordinaciju i ograničenja topologije mreže.

Tabela 2 – Tehnički i mrežni kriterijumi

Kriterijum	**Opis**
Balans snage / uspešno formiranje ostrva	Sposobnost da se pokrije lokalno opterećenje tokom formiranja ostrva i izbegne neravnoteža snage ili kolaps frekvencije
Naponski profil i mrežni gubici	Ograničenja napona i smanjenje gubitaka distribucije unutar formirane mikromreže
Kapacitet generatora, brzina porasta snage i dinamička sposobnost	Dovoljan kapacitet i odziv da pokrije prioritetna opterećenja i podrška kontroli frekvencije / napona
Ograničenja zaštite i stabilnosti	Obrnuti protok snage, promene struje greške, koordinacija releja i stabilnost sistema pod dvosmernim tokovima
Topologija i električno rastojanje	Impedanse, radijalnost, udaljenost do kritičnih opterećenja i kapacitet kabla utiče na gubitke

2.2 Ekonomski i bezbednosti kriterijumi

Ekonomska, ekološka i operativna pravila određuju praktičnost i održivost odabranih lokacija DG, a koriste se zajedno sa tehničkim metrikama prilikom rangiranja lokacija kandidata. Studije uključuju kapital i O&M (*Operation & Maintenance*) troškove, gorivo i logistiku, emisije i buku, kao i pouzdanost i performanse restauracije usluga za kvantifikaciju kompromisa.

Tabela 3 – Ekonomski i operativni kriterijumi

Kriterijum	**Opis**
Ekonomski	Kapitalni troškovi i troškovi rada i održavanja
Ekonomski	Troškovi goriva i logistika (transport goriva, dostupnost)
Operativni	Neisporučena energija / procenat potražnje vremena nije služio i prioritet opterećenja
Životna sredina	Emisije i buka
Operativni	Budžet / broj jedinica i brzina raspoređivanja

2.3 MCDM metode koje se koriste

Za izbor optimalne lokacije DG koriste se, kako eksplicitne MCDM metode, tako i pristupi matematičke optimizacije. MCDM metoda se obično bira kada se moraju kombinovati mnogi kvalitativni i kvantitativni atributi, dok se matematike optimizacije koriste kada su dostupni tačni modeli troškova / pokrivenosti.

Tabela 4 – Primenjene metode

Metoda	**Opis**
AHP (*Analytic Hierarchy Process*)	Formiranje težinskih faktora za više atributa (tehnički, ekonomski, ekološki) pre rangiranja alternativa
TOPSIS	Rangiranje lokacije kandidata po bliskosti sa idealnim rešenjem nakon ponderisanja
Fuzzy AHP / hibrid AHP – TOPSIS	Uključivanje neizvesnosti u subjektivnim presudama i kombinacija sa ponderisanjem i rangiranjem
MILP i OPF (*Optimal Power Flow*) formulacije	Određivanje mesta / veličine DG uz proračun tokova snaga, gubitaka i poštovanje operativnih ograničenja
Heuristika / meta heuristika	Rešavanje velikih ili nekonveksnih problema za određivanje lokacije i snage (PSO, ABC, GA, backtracking search)
PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) / VIKOR (*VIšeKriterijumska Optimizacija i Kompromisno Rešenje*)	Često korišćenja za pozicioniranje DG u formiranju mikromreže

3. METODOLOGIJA

Izbor lokacije dizel generatora za formiranje mikromreže sastoji se iz sledećih koraka:

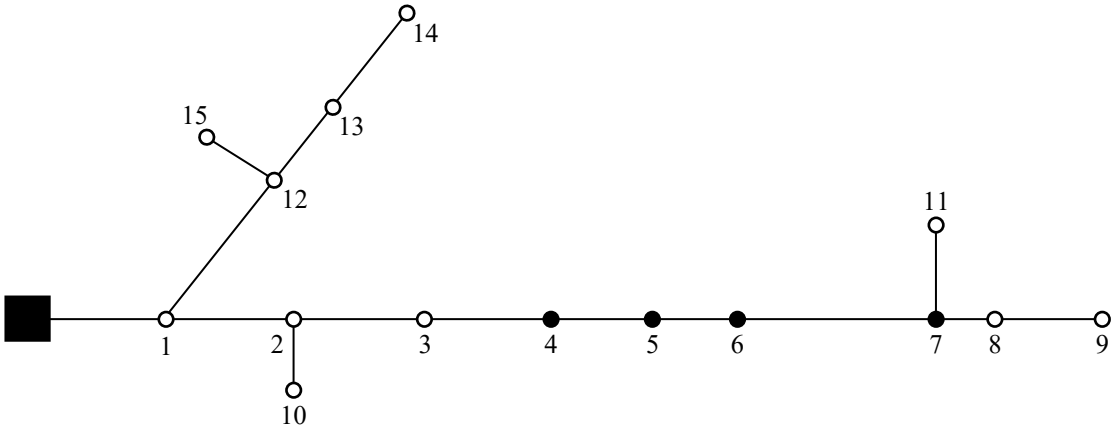
A. Definisanje kriterijuma:

A.1. Restaurisana snaga

Ukoliko se DG nalazi u čvoru j, restaurirana snaga P_{res} računa se kao očekivana vrednost restaurisane snage (zbir snaga P_i po čvorovima i) usled kvarova na svim pojedinačnim sekcijama j (dužine L_j i inteziteta otkaza λ_j). N_j u izrazu (2) označava sve čvorove koje može da napaja dizel generator.

$$P_{res} \geq \sum_{j} \left(L_j \cdot \lambda_j \cdot \sum\nolimits_{i \in (N_j)} P_i \right) \tag{2}$$

Na primer, za položaj DG u čvoru 4 (slika 1), u slučaju kvara na deonici 1, mogu da budu napojeni svi čvorovi 1 – 15. Za kvar na deonici 2, mogu da budu napojeni čvorovi 2 – 11.



Slika 1 – Primer analiziranog 10 kV voda

A.2. Troškovi instalacije i operativni troškovi

Troškovi instalacije C_i računaju prema izrazu (3), a sadrže troškove dovoženja generatora i njegovog postavljanja C_{inst}, kao i troškova goriva c_{fuel} koji su linearno zavisni od srednje snage sa kojom generator radi tokom restauracije P_{res}:

$$C_i = C_{inst} + P_{res} \cdot c_{fuel} \tag{3}$$

A.3. Bezbednost i sigurnost pri rukovanju

Ovaj kriterijum definisan je brojčanim ocenama od 1 do 5, a odnosi se na bezbednost zaposlenih, ali i pristupačnost i sigurnost za okolinu.

B. Definisanje alternativa

Razmatraju se one TS (čvorovi) u kojima je uopšte moguće i postaviti dizel agregat.

C. Poređenje alternativa

Poređenje alternativa u ovom radu vrši se putem dve višekriterijumske metodologije: TOPSIS i SMART.

4. ILUSTRACIJA METODOLOGIJE

Metodologija koja je opisana primeniće se na realan nadzemni vod SN koji se nalazi na teritoriji ED Leskovac. Na vodu su priključene 15 TS SN/NN koje su na slici označene kružićima. Osim prve deonice, trasa ovog voda prolazi kroz planinsko područje na teško pristupačnom terenu. Vod se napaja preko TS SN/SN koja je označena kvadratom. Instalisane snage TS i broj priključenih korisnika dati su u tabeli 5.

Tabela 5 – Instalisane snage TS i broj priključenih korisnika

TS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Snaga [kVA]	160	100	100	100	50	100	50	30	50	100	100	50	100	100	50
Broj korisnika	65	40	13	51	18	22	19	1	36	19	18	24	51	41	47

Dužine deonica i presek provodnika po deonicama su dati u tabeli 6. Stubovi su betonski, osim na delu trase na kojoj je presek 25 mm^2 gde su drveni. Za intenzitet otkaza usvojena je vrednost od λ =10 otkaza/100 km voda godišnje [10].

Tabela 6 – Dužine deonica dalekovoda

Deonica	**Dužina [m]**	**Presek provodnika [mm^2]**
TS – 1	2700	50
1 – 2	2610	25
2 – 3	2700	25
3 – 4	2410	25
4 – 5	1600	50
5 – 6	1200	50
6 – 7	3450	50
7 – 8	700	50
8 – 9	1150	50
2 – 10	1230	35
7 – 11	2500	50
1 – 12	1900	35
12 – 13	1600	35
13 – 14	2000	35
12 – 15	860	35

Nakon olujnog nevremena praćenog olujnim vetrom i ledenom kišom, da predmetnom nadzemnom vodu došlo je do ozbiljnih havarija. Havarije su se ogledale kidanjem provodnika, ali i obaranjem kako drvenih tako i betonskih stubova. Zbog ozbiljnih oštećenja, dalekovod nije bilo moguće vratiti u pogon u razumnom roku i time nastaviti isporuku električne energije krajnjim korisnicima. Ovo je iz razloga što je bilo neophodno dosta vremena za sanaciju havarija, dosta elektromonterskih ekipa koje bi te kvarove otklonile, ali i loših vremenskih uslova koje su dodatno otežavale pristup trasi.

Navedeni razlozi su uticali da se donese odluka i snabdevanje električnom energijom krajnjih korisnika reši postavljanjem dizel generatora priključenih na niskonaponske sabirnice u pojedinim TS SN/NN. Time su formirane mikromreže za pojedinačni trafo reon ili za grupu trafo reona. Osim primarnog cilja da se normalizuje snabdevanje električnom energijom restauracijom potrebne snage, dodatni kriterijumi bili su da se obezbedi napon u propisanim granicama, postigne sigurnost (stabilnost) u napajanju, smanje troškovi montaže dizel generatora i naravno smanje troškovi pogonskog goriva za generatore.

Pošto je dalekovod bio oštećen na deonicama 2 – 3, 3 – 4, 4 – 5, 5 – 6 i 6 – 7, na TS pod brojem 4, 5 i 6 su priključeni dizel generatori snage 50 kVA koji su formirali mikromreže na ovim trafo reonima. Imajući u vidu da je dalekovod pri svom kraju bio ispravan, na TS pod brojem 7 priključen je dizel generator snage 160 kVA koji je formirao mikromrežu za trafo reone 7, 8, 9 i 11. Na TS pod brojem 3 nije priključivan dizel generator, već se deonica 2 – 3 popravljala i zatim priključila na ispravan deo distributivnog sistema.

Na slici 1 su punim oznakama obeležene tačke u kojima se injektirala električna energija (kvadratom iz distributivnog sistema, a kružićima iz dizel generatora). Ukupna instalisana snaga razmatranog voda 10 kV iznosi 1240 kVA, dok je ukupan broj priključenih korisnika 465. Imajući u vidu da se radi o retko naseljenom ruralnom području sa malim brojem aktivnih potrošača, realan faktor jednovremenosti opterećenja u čvorovima je veoma mali. Time je zadovoljen prvi uslov (1) za postavljanje raspoloživih dizel generatora.

U tabeli 7 prikazani su ulazni podaci za višekriterijumsku optimizaciju, dok su u tabelama 8 i 9 dati rezultati proste aditivne metodologije i rezultati TOPSIS metodologije, respektivno. Vrednosti težinskih faktora po kriterijumima $w_{A.1} = 0{,}5$, $w_{A.2} = 0{,}2$ i $w_{A.3} = 0{,}3$ su zadržani isti za obe metodologije.

Tabela 7 – Ulazni podaci za višekriterijumsku optimizaciju

Alternativa	Snaga [kW]	Troškovi [€]	Bezbednost
Čvor 4	810	5200	2
Čvor 5	871	3400	2
Čvor 6	911	3200	4
Čvor 7	990	2300	3

Tabela 8 – Rezultati SMART metodologije

Alternativa	Aggregated Score	Snaga	Troškovi	Bezbednost
Čvor 4	29	2,5	19	7.5
Čvor 5	50,55	17,75	17,8	15
Čvor 6	55,25	27,75	5	22,5
Čvor 7	66,5	47,5	4	15

Tabela 9 – Rezultati TOPSIS metodologije

Alternativa	TOPSIS Score	Distance to Ideal	Distance to Nadir	Snaga	Troškovi	Bezbednost
Čvor 4	0,259119	0,109478	0,038289	0,451062	0,395657	0,324443
Čvor 5	0,514325	0,058955	0,062432	0,485031	0,410972	0,486664
Čvor 6	0,707182	0,041964	0,101346	0,507305	0,57434	0,648886
Čvor 7	0,530108	0,061923	0,069859	0,551298	0,587104	0,486664

Vidljivo je da obe metode daju znatnu prednost postavljanju dizel generatora u čvor 7.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu korišćena je višekriterijumska optimizacija za raspodelu dizel generatora u 10 kV mreži za slučaj kada je potrebno formirati mikromrežu i ostrvski napajati područje pogođeno kvarovima. Na osnovu nekoliko kriterijuma (restaurirana snaga, troškovi, sigurnost) odabrana je optimalna lokacija ugradnje dizel generatora za slučaj većih kvarova nadzemnih mreža. Metodologija je ilustrovana na realnom 10 kV dalekovodu u području ED Leskovac. Pokazano je da su u prednosti za postavljanje lokacije preko kojih se napaja više transformatorskih stanica u odnosu na one sa samo jednom. Razlog za to su manji startni troškovi ugradnje dizel generatora, manji zbirni troškova goriva, ali je mikromreža veća sa manjom verovatnoćom da je u potpunosti ispravna i imuna od kratkih spojeva.

LITERATURA

[1] J. Marqusee, S. Ericson, and D. Jenket, “Emergency Diesel Generator Reliability and Installation Energy Security”, *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, Golden, 2020, doi: 10.2172/1659892.

[2] A. Prawitasari, V. Nurliyanti, D. M. P. Utami, E. Nurdiana, K. Akhmad, P. Aji, S. Syafei, Ifanda, and I. G. Mulyana, “A systematic decision-making approach to optimizing microgrid energy sources in rural areas through diesel generator operation and techno-economic analysis: A case study of Baron Technopark in Indonesia”, *International Journal of Renewable Energy Development*, Vol. 13, Issue No. 2, pp. 315-328, 2024, doi: 10.61435/ijred.2024.59560.

[3] N. Harikannan, V. Jeyakumar, M. Nachiappan, “Decision Making Model for Supplier Evaluation and Selection Using MCDM Methods”, *Bonfring International Journal of*

Industrial Engineering and Management Science, Vol. 4, No. 2, pp. 76–82, 2014, doi: 10.9756/BIJIEMS.10303.

[4] A. J. Roscoe, C. Bright, S. J. Galloway, and G. Burt, "Increasing Security of Supply by the use of a Local Power Controller during Large System Disturbances", *2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies*, pp. 1–7, 2011, doi: 10.1109/ISGTEUROPE.2011.6162785.

[5] A. P. Agalgaonkar, S. V. Kulkarni, and S. A. Khaparde, "Multi-attribute decision making approach for strategic planning of DGs", *IEEE General Meeting Power & Energy Society*, pp. 2985–2990, 2005, doi: 10.1109/PES.2005.1489531.

[6] R. Kizito, X. Li, K. Sun, and S. Li, "Optimal Distributed Generator Placement in Utility-Based Microgrids During a Large-Scale Grid Disturbance", *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 21333–21344, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2968871.

[7] M. Karimi, R. Azizipanah-Abarghooee, H. J. Uppal, Q. Hong, C. Booth, and V. Terzija, "Smart Integrated Adaptive Centralized Controller for Islanded Microgrids under Minimized Load Shedding", *5th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress and Fair (ICSG)*, pp. 41–45, 2017, doi: 10.1109/SGCF.2017.7947633.

[8] S. Avikal, R. Singhal, R. Sajwan, R. K. Tiwari, and R. Singh, "Selection of Best Power Supply Source for Telecom Towers in Remote Areas", *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, Vol. 5, No. 5, pp. 913–925, 2020, doi: 10.33889/IJMEMS.2020.5.5.070.

[9] H. Lee *et al.*, "A Case Study on Increasing Microgrid Resiliency Using Reserve Power Procurement Method", 2018, doi: 10.20944/PREPRINTS201809.0531.V1.

[10] R. Brown, Electric Power Distribution Reliability, CRC Press, 2009