

УДК 621.39

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-106-11>**КРИТЕРІЇ ВИБОРУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ДЛЯ МІКРОМЕРЕЖ****Литвин Володимир Володимирович,**

аспірант, асистент кафедри електропривода

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

ORCID ID: 0000-0002-6928-334X

Мета – дослідження наявних сучасних наукових публікацій, що стосуються критеріїв вибору відновлюваних джерел генерації для мікромереж.

Методи. Методологія огляду включала систематичний аналіз наявної літератури щодо критеріїв вибору відновлюваних джерел енергії для мікромереж. Було проведено комплексний пошук в академічних базах даних, включаючи IEEE Xplore, ScienceDirect та Google Scholar, для виявлення відповідних досліджень, опублікованих між 2000 та 2023 роками. Критерії включення були зосереджені на рецензованих статтях, доповідях на конференціях та технічних звітах, в яких розглядалися ключові фактори, що впливають на вибір джерел відновлюваної генерації для мікромереж, як-от економічна життєздатність, вплив на навколишнє середовище, надійність та інтеграція з мережею.

Щоб забезпечити збалансоване представлення різних поглядів, пошук включав дослідження з різних географічних регіонів і секторів, таких як житлові, комерційні та промислові мікромережі. Публікації було відфільтровано на основі релевантності для конкретних застосувань мікромереж.

Результати. Огляд виявив значну наукову прогалину в сучасній літературі щодо вибору джерел відновлюваної енергії для мікромереж, особливо в контексті України. Незважаючи на те, що існує велика кількість досліджень щодо загальних критеріїв вибору відновлюваних джерел енергії та проектування мікромереж, помітно бракує досліджень, які стосуються унікальних викликів та можливостей, що виникають в українському регіоні. Ці виклики ускладнюються війною, що триває, очікуваними потребами післявоєнної відбудови, де енергетична інфраструктура відіграватиме вирішальну роль.

Новизна. Подальший розвиток отримали критерії вибору відновлюваних джерел генерації для мікромереж шляхом вивчення новітніх досліджень та публікацій з теми.

Цінність. Результати демонструють необхідність детального дослідження та формування критеріїв вибору відновлюваних джерел генерації для мікромереж з урахуванням регіональних особливостей та безпекової ситуації на території України.

Ключові слова: місцевість, навантаження, тип ВДЕ, економічна ефективність, система керування, безпекова (політична ситуація).

Lytvyn Volodymyr. Criteria for selecting renewable generation sources for microgrids

Purpose. Research of existing modern scientific publications related to the criteria for selecting renewable generation sources for microgrids.

Methods. The methodology of this review included a systematic analysis of the existing literature on renewable energy selection criteria for microgrids. A comprehensive search of academic databases, including IEEE Xplore, ScienceDirect, and Google Scholar, was conducted to identify relevant studies published between 2000 and 2023. The inclusion criteria focused on peer-reviewed articles, conference papers, and technical reports that addressed key factors influencing the selection of renewable generation sources for microgrids, such as economic viability, environmental impact, reliability, and grid integration.

To ensure a balanced representation of different perspectives, the search included studies from different geographical regions and sectors, such as residential, commercial, and industrial microgrids. Publications were filtered based on relevance to specific microgrid applications.

Results. The review revealed a significant research gap in the current literature on the selection of renewable energy sources for microgrids, especially in the context of Ukraine. While there is a large amount of research on general criteria for renewable energy selection and microgrid design, there is a noticeable lack of research that addresses the unique challenges and opportunities that arise in the Ukrainian region. These challenges are exacerbated by the ongoing war and the anticipated needs of post-war reconstruction, where energy infrastructure will play a critical role.

Originality. The criteria for selecting renewable generation sources for microgrids were further developed by studying the latest research and publications on the topic.

Practicality. The results demonstrate the need for a detailed study and formation of criteria for the selection of renewable generation sources for microgrids, taking into account regional characteristics and the security situation in Ukraine.

Key words: terrain, load, type of RES, economic efficiency, control system, security (political situation).

Актуальність. Відновлювальні джерела електроенергії – альтернатива класичній генерації електроенергії, яка в основному базується на викопних видах палива. Виснаження запасів, боротьба із забрудненням повітря, бажання зекономити стають причиною впровадження відновлюваних джерел живлення. Джерела генерації електроенергії дозволяють забезпечувати потреби будівель, промислових об'єктів, громадських установ, а також забезпечення віддалених районів електроенергією. Такі автономні мережі називаються мікромережею (рис. 1) і можуть бути побудовані на основі різних джерел енергії, як-от сонячні панелі, вітряні турбіни, дизель-генератори та ін. [1].

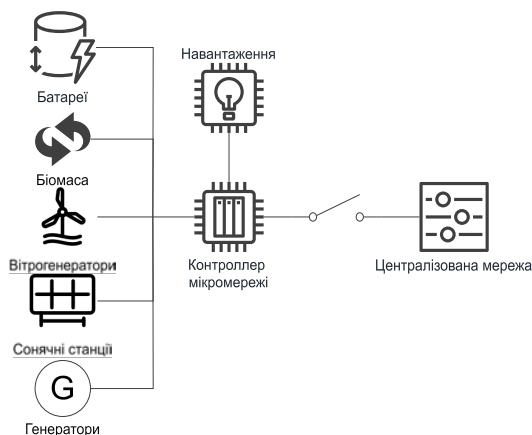


Рис. 1. Типова будова мікромережі

Мікромережі набувають усе більше популярності у світі, зокрема в розвинених країнах. Так, наприклад Берегова охорона США розгорнула мікромережу для навчального центру, в яку інтегровано СЕС і акумуляторну систему зберігання енергії [2]. Відновлювальну електромережу розгортає одна з каліфорнійських компаній з виробництва канабісу. Вона включає СЕС та акумуляторні батареї з удосконаленими системами управління та контролю навантаження. Такі проекти здатні забезпечувати економію у 12,5 мільйонів доларів чистої економії протягом найближчих 20 років [2].

Структура мікромережі може варіюватися залежно від вимог, які висувають на тому чи іншому об'єкті, місцевості або клімату.

Мета роботи. Незважаючи на те, що було проведено значні дослідження систем відновлюваної енергетики та мікромереж незалежно один від одного, інтеграція обох сфер, зосереджена на оптимізації джерел генерації відновлюваної енергії для мікромереж, залишається недостатньо вивченою. Цей огляд має на меті заповнити цю прогалину шляхом аналізу та

класифікації найбільш важливих технічних, економічних, екологічних та соціальних критеріїв, які впливають на процес прийняття рішень щодо вибору відповідних джерел відновлюваної енергії в конфігураціях мікромереж.

Виклад основного матеріалу. Мікромережі використовують відновлювальні джерела електроенергії для надання автономності об'єкту, який вони живлять. Найбільш розповсюджена комбінація для мікромереж – використання СЕС та ВЕС [3]. Завдяки загальним тенденціям відновлювальної енергетики фотоелектричні панелі та вітрові турбіни широко розповсюджені та доступні для більшості населення та підприємств. Загалом, відновлювальні джерела показують високу ефективність у генерації електроенергії [3; 4]. Обидва найпопулярніші джерела ВДЕ мають свої переваги та недоліки, але все одно залишаються ефективними.

Не менш цікавим видом джерел у відновлювальній енергії є застосування біомаси [5]. Так, наприклад ущільнена тверда біомаса для виробництва енергії зазнала значного зростання за останнє десятиліття, з потенціалом зростання на 56% між 2010 і 2040 роками, що спричинено екологічними проблемами, геополітичною нестабільністю та перевагами для споживачів [6]. У 2021 році біомаса забезпечувала 5% енергоспоживання США та експортувала більше енергії біомаси, ніж отримувала в імпорті [3; 7].

Мікромережі стають невід'ємною частиною глобальної електронезалежності держав. Залежно від континенту причини впровадження можуть суттєво відрізнятися одна від одної. Так, наприклад, в Азії впровадження автономної мікромережі зумовлено віддаленістю та труднодоступністю населених пунктів у горах або на островах [8; 9; 10]. В Європі, яка є дуже розвиненим континентом, причини впровадження можуть бути іншими, а саме: ЄС має на меті досягти кліматичної нейтральності до 2050 року, що вимагатиме нульового чистого викиду парникових газів європейськими країнами [11]. Також серед причин є можливість продажу електроенергії в загальну мережу для отримання прибутку. У 2019 році Сполучене Королівство зазнало руйнівного відключення електроенергії, що призвело до знеструмлення сотень тисяч будинків через вихід з ладу двох електростанцій [11; 12]. Як наслідок, було зроблено акцент на дослідженні переваг мікромереж для надійного та гнучкого енергопостачання.

Африка, Південна Америка та Австралія змагаються за третє місце за кількістю досліджень мікромереж. Варто зазначити, що хоча

континент Австралія представлений лише двічі, це єдина країна, яка має більше однієї наукової публікації щодо мікромереж. Це може бути пов'язано не тільки з тим, що Австралія є одночасно і континентом, і країною, але й з тим, що вона має найменшу чисельність населення серед усіх континентів [13; 14]. Однак дослідження мікромереж в Австралії знаходяться на підйомі. У федеральному бюджеті на 2020–2021 роки було оголошено про створення Регіональної австралійської пілотної програми мікромереж вартістю \$50 млн для покращення їх розвитку [15; 16]. Уряд Австралії також переймається питаннями доступу до електроенергії у віддалених громадах і підтримання надійної інфраструктури під час стихійних лих.

Південна Америка також має ринок мікромереж, що швидко зростає. У дослідницькому звіті, опублікованому Triton Market Research, прогнозується, що середньорічний темп зростання латиноамериканського ринку мікромереж буде становити 10,61% у 2022–2028 роках [17]. Близький Схід і Африка йдуть слідом за Південною Америкою з прогнозованим середньорічним темпом зростання на рівні 10,56% [18]. Громади в усьому світі будуть менше залежати від комунальних мереж і витратити менше коштів на них, а також звертатимуться до використання мікромереж як кращої альтернативи.

Ринок мікромереж Північної Америки прогнозує зростання на 13,5% до 2023 року, оскільки інвестиції в мікромережі досягли \$6,4 млрд [19]. У США колапс електромережі в Техасі у 2021 році посилив потребу у впровадженні мікромереж, коли суворий зимовий шторм залишив понад 2,5 мільйона людей без доступу до електроенергії та тепла, що призвело до 20 смертей. Подальший вихід з ладу електростанцій призвів до широкомасштабної відмови всієї системи, що є однією з причин подальших високих інвестицій у мікромережі [20]. Стратегія Програми мікромереж Міністерства енергетики США була прийнята як перший крок на шляху до покращення рівня розвитку мікромереж до 2035 року [21; 22]. Натепер дослідженню мікромереж в усьому світі приділяється особлива увага у зв'язку з майбутніми наслідками зміни клімату та їх впливом на енергетику в громадах.

Аналізуючи актуальні статті [23; 24], можна дійти висновку, що вибір відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для мікромереж передбачає комплексну оцінку різних факторів для забезпечення надійного, ефективного та сталого енергопостачання. Згідно з науковими статтями, процес вибору зазвичай передбачає багатокритеріальний підхід до прийняття рішень, ураховуючи такі фактори, як:

Технічна можливість:

- наявність та потенціал ресурсів (наприклад, сонячне випромінювання, швидкість вітру) [24];

- рівень технологічного розвитку;
- інтеграція системи в глобальну електромережу країни;

- вибір системи інтелектуального керування мікромережею;

Економічна життєздатність [24]:

- вартість виробництва та обслуговування енергії;

- інвестиційні та експлуатаційні витрати;

- потенційні потоки доходів та стимули;

Вплив на навколишнє середовище [24; 25]:

- скорочення викидів парникових газів;

- зменшення забруднення повітря та води;

- землекористування та збереження оселищ.

Також для вибору відновлювального джерела живлення для мікромережі застосовуються різні методики.

У дослідженні [26] обговорюється новий метод оцінювання та вибору відновлюваних джерел енергії для мікромереж, який ураховує складність реальних сценаріїв, де показники ефективності взаємодіють і змінюються. Він представляє метод Bi-ELECTRE – багатокритеріальний підхід до прийняття рішень на основі двох потужностей, який ураховує як позитивні, так і негативні значення показників ефективності. Автори демонструють цей метод на прикладі емпіричного дослідження проекту мікромережі в Сукіані (Китай), показуючи, що комбінації декількох відновлюваних джерел перевершують окремі джерела і що оптимальне поєднання залежить від місцевих ресурсів. Дослідження має на меті надати цінну інформацію для осіб, які приймають рішення щодо планування та впровадження сталих мікромереж.

Методика Customer Adoption Model (DER-CAM) була запропонована в роботі [27] для оптимізації технічних та економічних аспектів планування та проектування гібридних систем відновлюваної енергетики для мікромереж. Крім того, математичні та оптимізаційні алгоритми використовуються для визначення оптимальної енергетичної конфігурації, щоб допомогти в плануванні та проектуванні мікромереж на основі відновлюваних джерел енергії та представляти надійну модель реальних систем. Тому для визначення оптимальної архітектури, структури, розміру та стратегії управління гібридної мікромережі необхідний інструмент оптимізації, здатний перевіряти різні багаточільові сценарії та аналізувати різні динамічні потреби в енергії.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Геополітичні наслідки та потенціал відновлюваної енергетики для посилення енергетичної незалежності України від іноземних джерел, особливо в післявоєнному контексті, вивчені недостатньо. Цей огляд підкреслює

необхідність подальших досліджень для розроблення інструментів, адаптованих до енергетичного ландшафту України, що змінюється, з акцентом на післявоєнній стійкості, економічному відновленні та національній безпеці за допомогою мікромереж відновлюваної енергетики.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Kiehadrouinezhad M.A., Merabet A., Abo-Khalil A.G., Salameh T., Ghenai, C. Intelligent and Optimized Microgrids for Future Supply Power from Renewable Energy Resources: A Review. *Energies*. 2022.
2. ЕКОПРО. Мікромережі та системи накопичення заощаджують витрати підприємств. URL: <https://energystorage.com.ua/novosti/mikroseti-i-sistemy-nakopleniya-ekonomyat-zatraty-predpriyatij/>
3. Medeiros, Izzy. A Literature Analysis of Microgrid Optimization Studies, 2023. Honors Theses and Capstones. 725.
4. Rodríguez-Lozano, Gloria Isabel and Michael Cifuentes-Yate. Efficiency assessment of electricity generation from renewable and non-renewable energy sources using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Energy Research*. 2021. 45 : 19597–19610.
5. Tursi, Antonio. A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal*. 2019.
6. Bajwa, Dilpreet S. et al. A review of densified solid biomass for energy production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018: n. pag.
7. Houghton R.A., Biomass, Editor(s): Sven Erik Jørgensen, Brian D. Fath. *Encyclopedia of Ecology*. Academic Press, 2008. P. 448–453. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00462-6>
8. Zhou, Xiaoping et al. Deep Reinforcement Learning for Microgrid Operation Optimization: A Review. 2023. 8th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE) 2023: 2059–2065.
9. Guo, Yixin et al. Affine-Model Predictive Control based Optimal Dispatch of Multi-energy Microgrid. 2023 8th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE) 2023: 523–527.
10. Yu, Qin-ye et al. Deep Reinforcement Learning Based Double-layer Optimization Method for Energy Management of Microgrid. 2023 5th Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES). 2023: 1016–1022.
11. Hende, Katelijjn van and Carmen Wouters. *The Regulation of Microgrids in Liberalized Electricity Markets in the EU and East Asia*. 2014.
12. Europe Microgrid Market Forecast 2022–2030. Inkwood Research. URL: <https://inkwoodresearch.com/reports/europe-microgrid-market/>
13. National Geographic. “Continent.”. URL: <https://education.nationalgeographic.org/resource/Continent/>
14. Wood, Gavin A. et al. Australian Demographic Trends and Implications for Housing Assistance Programs. ERN: Urban Economics & Public Policy (Topic) 2017: n. pag.
15. Australian Government. 450 million to ramp up microgrids in regional Australia. Australian Renewable Energy Agency. URL: <https://arena.gov.au/news/50-million-to-ramp-up-microgrids-in-regional-australia/>
16. Nutkani, Inam Ullah et al. Enhanced Supply Reliability with Community Microgrids in Australia – Economic Perspective. 2023 IEEE International Conference on Energy Technologies for Future Grids (ETFG) 2023: 1–6.
17. Triton Market Research. Latin America Microgrid Market 2022-2028. Market Research.com. URL: <https://www.marketresearch.com/Triton-Market-Research-v4232/Latin-America-Microgrid-32339072/>
18. Triton Market Research. Middle East and Africa Microgrid Market 2022–2028. Research and Markets. URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5663737/middle-east-and-africa-microgrid-market-2022-2028>.
19. Gupta A. North America Microgrid Market – By Connectivity (Grid Connected, Off Grid), By Grid (AC Microgrid, DC Microgrid, Hybrid), By Power Source (Diesel Generators, Natural Gas, Solar PV, CHP), By Storage Device, Application & Forecast, 2022–2030. Global Market Insights.
20. Sanchez L. Texas Energy Crisis Strengthens Case for Microgrids. Homer Microgrid News. URL: <https://microgridnews.com/texas-energy-crisis-strengthens-case-for-microgrids/>
21. Hosseinpour, Hadi et al. Large-signal Stability Analysis of Inverter-based Microgrids via Sum of Squares Technique. 2023. IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC) 2023: 1–6.
22. Grid Systems. Office of Electricity. <https://www.energy.gov/oe/grid-systems>
23. Zhang L., Wang F., Xu Y., Yeh C.-H. and Zhou P. Evaluating and Selecting Renewable Energy Sources for a Microgrid: A Bi-Capacity-Based Multi-Criteria Decision Making Approach, in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 12, no. 2, pp. 921–931, March 2021. doi: 10.1109/TSG.2020.3024553.

24. Vinothine S, Widanagama Arachchige L.N, Rajapakse A.D, Kaluthanthrige R. Microgrid Energy Management and Methods for Managing Forecast Uncertainties. *Energies*. 2022; 15(22):8525. <https://doi.org/10.3390/en15228525>
25. Adam Hirsch, Yael Parag, Josep Guerrero. Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, № 90, 2018, Pages 402–411, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>.
26. Zhang, Ling et al. Evaluating and Selecting Renewable Energy Sources for a Microgrid: A Bi-Capacity-Based Multi-Criteria Decision Making Approach. *IEEE Transactions on Smart Grid* 12 (2021): 921–931.
27. Jaesung Jung and Villaran Michael. Optimal planning and design of hybrid renewable energy systems for microgrids. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 75 (2017): 180–191.

REFERENCES:

1. Kiehadrouinezhad, M.A., Merabet, A., Abo-Khalil, A.G., Salameh, T., & Ghenai, C. (2022). Intelligent and Optimized Microgrids for Future Supply Power from Renewable Energy Resources: A Review. *Energies*.
2. EKOPRO. Mikromerezhi ta systemy nakopychennya zaoshchadzuyut' vytraty pidpnyemstv. [Microgrids and storage systems save businesses costs] Retrieved from <https://energystorage.com.ua/novosti/mikroseti-i-sistemy-nakopleniya-ekonomyat-zatraty-predpriyatij/>
3. Medeiros, Izzy, (2023). "A Literature Analysis of Microgrid Optimization Studies" Honors Theses and Capstones. 725.
4. Rodríguez-Lozano, Gloria Isabel & Michael Cifuentes-Yate. (2021). "Efficiency assessment of electricity generation from renewable and non-renewable energy sources using Data Envelopment Analysis". *International Journal of Energy Research* 45: 19597–19610.
5. Tursi, Antonio. (2019). "A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion". *Biofuel Research Journal*: n. pag.
6. Bajwa, Dilpreet S. et al. (2018). "A review of densified solid biomass for energy production". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*: n. pag.
7. Houghton R.A., Biomass, Editor(s): Sven Erik Jørgensen, Brian D. Fath, *Encyclopedia of Ecology*, Academic Press, 2008, Pages 448–453, ISBN 9780080454054, <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00462-6>.
8. Zhou, Xiaoping et al. (2023). "Deep Reinforcement Learning for Microgrid Operation Optimization: A Review". *8th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE) (2023)*: 2059–2065.
9. Guo, Yixin et al. (2023). "Affine-Model Predictive Control based Optimal Dispatch of Multi-energy Microgrid". *8th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE)* : 523–527.
10. Yu, Qin-ye et al. (2023). "Deep Reinforcement Learning Based Double-layer Optimization Method for Energy Management of Microgrid". *2023 5th Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES)*: 1016–1022.
11. Hende, Katelijn van and Carmen Wouters (2014). "The Regulation of Microgrids in Liberalized Electricity Markets in the EU and East Asia."
12. "Europe Microgrid Market Forecast 2022–2030." Inkwood Research. Retrieved from <https://inkwoodresearch.com/reports/europe-microgrid-market/>
13. National Geographic. "Continent.". Retrieved from <https://education.nationalgeographic.org/resource/Continent/>
14. Wood, Gavin A. et al. (2017). "Australian Demographic Trends and Implications for Housing Assistance Programs". ERN: Urban Economics & Public Policy (Topic): n. pag.
15. Australian Government. "450 million to ramp up microgrids in regional Australia". Australian Renewable Energy Agency. <https://arena.gov.au/news/50-million-to-ramp-up-microgrids-in-regional-australia/>
16. Nutkani, Inam Ullah et al. (2023). "Enhanced Supply Reliability with Community Microgrids in Australia – Economic Perspective". *IEEE International Conference on Energy Technologies for Future Grids (ETFG)*: 1–6.
17. Triton Market Research. "Latin America Microgrid Market 2022–2028". Market Research.com. Retrieved from <https://www.marketresearch.com/Triton-Market-Research-v4232/Latin-America-Microgrid-32339072/>
18. Triton Marker Research. "Middle East and Africa Microgrid Market 2022–2028". Research and Markets. Retrieved from <https://www.researchandmarkets.com/reports/5663737/middle-east-and-africa-microgrid-market-2022-2028>.
19. Gupta, A. "North America Microgrid Market – By Connectivity (Grid Connected, Off Grid), By Grid (AC Microgrid, DC Microgrid, Hybrid), By Power Source (Diesel Generators, Natural Gas, Solar PV, CHP), By Storage Device, Application & Forecast, 2022–2030." *Global Market Insights*.
20. Sanchez L. "Texas Energy Crisis Strengthens Case for Microgrids". *Homer Microgrid News*. Retrieved from <https://microgridnews.com/texas-energy-crisis-strengthens-case-for-microgrids/>

21. Hosseinpour, Hadi et al. (2023). "Large-signal Stability Analysis of Inverter-based Microgrids via Sum of Squares Technique". 2023 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC): 1–6.
22. "Grid Systems." Office of Electricity. <https://www.energy.gov/oe/grid-systems>
23. Zhang, L. F. Wang, Y. Xu, C. -H. Yeh & P. Zhou (2021). "Evaluating and Selecting Renewable Energy Sources for a Microgrid: A Bi-Capacity-Based Multi-Criteria Decision Making Approach", in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 12, no. 2, pp. 921–931, March, doi: 10.1109/TSG.2020.3024553.
24. Vinothine, S., Widanagama, Arachchige, LN., Rajapakse, AD., Kaluthantrige, R. (2022). Microgrid Energy Management and Methods for Managing Forecast Uncertainties. *Energies.*; 15(22): 8525. <https://doi.org/10.3390/en15228525>
25. Adam, Hirsch, Yael, Parag, & Josep, Guerrero (2018). Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 90, Pages 402–411, ISSN 1364–0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.040>.
26. Zhang, Ling et al. (2021). "Evaluating and Selecting Renewable Energy Sources for a Microgrid: A Bi-Capacity-Based Multi-Criteria Decision Making Approach". *IEEE Transactions on Smart Grid* 12: 921–931.
27. Jung, Jaesung & Michael, Villaran. (2017). "Optimal planning and design of hybrid renewable energy systems for microgrids". *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 75: 180–191.