

ABSTRACT AND REFERENCES

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298202

A COMPARATIVE ANALYSIS OF GAS-COOLED FAST REACTOR USING HETEROGENEOUS CORE CONFIGURATIONS WITH THREE AND FIVE FUEL VARIATIONS (p. 6–17)

Fajri Prasetya

University of Jember, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1760-4474>

Ratna Dewi Syarifah

University of Jember, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9110-2093>

Iklimatul Karomah

University of Jember, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0118-9044>

Indarta Kuncoro Aji

PT. Kakiatna Indonesia and Phylion Battery Co. Ltd,
South Jakarta Selatan, IndonesiaORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6936-9178>

Nuri Trianti

National Research and Innovation Agency, Jakarta, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6518-534X>

GFR or Gas-cooled Fast Reactor is one type of fast generation-IV that uses a very high cooling temperature. Thus, it is necessary to have the right reactor core design so that the power distribution of neutrons produced reaches a safe and even limit point. The use of a uniform (homogeneous) reactor core can produce peaking power. This is very avoidable because it will cause a reactor accident. In this study, researchers tried to compare the results of the analysis for two heterogeneous reactor core designs including the configuration of 3 fuel variations and 5 fuel variations using UN-PuN fuel. This study aims to determine the k_{eff} value produced by both types of fuel variations during 5 years of burn-up and determine the characteristics of neutron flux, fission rate, and fission product during 15 years of burn-up. This study was started by calculating the homogeneous and heterogeneous core of 3 and 5 fuel variations with neutron transport simulation involving OpenMC. The calculation results show that the heterogeneous core configuration of 5 fuel variations for the k_{eff} value is more optimal than 3 fuel variations, because it has the smallest excess reactivity value. The neutron flux and fission rate characteristics for 5 fuel variations are more evenly distributed when compared to 3 fuel variations to maintain neutron lifetime and reactor life in operation. Burn-up residual plutonium material and minor actinide waste for 5 fuel variations have less mass than 3 fuel variations. The results of neutronic analysis of GFR reactors with heterogeneous reactor core designs for 5 fuel variations are better in terms of reactor criticality, neutron power distribution, and waste produced. Finally, optimization of the UN-PuN fuel volume fraction of 60 % provides the optimal k_{eff} value.

Keywords: comparative, fuel variations, Gas-cooled Fast Reactor, heterogeneous, k_{eff} , reactor core.

References

1. Syarifah, R. D., Sari, A. K., Arkundato, A., Irwanto, D., Su'ud, Z. (2022). Neutronics analysis of UN-PuN fuel for 300MW pressurized water reactor using SRAC-COREBN code. EUREKA: Physics and Engineering, 6, 12–23. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002247>
2. Outlook Energi Indonesia 2021. Available at: <https://www.slideshare.net/GbpGugun/bppt-outlook-energi-indonesia-2021pdf-260770253>
3. Technology Roadmap Update for Generation IV Nuclear Energy Systems (2014). Gen IV International Forum. Available at: <https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2014-03/gif-tru2014.pdf>
4. Goldberg, S. M., Rosner, R. (2011). Nuclear Reactors: Generation to Generation. American Academy of Arts and Sciences. Available at: <https://www.amacad.org/sites/default/files/academy/pdfs/nuclearReactors.pdf>
5. Syarifah, R. D., Su'ud, Z., Basar, K., Irwanto, D., Pattipawaej, S. C., Ilham, M. (2017). WITHDRAWN: Comparison of uranium plutonium nitride (Usingle bondPusingle bondN) and thorium nitride (Thsingle bondN) fuel for 500 MWth Gas Cooled Fast Reactor (GFR) longlife without refueling. International Journal of Hydrogen Energy. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.183>
6. DOE Fundamentals Handbook Nuclear Physics and Reactor Theory. Volume 2 of 2 (1993). Department of Energy Washington DC. Available at: <http://large.stanford.edu/courses/2014/ph241/alnoaimi2/docs/Nuclear-Volume2.pdf>
7. Lestari, M. A., Fitriyani, D. (2014). Pengaruh Bahan Bakar UN-PuN, UC-PuC dan MOX terhadap Nilai Breeding Ratio pada Reaktor Pembiak Cepat. Jurnal Fisika Unand, 3 (1), 14–19. Available at: <http://jfu.fmipa.unand.ac.id/index.php/jfu/article/view/60>
8. Stainsby, R., Peers, K., Mitchell, C., Poette, C., Mikityuk, K., Somers, J. (2011). Gas cooled fast reactor research in Europe. Nuclear Engineering and Design, 241 (9), 3481–3489. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2011.08.005>
9. Dumaz, P., Allègre, P., Bassi, C., Cadiou, T., Conti, A., Garnier, J. C. et al. (2007). Gas-cooled fast reactors – Status of CEA preliminary design studies. Nuclear Engineering and Design, 237 (15-17), 1618–1627. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2007.03.018>
10. Rafliis, H., Ilham, M., Su'ud, Z., Waris, A., Irwanto, D. (2021). Core Configuration Analysis for Modular Gas-cooled Fast Reactor (GFR) using OpenMC. Journal of Physics: Conference Series, 2072 (1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2072/1/012007>
11. Syarifah, R. D., Yulianto, Y., Su'ud, Z., Basar, K., Irwanto, D. (2017). Neutronic Analysis of Thorium Nitride (Th, U²³³)N Fuel for 500MWth Gas Cooled Fast Reactor (GFR) Long Life without Refueling. Key Engineering Materials, 733, 47–50. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.733.47>
12. Ilham, M., Rafliis, H., Suud, Z. (2021). Fuel Assembly Design Study for Modular Gas Cooled Fast Reactor using Monte Carlo Parallelization Method. Journal of Physics: Conference Series, 1772, 012025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1772/1/012025>
13. Syarifah, R. D., Su'ud, Z., Basar, K., Irwanto, D. (2018). Neutronic Analysis of UN-PuN Fuel use FI-ITB-CHI Code for 500MWth GFR

- Long Life Without Refueling. *Journal of Physics: Conference Series*, 1090, 012033. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1090/1/012033>
14. Syarifah, R. D., Aula, M. H., Arkundato, A., Nugroho, A. T. (2023). Design Study of 300 MWth GFR with UN-PuN Fuel using SRAC-COREBN Code. *ARPJ, Journal of Engineering and Applied Science*, 18 (4), 264–270. Available at: https://repository.unej.ac.id/jspui/bitstream/123456789/116091/1/MIPA_JURNAL_Design%20Study%20of%20300MWth%20GFR%20with%20UN-PuN%20Fuel%20using%20SRAC-COREBN%20Code.pdf
 15. Novalianda, S. (2019). Power Flattening Desain Reaktor GFR Berbasis Bahan Bakar Uranium Plutonium Nitride (U, Pu)N. *Journal of Electrical Technology*, 4 (3), 140–143. Available at: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/2070/1469>
 16. Dewi Syarifah, R., Su'ud, Z., Basar, K., Irwanto, D. (2017). Fuel Fraction Analysis of 500 MWth Gas Cooled Fast Reactor with Nitride (UN-PuN) Fuel without Refueling. *Journal of Physics: Conference Series*, 799, 012022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/799/1/012022>
 17. Rafli, H., Ilham, M., Su'ud, Z., Waris, A., Irwanto, D. (2020). Neutronic Analysis of Modular Gas-cooled Fast Reactor for 5–25 % of Plutonium Fuel using Parallelization MCNP6 Code. *Journal of Physics: Conference Series*, 1493 (1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1493/1/012008>
 18. Karomah, I., Mabru, A. M., Syarifah, R. D., Trianti, N. (2023). Analysis of core configuration for conceptual gas Cooled Fast Reactor (GFR) using OpenMC. *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega*, 25 (2), 85. <https://doi.org/10.55981/tdm.2023.6879>
 19. The OpenMC Monte Carlo Code. OpenMC. Available at: <https://docs.openmc.org/en/stable/>
 20. Romano, P. K., Horelik, N. E., Herman, B. R., Nelson, A. G., Forget, B., Smith, K. (2015). OpenMC: A state-of-the-art Monte Carlo code for research and development. *Annals of Nuclear Energy*, 82, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.07.048>
 21. Syarifah, R. D., Aula, M. H., Ardianingrum, A., Janah, L. N., Maulina, W. (2022). Comparison of thorium nitride and uranium nitride fuel on small modular pressurized water reactor in neutronic analysis using SRAC code. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (116)), 21–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255849>
 22. Waltar, A. E., Reynalds, A. B. (1981). *Fast Breeder Reactors*. Pergamon Press. Available at: https://books.google.com.ua/books?hl=ru&lr=&id=4m6o1jMcIIC&oi=fnd&pg=PR2&ots=cinb2vV2WU&sig=R8t2K0BrZ1oY5K4ek4-51xnOZzM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
 23. *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments* (2018). IAEA. Available at: https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book_2018.pdf
 24. Ilham, M., Rafli, H., Suud, Z. (2020). Full Core Optimization of Small Modular Gas-Cooled Fast Reactors Using OpenMC Program Code. *Journal of Physics: Conference Series*, 1493 (1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1493/1/012007>
 25. Rafli, H., Muhammad, I., Su'ud, Z., Waris, A., Irwanto, D. (2021). Reflector Materials Selection for Core Design of Modular Gas-cooled Fast Reactor using OpenMC Code. *International Journal of Energy Research*, 45 (8), 12071–12085. <https://doi.org/10.1002/er.6042>
 26. Harsanti, D. (2010). Sintesis dan Karakterisasi Boron Karbida dari Asam Borat, Asam Sitrat dan Karbon Aktif. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 11 (1), 29. <https://doi.org/10.29122/jstmc.v11i1.2178>
 27. Mabru, A. M., Syarifah, R. D., Aji, I. K., Hanifah, Z., Arkundato, A., Jatisukanto, G. (2022). Neutronic analysis on molten salt reactor FUJI-12 using ^{235}U as fissile material in LiF-BeF₂-UF₄ fuel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (8 (119)), 6–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265798>
 28. Pattipawae, S. C., Su'ud, Z. (2018). Preliminary Study of Long-life GFR 100 and 150 MWth. *Journal of Physics: Conference Series*, 1090, 012073. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1090/1/012073>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.290996

NEUTRONIC DESIGN OF SMALL MODULAR LONG-LIFE PRESSURIZED WATER REACTOR USING THORIUM CARBIDE FUEL AT A POWER LEVEL OF 300–500 MWth (p. 18–27)

Boni Pahlanop Lapanoro

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0041-0427>

Zaki Su'ud

Institut Teknologi Bandung; Nuclear Physics & Biophysics

Research Division, Bandung, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8907-9824>

Asril Pramutadi Andi Mustari

Institut Teknologi Bandung; Nuclear Physics & Biophysics

Research Division, Bandung, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6546-4493>

This study presents the neutronic design of a small modular long-life Pressurized Water Reactor (PWR) using thorium carbide fuel with ^{233}U fissile material. The target optimization for this study is a reactor designed to operate for 20 years, with excess reactivity throughout the reactor operational cycle consistently below 1.00 % dk/k. The analysis involves dividing the reactor core into three fuel regions with ^{233}U enrichment levels ranging from 3 % to 8 %, with a 1 % difference for each fuel region. To achieve optimum conditions, ^{231}Pa was randomly added to the fuel. The fuel volume fraction in this design varied from 30 % to 65 %, with a 5 % incremental variation. Power level variations are also studied within the 300–500 MWth with increments of 50 MWth. Calculations were performed using the Standard Reactor Analysis Code (SRAC) program with the PIJ and CITATION modules for cell and core calculations utilizing JENDL-4.0 nuclide data. Neutronic calculations indicate that the fuel with a 60 % volume fraction achieves optimum conditions at a power level of 300 MWth. The best performance was observed with a fuel volume fraction of 65 %, reaching optimum conditions across power levels ranging from 300 to 500 MWth. For the fuel with the best performance, the power density distributions for low and high power levels follow the same pattern radially and axially. The power peaking factor (PPF) for all fuel configurations

approaching the optimum conditions remains below two, a safe limit for the PWR. Other neutronic safety parameters, such as the Doppler coefficient and void fraction coefficient, also stay within the safe limits for the PWR, with both values remaining negative throughout the reactor operational cycle.

Keywords: thorium, core design, Doppler reactivity, void fraction coefficient, CITATION.

References

1. Nuclear Power in the World Today. Available at: <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>
2. Cummins, W. E., Matzie, R. (2018). Design evolution of PWRs: Shippingport to generation III+. *Progress in Nuclear Energy*, 102, 9–37. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.08.008>
3. Morales Pedraza, J. (2017). *Small Modular Reactors for Electricity Generation*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52216-6>
4. Mittag, S., Kliem, S. (2011). Burning plutonium and minimizing radioactive waste in existing PWRs. *Annals of Nuclear Energy*, 38 (1), 98–102. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2010.08.012>
5. Li, J., Li, X., Cai, J. (2021). Neutronic characteristics and feasibility analysis of micro-heterogeneous duplex ThO₂-UO₂ fuel pin in PWR. *Nuclear Engineering and Design*, 382, 111382. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2021.111382>
6. Galahom, A. A., Mohsen, M. Y. M., Amrani, N. (2022). Explore the possible advantages of using thorium-based fuel in a pressurized water reactor (PWR) Part 1: Neutronic analysis. *Nuclear Engineering and Technology*, 54 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.07.019>
7. Mirvakili, S. M., Alizadeh Kavafshary, M., Joze Vaziri, A. (2015). Comparison of neutronic behavior of UO₂, (Th-²³³U)O₂ and (Th-²³⁵U)O₂ fuels in a typical heavy water reactor. *Nuclear Engineering and Technology*, 47 (3), 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.net.2014.12.014>
8. Baldova, D., Fridman, E., Shwageraus, E. (2014). High conversion Th-U²³³ fuel for current generation of PWRs: Part I – Assembly level analysis. *Annals of Nuclear Energy*, 73, 552–559. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.05.017>
9. Gorton, J. P., Collins, B. S., Nelson, A. T., Brown, N. R. (2019). Reactor performance and safety characteristics of ThN-UN fuel concepts in a PWR. *Nuclear Engineering and Design*, 355, 110317. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2019.110317>
10. Mohsen, M. Y. M., Abdel-Rahman, M. A. E., Galahom, A. A. (2021). Ensuring the possibility of using thorium as a fuel in a pressurized water reactor (PWR). *Nuclear Science and Techniques*, 32 (12). <https://doi.org/10.1007/s41365-021-00981-0>
11. Maiorino, J. R., Stefani, G. L., Moreira, J. M. L., Rossi, P. C. R., Santos, T. A. (2017). Feasibility to convert an advanced PWR from UO₂ to a mixed U/ThO₂ core – Part I: Parametric studies. *Annals of Nuclear Energy*, 102, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2016.12.010>
12. Akbari-Jeyhouni, R., Rezaei Ochbelagh, D., Maiorino, J. R., D'Auria, E., Stefani, G. L. de (2018). The utilization of thorium in Small Modular Reactors – Part I: Neutronic assessment. *Annals of Nuclear Energy*, 120, 422–430. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2018.06.013>
13. Lau, C. W., Nylén, H., Demazière, C., Sandberg, U. (2014). Reducing axial offset and improving stability in PWRs by using uranium-thorium fuel. *Progress in Nuclear Energy*, 76, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.05.016>
14. Vaidyanathan, S. (2021). Transitioning to a Sustainable Thorium Fuel Cycle in Pressurized Water Reactors Using Bimetallic Thorium-Zirconium Alloy Cladding. *Nuclear Technology*, 207 (12), 1793–1809. <https://doi.org/10.1080/00295450.2020.1846987>
15. Peakman, A., Owen, H., Abram, T. (2021). Core design and fuel behaviour of a small modular pressurised water reactor using (Th, U)O₂ fuel for commercial marine propulsion. *Progress in Nuclear Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103966>
16. Subkhi, M. N., Su'ud, Z., Waris, A. (2013). Netronic Design of Small Long-Life PWR Using Thorium Cycle. *Advanced Materials Research*, 772, 524–529. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.772.524>
17. Syarifah, R. D., Aula, M. H., Ardianingrum, A., Janah, L. N., Maulina, W. (2022). Comparison of thorium nitride and uranium nitride fuel on small modular pressurized water reactor in neutronic analysis using SRAC code. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (116)), 21–28. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255849>
18. Kim, T. K., Grandy, C., Hill, R. N. (2009). Carbide and Nitride Fuels for Advanced Burner Reactor. *International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles (FR09) - Challenges and Opportunities*. Available at: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/070/41070109.pdf
19. Lapanporo, B. P., Su'ud, Z. (2022). Parametric Study of Thorium Fuel Utilization on Small Modular Pressurized Water Reactors (PWR). *Journal of Physics: Conference Series*, 2243 (1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2243/1/012062>
20. Subki, I., Pramutadi, A., Rida, S. N. M., Su'ud, Z., Eka Sapta, R., Muh. Nurul, S. et al. (2008). The utilization of thorium for long-life small thermal reactors without on-site refueling. *Progress in Nuclear Energy*, 50 (2-6), 152–156. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2007.10.029>
21. Dobuchi, N., Takeda, S., Kitada, T. (2016). Study on the relation between Doppler reactivity coefficient and resonance integrals of Thorium and Uranium in PWR fuels. *Annals of Nuclear Energy*, 90, 191–194. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2015.11.018>
22. Functional Design of Reactivity Control Systems. AP1000 Design Control Document. Available at: <https://www.nrc.gov/docs/ML1117/ML11171A448.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298915

ENHANCING SAVONIUS ROTOR MODEL WITH ADDITIONAL GROOVES ON HYDROKINETIC TURBINE PERFORMANCE (p. 28–37)

Petrus Sampelawang

Hasanuddin University, South Sulawesi, Indonesia
Indonesian Christian Toraja University, South Sulawesi, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2166-8769>

Nasaruddin Salam

Hasanuddin University, South Sulawesi, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4213-531X>

Luther Sule

Hasanuddin University, South Sulawesi, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3384-6080>

Rustan Tarakka

Hasanuddin University, South Sulawesi, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6083-650X>

Hydrokinetic turbines use different rotors for technological and economic reasons. Even though it performs poorly, vertical-axis hydrokinetic turbines use the Savonius rotor. The object of research is a Savonius rotor model with additional grooves. The study addresses the need to improve the efficiency and overall performance of Savonius rotor models in hydrokinetic turbines, which are widely used for harnessing energy from flowing water currents. The problem involves understanding how different groove configurations affect the aerodynamic behavior and energy extraction efficiency of the Savonius rotor in hydrokinetic turbine applications. The test results revealed that incorporating grooves led to notable improvements in efficiency (η) and coefficient of drag (CD). Grooved blades exhibited a maximum efficiency of 30.97 % and a maximum drag coefficient of 2.71. Notably, blades with a groove width of 12.5 mm emerged as the optimal model, demonstrating an efficiency peak of 35.66 % and a drag coefficient 3.08. This indicates a substantial increase in efficiency by 4.69 % and a corresponding rise in the drag coefficient by 0.37 for grooved blades. The grooves on grooved blades increase friction, improving performance. Grooved rotor blades improve turbine performance significantly. Savonius rotor models in hydrokinetic turbines extract more energy by optimizing groove width and arrangement to maximize drag coefficient and efficiency. This research affects hydrokinetic turbine design and optimization for renewable energy generation. Engineers and designers can improve the performance and efficiency of the Savonius rotor model in hydrokinetic turbine applications by applying this study's findings.

Keywords: hydrokinetic turbine, Savonius rotor, grooved blade, drag coefficient, tip speed ratio.

References

1. Yuce, M. I., Muratoglu, A. (2015). Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.037>
2. Maldar, N. R., Ng, C. Y., Oguz, E. (2020). A review of the optimization studies for Savonius turbine considering hydrokinetic applications. *Energy Conversion and Management*, 226, 113495. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113495>
3. Sule, L., Mochtar, A. A., Sutresman, O. (2020). Performance of Undershot Water Wheel with Bowl-shaped Blades Model. *International Journal of Technology*, 11 (2), 278. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i2.2465>
4. Talukdar, P. K., Sardar, A., Kulkarni, V., Saha, U. K. (2018). Parametric analysis of model Savonius hydrokinetic turbines through experimental and computational investigations. *Energy Conversion and Management*, 158, 36–49. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.011>
5. Zhang, Y., Kang, C., Ji, Y., Li, Q. (2019). Experimental and numerical investigation of flow patterns and performance of a modified Savonius hydrokinetic rotor. *Renewable Energy*, 141, 1067–1079. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.071>
6. Kumar, A., Saini, R. P. (2017). Performance analysis of a single stage modified Savonius hydrokinetic turbine having twisted blades. *Renewable Energy*, 113, 461–478. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.020>
7. Basumatary, M., Biswas, A., Misra, R. D. (2018). CFD analysis of an innovative combined lift and drag (CLD) based modified Savonius water turbine. *Energy Conversion and Management*, 174, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.08.025>
8. Alizadeh, H., Jahangir, M. H., Ghasempour, R. (2020). CFD-based improvement of Savonius type hydrokinetic turbine using optimized barrier at the low-speed flows. *Ocean Engineering*, 202, 107178. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107178>
9. Sarma, N. K., Biswas, A., Misra, R. D. (2014). Experimental and computational evaluation of Savonius hydrokinetic turbine for low velocity condition with comparison to Savonius wind turbine at the same input power. *Energy Conversion and Management*, 83, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.070>
10. Tian, W., Mao, Z., Ding, H. (2018). Design, test and numerical simulation of a low-speed horizontal axis hydrokinetic turbine. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 10 (6), 782–793. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2017.10.006>
11. Zahariev, M. E. (2016). Flow diagnostics and optimal design of vertical axis wind turbines for urban environments. University of Huddersfield. Available at: <https://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/31542/>
12. Salam, N., Tarakka, R., Jalaluddin, Jimran, M. A., Ihsan, M. (2021). Flow Separation in Four Configurations of Three Tandem Mini-bus Models. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 10 (5), 236–247. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.10.5.236-247>
13. Torres, S., Marulanda, A., Montoya, M. F., Hernandez, C. (2022). Geometric design optimization of a Savonius wind turbine. *Energy Conversion and Management*, 262, 115679. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115679>
14. Sharma, S., Sharma, R. K. (2016). Performance improvement of Savonius rotor using multiple quarter blades – A CFD investigation. *Energy Conversion and Management*, 127, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.087>
15. Kerikous, E., Thévenin, D. (2019). Optimal shape of thick blades for a hydraulic Savonius turbine. *Renewable Energy*, 134, 629–638. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.037>
16. Sodjavi, K., Ravelet, F., Bakir, F. (2018). Effects of axial rectangular groove on turbulent Taylor-Couette flow from analysis of experimental data. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 97, 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.04.022>
17. Kerikous, E., Thévenin, D. (2019). Performance Enhancement of a Hydraulic Savonius Turbine by Optimizing Overlap and Gap Ratios. Volume 2: Combustion, Fuels, and Emissions; Renewable Energy: Solar and Wind; Inlets and Exhausts; Emerging Technolo-

- gies: Hybrid Electric Propulsion and Alternate Power Generation; GT Operation and Maintenance; Materials and Manufacturing (Including Coatings, Composites, CMCs, Additive Manufacturing); Analytics and Digital Solutions for Gas Turbines/Rotating Machinery. <https://doi.org/10.1115/gtindia2019-2670>
18. Soenoko, R., Purnami, P. (2019). Bowl bladed hydrokinetic turbine with additional steering blade numerical modeling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (100)), 24–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.173986>
 19. Cengel, Y., Cimbala, J. (2013). *Fluid mechanics fundamentals and applications*. McGraw Hill, 1000.
 20. Kini, C. R., Sharma, N. Y., Shenoy B., S. (2017). Fluid Structure Interaction Study of High Pressure Stage Gas Turbine Blade Having Grooved Cooling Channels. *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, 11 (11), 825. <https://doi.org/10.15866/ireme.v11i11.12465>
 21. Ahmadi-Baloutaki, M., Cariveau, R., Ting, D. S.-K. (2013). Effect of free-stream turbulence on flow characteristics over a transversely-grooved surface. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 51, 56–70. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2013.07.001>
 22. Wan Yahaya, W. M. A., Samion, S., Mohd Zawawi, F., Musa, M. N., Najurudeen, M. N. A. (2020). The Evaluation of Drag and Lift Force of Groove Cylinder in Wind Tunnel. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 68 (2), 41–50. <https://doi.org/10.37934/arfm.68.2.4150>
 23. Gowree, E. R., Jagadeesh, C., Atkin, C. J. (2019). Skin friction drag reduction over staggered three dimensional cavities. *Aerospace Science and Technology*, 84, 520–529. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2018.11.001>
 24. Seo, S.-H., Hong, C.-H. (2015). Performance improvement of airfoils for wind blade with the groove. *International Journal of Green Energy*, 13 (1), 34–39. <https://doi.org/10.1080/15435075.2014.910777>
 25. Yao, J., Teo, C. J. (2022). Drag reduction by a superhydrophobic surface with longitudinal grooves: the effects of the rib surface curvature. *Journal of Turbulence*, 23 (8), 405–432. <https://doi.org/10.1080/14685248.2022.2094936>
 26. Chehouri, A., Younes, R., Ilinca, A., Perron, J. (2015). Review of performance optimization techniques applied to wind turbines. *Applied Energy*, 142, 361–388. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.043>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298599

IDENTIFYING SOME REGULARITIES OF THE AERODYNAMICS AROUND WIND TURBINES WITH A VERTICAL AXIS OF ROTATION (p. 38–46)

Nazgul Tanasheva

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4273-0960>

Gulden Ranova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9710-8406>

Amangeldy Satybaldin

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0846-4665>

Ainura Dyusembaeva

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6627-7262>

Asem Bakhtybekova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2018-8966>

Nurgul Shuyushbayeva

Kokshetau University named after Sh. Ualikhanov, Kokshetau, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7166-6449>

Sholpan Kyzdarbekova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9985-4636>

Indira Sarzhanova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8053-6866>

Nurgul Abdirova

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1985-6081>

The design of wind turbines with a vertical axis of rotation is quite simple, which successfully increases the level of efficiency. Existing vane wind turbines have a shortage of currents in the form of negative torque, and installations operating on the Magnus effect have a low lifting force. In this regard, the development and research of installations operating at speeds from 3 m/s, with combined blades with increased work efficiency is an urgent topic.

The object of the study is a wind turbine consisting of a system of rotating cylinders and fixed blades operating at low air flow speeds starting from 3 m/s. Numerical studies were carried out using the Ansys Fluent program and the implemented $k-\epsilon$ turbulence model. A special feature of the work is the combined use of two lifting forces: a cylinder and fixed blades, which made it possible to increase the output aerodynamic parameters. Calculations were performed for incoming flow rates of 3 m/s, 9 m/s, 15 m/s and cylinder rotation speeds of 315 rpm, 550 rpm, 720 rpm. It is determined that the period of change of the moment of forces T is 0.5 m/s, which corresponds to 2 revolutions of the wind wheel per minute. It was found that the cylinder rotation frequency in the range from 315 rpm to 720 rpm does not affect the period of change in the moment of forces, but the amplitude of the moment of forces increases with decreasing rotation frequency. The dependences of the rotation speed of the wind wheel on the velocity of the incoming flow, found by the method of sliding grids and 6DOF, are also obtained. It is determined that the installation begins to make revolutions from 3 m/s, with a positive torque of forces. The field of practical application of the numerical results will be useful for further research of wind turbines with combined blades.

Keywords: combined blade, fixed blade, Ansys-Fluent, moment of forces.

References

1. Elgendi, M., AlMallahi, M., Abdelkhalig, A., Selim, M. Y. E. (2023). A review of wind turbines in complex terrain. *International Journal of Thermofluids*, 17, 100289. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100289>

2. Maheshwari, Z., Kengne, K., Bhat, O. (2023). A comprehensive review on wind turbine emulators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 180, 113297. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113297>
3. Kataray, T., Nitesh, B., Yarram, B., Sinha, S., Cuce, E., Shaik, S. et al. (2023). Integration of smart grid with renewable energy sources: Opportunities and challenges – A comprehensive review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 58, 103363. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103363>
4. Wilberforce, T., Olabi, A. G., Sayed, E. T., Alalmi, A. H., Abdelkareem, M. A. (2023). Wind turbine concepts for domestic wind power generation at low wind quality sites. *Journal of Cleaner Production*, 394, 136137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136137>
5. Ganti, G., Gidden, M. J., Smith, C. J., Fyson, C., Nauels, A., Riahi, K., Schleußner, C.-F. (2023). Uncompensated claims to fair emission space risk putting Paris Agreement goals out of reach. *Environmental Research Letters*, 18 (2), 024040. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc502>
6. Li, J., Peng, K., Wang, P., Zhang, N., Feng, K., Guan, D. et al. (2020). Critical Rare-Earth Elements Mismatch Global Wind-Power Ambitions. *One Earth*, 3(1), 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.06.009>
7. Global Wind Report 2022. Available at: <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>
8. Liu, Z., Sing, J. J., Schwerdtfeger, P. (2023). Investigations of aerodynamics of three-bladed combined type wind turbine. *Experimental and Theoretical NANOTECHNOLOGY*, 171–180. <https://doi.org/10.56053/7.1.171>
9. Ahmad, M., Shahzad, A., Qadri, M. N. M. (2022). An overview of aerodynamic performance analysis of vertical axis wind turbines. *Energy & Environment*, 34 (7), 2815–2857. <https://doi.org/10.1177/0958305x221121281>
10. Tanasheva, N., Tleubergenova, A., Dyusembaeva, A., Satybaldin, A., Mussenova, E., Bakhtybekova, A. et al. (2023). Determination of the aerodynamic characteristics of a wind power plant with a vertical axis of rotation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (122)), 36–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277759>
11. Kumar, R., Raahemifar, K., Fung, A. S. (2018). A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.033>
12. Dewan, A., Gautam, A., Goyal, R. (2021). Savonius wind turbines: A review of recent advances in design and performance enhancements. *Materials Today: Proceedings*, 47, 2976–2983. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.205>
13. Pan, J., Ferreira, C., van Zuijlen, A. (2022). Estimation of power performances and flow characteristics for a Savonius rotor by vortex particle method. *Wind Energy*, 26 (1), 76–97. <https://doi.org/10.1002/we.2788>
14. Noman, A. A., Tasneem, Z., Sahed, Md. F., Muyeen, S. M., Das, S. K., Alam, F. (2022). Towards next generation Savonius wind turbine: Artificial intelligence in blade design trends and framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112531. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112531>
15. Khudri Johari, M., Azim A. Jalil, M., Faizal Mohd Shariff, M. (2018). Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT). *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.13), 74. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.13.21333>
16. Mohamed, O. S., Ibrahim, A. A., Etman, A. K., Abdelfatah, A. A., Elbaz, A. M. R. (2020). Numerical investigation of Darrieus wind turbine with slotted airfoil blades. *Energy Conversion and Management*: X, 5, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2019.100026>
17. Yousefi Roshan, M., Khaleghinia, J., Eshagh Nimvari, M., Salarian, H. (2021). Performance improvement of Darrieus wind turbine using different cavity layouts. *Energy Conversion and Management*, 246, 114693. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114693>
18. Tanasheva, N. K., Bakhtybekova, A. R., Shaimerdenova, K. M., Saki-pova, S. E., Shuyushbayeva, N. N. (2022). Correction to: Modeling Aerodynamic Characteristics of a Wind Energy Installation with Rotating Cylinder Blades on the Basis of the Ansys Suite. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 95 (3), 846–846. <https://doi.org/10.1007/s10891-022-02542-7>
19. Tanasheva, N. K., Bakhtybekova, A. R., Shuyushbayeva, N. N., Tus-supbekova, A. K., Tleubergenova, A. Zh. (2022). Calculation of the Aerodynamic Characteristics of a Wind-Power Plant with Blades in the Form of Rotating Cylinders. *Technical Physics Letters*, 48 (2), 51–54. <https://doi.org/10.1134/s1063785022020092>
20. Alassaf, O., Lukin, A., Demidova, G., Kozlov, G., Volkhontsev, A., Poliakov, N. (2022). Cylindrical Blades Magnus Wind Turbine Optimization and Control System. 2022 29th International Workshop on Electric Drives: Advances in Power Electronics for Electric Drives (IWED). <https://doi.org/10.1109/iwed54598.2022.9722582>
21. Al bkoor Alrawashdeh, K., Gharaibeh, N. S., Alshorman, A. A., Okour, M. H. (2021). Magnus Wind Turbine Effect Vertical Axis Using Rotating Cylinder Blades. *JJMIE*, 15 (2), 233–441. Available at: <https://jjmie.hu.edu.jo/vol15-2/08-jjmie-48-19.pdf>
22. Lukin, A., Demidova, G., Lukichev, D., Poliakov, N., Anuchin, A. (2023). Optimization of Cylindrical Blades for Wind Turbine Based on Magnus Effect. 2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN). <https://doi.org/10.1109/sielmen59038.2023.10290749>
23. Dyusembaeva, A. N., Tleubergenova, A. Zh., Tanasheva, N. K., Nus-supbekov, B. R., Bakhtybekova, A. R., Kyzdarbekova, Sh. S. (2023). Numerical investigation of the flow around a rotating cylinder with a plate under the subcritical regime of the Reynolds number. *International Journal of Green Energy*, 21 (5), 973–987. <https://doi.org/10.1080/15435075.2023.2228394>
24. Jeyan, J. V. M. L., Rupesh, A., Lal, J. (2018). Aerodynamic Shape Influence and Optimum Thickness Distribution Analysis of Perceptive Wind Turbine Blade. *International Journal of Emerging Research in Management and Technology*, 7 (3), 1. <https://doi.org/10.23956/ijermt.v7i3.6>
25. Prakoso, A. P., Warjito, W., Siswantara, A. I., Budiarto, B., Adanta, D. (2019). Comparison Between 6-DOF UDF and Moving Mesh Approaches in CFD Methods for Predicting Cross-Flow Pico- Hydro Turbine Performance. *CFD Letters*, 11 (6), 86–96. Available at: https://www.researchgate.net/publication/334446983_Comparison_Between_6-DOF_UDF_and_Moving_Mesh_Approaches_in_CFD_Methods_for_Predicting_Cross-Flow_Pico-Hydro_Turbine_Performance

parison_Between_6-DOF_UDF_and_Moving_Mesh_Approaches_in_CFD_Methods_for_Predicting_Cross-Flow_Pico-Hydro_Turbine_Performance

26. Yi, W., Bertin, C., Zhou, P., Mao, J., Zhong, S., Zhang, X. (2022). Aerodynamics of isolated cycling wheels using wind tunnel tests and computational fluid dynamics. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 228, 105085. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2022.105085>
27. Liu, H., Yang, S., Tian, W., Zhao, M., Yuan, X., Xu, B. (2020). Vibration Reduction Strategy for Offshore Wind Turbines. *Applied Sciences*, 10 (17), 6091. <https://doi.org/10.3390/app10176091>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299128

DEVELOPMENT OF A WIND TURBINE WITH TWO MULTIDIRECTIONAL WIND WHEELS (p. 47–57)

Sultanbek Issenov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Pyotr Antipov

QSM Resources LLP, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3667-8191>

Marat Koshumbayev

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2434-1905>

Dauren Issabekov

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6673-5646>

The object of research is a wind generator with counter-rotating blades. A special feature of this design is the presence of two wind wheels that rotate in opposite directions. Wind wheels are on the same axis, between them there is a certain distance, which is determined based on research data. The problem of modern wind power is the low range of operating wind speeds, weak generation at low wind speeds. The upper speed limit is 25 m/s, exceeding which leads to breakdowns of various units of the wind station, especially this affects the integrity of the blades, rupture of the wind wheel, cracking of the metal parts of the bearings and their fasteners. The wind turbine presented in the article allows to achieve an increase in the generation of electric energy by 50–70 %. This is achieved by increasing the relative rotational speed of the rotor relative to the stator. Therefore, even at low speeds, the rotor speed relative to the stator increases, which leads to an increase in power generation. The design of the device includes: two wind wheels, one transmits its rotation to the stator, the second to the rotor axis, a metal base, a current collector mechanism. For conducting the research, an experimental model and a semi-industrial installation were used. Results studies have confirmed the theoretical increase in the generation of electrical energy by this design. The peculiarity of the obtained results is connected with the determination of the distance between two wind wheels, the optimal distance between them corresponds to the maximum

energy generation. A distinctive feature of the results obtained can be considered an increase in the number of blades on the second wind wheel.

Keywords: wind device, multidirectional wind wheels, gap, blades, model, wind speed.

References

1. Korobotov, D. V., Kozlov, S. V., Sirotkin, E. A. (2016). Historic and economic analysis of wind turbines and control systems. *Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, 15-18, 54–66. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.15-18.054-066>
2. Koshumbaev, M., Issenov, S., Iskakov, R., Bulatbayeva, Y. (2023). Development of a vortex wind device. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (121)), 22–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.274199>
3. Kaidar, A., Issenov, S., Sheryazov, S., Kislov, A., Antipov, P. (2022). Overview of wind turbine systems. *The International Scientific Conference «22nd Satbayev Readings»*. Pavlodar, 169–180.
4. Moghadassian, B., Rosenberg, A., Sharma, A. (2016). Numerical Investigation of Aerodynamic Performance and Loads of a Novel Dual Rotor Wind Turbine. *Energies*, 9 (7), 571. <https://doi.org/10.3390/en9070571>
5. Rosenberg, A., Selvaraj, S., Sharma, A. (2014). A Novel Dual-Rotor Turbine for Increased Wind Energy Capture. *Journal of Physics: Conference Series*, 524, 012078. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/524/1/012078>
6. Pustynnikov, S. V. (2011). Pat. No. RU 2429375 C1. Two-rotor sole-noid wind generator.
7. Kaidar, A. B., Shapkenov, B. K., Kislov, A. P., Markovsky, V. P. (2015). New windwheels with improved energy indicators. *Bulletin of PSU ENERGY series*, 2, 46–52. Available at: <https://vestnik-energy.tou.edu.kz/storage/journals/104.pdf>
8. Kaidar, A. B., Shapkenov, B. K., Issenov, S. S., Sheryazov, S. K., Antipov, P. A., Shishkin, A. V. (2023). Pat. No. 36163 KZ. Autonomous power supply system with controlled starting moment of the wind wheel. No. 2022/0073.
9. Chen, J., Yin, F., Li, X., Ye, Z., Tang, W., Shen, X., Guo, X. (2022). Unsteady aerodynamic modelling for dual-rotor wind turbines with lifting surface method and free wake model. *Journal of Physics: Conference Series*, 2265 (4), 042055. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2265/4/042055>
10. Koehuan, V. A., Sugiyono, Kamal, S. (2017). Investigation of Counter-Rotating Wind Turbine Performance using Computational Fluid Dynamics Simulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 267, 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/267/1/012034>
11. Ozbay, A., Tian, W., Hu, H. (2015). An Experimental Investigation on the Wake Characteristics and Aeromechanics of Dual-Rotor Wind Turbines. Volume 9: Oil and Gas Applications; Supercritical CO₂ Power Cycles; Wind Energy. <https://doi.org/10.1115/gt2015-43805>
12. Lee, S., Kim, H., Lee, S. (2010). Analysis of aerodynamic characteristics on a counter-rotating wind turbine. *Current Applied Physics*, 10 (2), S339–S342. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2009.11.073>

13. Maduka, M., Li, C. W. (2022). Experimental evaluation of power performance and wake characteristics of twin flanged duct turbines in tandem under bi-directional tidal flows. *Renewable Energy*, 199, 1543–1567. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.067>
14. Erturk, E., Sivrioglu, S., Bolat, F. C. (2018). Analysis Model of a Small Scale Counter-Rotating Dual Rotor Wind Turbine with Double Rotational Generator Armature. *International Journal of Renewable Energy Research*, v8i4. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v8i4.8235.g7549>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.297541

DEVELOPMENT OF A NEW FAST DRYING DETERMINANT METHOD USING RESISTIVITY FOR THE INDUSTRY OF COCONUT SHELL CHARCOAL BRIQUETTES (p. 58–66)

Andreas Prasetyadi

Sanata Dharma University, Sleman, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6235-597X>

Rusdi Sambada

Sanata Dharma University, Sleman, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6555-7307>

Petrus Kanisius Purwadi

Sanata Dharma University, Sleman, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1094-9672>

The charcoal briquette industry faces the problem of the method for determining the drying stop during its production. The combustion method as the main method is time-consuming. The test needs 3 hours to get the result. In order to find a new fast method for drying determinant, the resistivity method was proposed for rainbow coconut shell charcoal briquettes. The briquettes had a length of 3.8 cm, height of 2.2 cm, and width of 2 cm with a half-tubular top side. 50 samples of each three drying conditions (wet, half-dry, and dry) of the same drying batch were collected. These conditions were determined by a drying expert of a coconut shell charcoal briquette company. Then, the resistances were measured and the geometrical factor was applied to find their resistivities. A model of resistivity in the cross-sectional layer was also applied to find the coefficients of front-tail, base-top, and side-side directions. These coefficients became a special way to find the position of the wet part in half-dry briquettes. The results of the work show that resistivities in combination with their distribution can potentially be used for fast drying stop determinant. The wet and dry briquettes have a resistivity difference order of 10^2 . The resistivities of the wet and dry briquettes are 450 kilohms and 28 megaohms for every centimeter of length, respectively. The half-dry and dry briquettes have the same order of resistivities. However, the resistivity distribution of both conditions is very different. The dry briquettes have homogenous resistivities among the measurements emphasizing the drying process of the solid. It was also found that the half-dry briquette has a surface dry part until 0.55 cm depth. The center of the briquette is still wet.

Keywords: charcoal briquette, resistance measurement, fast drying determinant, resistivity method.

References

1. Laska, G., Ige, A. R. (2023). A Review: Assessment of Domestic Solid Fuel Sources in Nigeria. *Energies*, 16 (12), 4722. <https://doi.org/10.3390/en16124722>
2. Khan, A. U., Jan, Q. M. U., Abas, M., Muhammad, K., Ali, Q. M., Zimon, D. (2023). Utilization of Biowaste for Sustainable Production of Coal Briquettes. *Energies*, 16 (20), 7025. <https://doi.org/10.3390/en16207025>
3. Marreiro, H. M. P., Peruchi, R. S., Lopes, R. M. B. P., Andersen, S. L. F., Eliziário, S. A., Rotella Junior, P. (2021). Empirical Studies on Biomass Briquette Production: A Literature Review. *Energies*, 14 (24), 8320. <https://doi.org/10.3390/en14248320>
4. Sunardi, S., Djuanda, D., Mandra, M. A. S. (2019). Characteristics of Charcoal Briquettes from Agricultural Waste with Compaction Pressure and Particle Size Variation as Alternative Fuel. *International Energy Journal*, 19 (3), 139–148. Available at: <http://www.rericjournal.ait.ac.th/index.php/reric/article/view/2199>
5. Doloksaribu, M. (2014). Pembuatan Briket Arang Dari Tanah Gambut Pengganti Kayu Bakar. *Jurnal Pengabdian kepada masyarakat Penerapan Ipteks*, 20 (75), 70–77. Available at: https://www.researchgate.net/publication/314080916_Pembuatan_Briket_Arang_Dari_Tanah_Gambut_Pengganti_Kayu_Bakar
6. Adam, S. N. F. S., Aiman, J. H. M., Zainuddin, F., Hamdan, Y. (2021). Processing and Characterisation of Charcoal Briquettes Made from Waste Rice Straw as A Renewable Energy Alternative. *Journal of Physics: Conference Series*, 2080 (1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2080/1/012014>
7. Osei Bonsu, B., Takase, M., Mantey, J. (2020). Preparation of charcoal briquette from palm kernel shells: case study in Ghana. *Heliyon*, 6 (10), e05266. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05266>
8. Lestari, L., Variani, V. I., Firihi, Muh. Z., Raharjo, S., Saleh, I., Aprilla, N. (2020). Effect of Compaction Pressure on Quality of Activated Charcoal Briquette Made from Sago Stem Midrib Material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 797 (1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/797/1/012022>
9. Hamzah, F., Fajri, A., Harun, N., Pramana, A. (2023). Characterization of charcoal briquettes made from rubber rods and coconut shells with tapioca as an adhesive. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1182 (1), 012071. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1182/1/012071>
10. Jarawi, N., Jusoh, I. (2023). Charcoal properties of Malaysian bamboo charcoal carbonized at 750 °C. *BioResources*, 18 (3), 4413–4429. <https://doi.org/10.15376/biores.18.3.4413-4429>
11. Kwon, S.-M., Kwon, G.-J., Jang, J.-H., Kim, N.-H. (2012). Characteristics of Charcoal in Different Carbonization Temperatures. *Journal of Forest and Environmental Science*, 28 (4), 263–267. <https://doi.org/10.7747/jfs.2012.28.4.263>
12. Yan, W., Chen, Z., Sheng, K. (2015). Carbonization temperature and time improving quality of charcoal briquettes. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31 (24), 245–249. doi: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2015.24.037>
13. Saneewongnaayutaya, N., Khamdaeng, T., Panyoyai, N., Tippayawong, N., Wongsiriamnuay, T. (2022). Production and characterization of fuel briquettes from rice husks and tobacco stalks. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0115139>

14. Njenga, M. et al. (2021). Challenges and opportunities for charcoal briquette enterprises in East Africa. Available at: https://www.researchgate.net/publication/352561574_Challenges_and_opportunities_for_charcoal_briquette_enterprises_in_East_Africa
15. Adam, S. N. F. S., Zainuddin, F., Morgan, N. Z. S., Saroni, H. H. (2023). Comparison of Corn and Tapioca Starch Binders on the Characteristic of Rice Straw Charcoal Briquettes. *Emerging Technologies for Future Sustainability*, 59–69. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1695-5_5
16. Pratama, B. H., Syarief, A., Saputra, M. R. P., Azis, A. P. (2022). Effect of Compaction Pressure and Sawdust Size on Briquette Made from Ulin Wood (*Eusideroxylon Zwageri*) and Gelam Wood (*Melaleuca Cajuputi*) to Combustion Characteristics. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 3 (2), 100. <https://doi.org/10.21776/mehta.2022.003.02.4>
17. Rapheal, I. A., Abayomi, B. (2021). Production and Characterisation of Briquettes from Maize Stalk and Neem Leaves Admixture. *Acta Chemica Malaysia (ACMY)*, 5 (2), 77–81. Available at: <https://www.actachemicamalaysia.com/acmy-02-2021-77-81/>
18. Mencarelli, A., Cavalli, R., Greco, R. (2022). Variability on the energy properties of charcoal and charcoal briquettes for barbecue. *Heliyon*, 8 (8), e10052. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10052>
19. Grover, P. D., Mishra, S. K. (1996). Biomass briquetting: Technology and Practices. Regional Wood Energy Development in Asia. Field Document No. 46. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Bangkok. Available at: <https://leehite.org/biomass/documents/Biomass%20Briquetting%20Technology%20and%20Practices%20FAO.pdf>
20. Parikh, D. M. (2014). Solids Drying: Basics and Applications. *Chemical Engineering*, 42–45. Available at: https://www.researchgate.net/publication/283088778_Solids_Drying_Basics_and_Applications
21. Song, X., Wei, J., Mao, Z., Chi, X., Zhu, Z., Han, G., Cheng, W. (2023). Effect of Hot-Air Drying Conditions on the Drying Efficiency and Performance of a Waterborne Coating on Pine Wood. *Forests*, 14 (9), 1752. <https://doi.org/10.3390/f14091752>
22. Paul, G., Olivier, M., Esther, A., Daniel, M., Jean, C.-L. (2019). Heat and Mass Transfer Local Modelling Applied to Biomass Briquette Drying. *Procedia Manufacturing*, 35, 149–154. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.05.018>
23. Brennan, J. K., Bandosz, T. J., Thomson, K. T., Gubbins, K. E. (2001). Water in porous carbons. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 187–188, 539–568. [https://doi.org/10.1016/s0927-7757\(01\)00644-6](https://doi.org/10.1016/s0927-7757(01)00644-6)
24. Rembert, F., Jougnot, D., Guarracino, L. (2020). A fractal model for the electrical conductivity of water-saturated porous media during mineral precipitation-dissolution processes. *Advances in Water Resources*, 145, 103742. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103742>
25. Ibrahim, M. H. I., Said, M. N., Asmawi, R. (2015). Characterization of Carbon Brush from Coconut Shell for Railway Application. *Applied Mechanics and Materials*, 773–774, 291–295. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.773-774.291>
26. Gunawan, S., Nursanni, B., Suprpto, Januariyansah, S. (2022). The utilization of biomass waste as charcoal briquette to reduce waste disposal. *Journal of Physics: Conference Series*, 2193 (1), 012086. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012086>

АНОТАЦІЇ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298202

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОГО ГАЗООХОЛОДЖУВАНОГО РЕАКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕТЕРОГЕННИХ КОНФІГУРАЦІЙ АКТИВНОЇ ЗОНИ З ТРЬОМА І П'ЯТЬМА ВАРІАНТАМИ ПАЛИВА (с. 6–17)

Fajri Prasetya, Ratna Dewi Syarifah, Iklimatul Karomah, Indarta Kuncoro Aji, Nuri Trianti

GFR або швидкий газоохолоджуваний реактор є одним із видів швидких реакторів IV покоління, в якому використовується дуже висока температура охолодження. Таким чином, для того, щоб розподіл потужності утворюваних нейтронів досягав безпечної та рівномірної граничної точки необхідна правильна конструкція активної зони реактора. Використання однорідної (гомогенної) активної зони реактора може дати пікову потужність. Цього можна уникнути, оскільки це призведе до аварії реактора. У даній роботі дослідники спробували порівняти результати аналізу двох гетерогенних конструкцій активної зони реактора, включаючи конфігурацію з 3 варіантами палива і 5 варіантами палива з використанням палива UN-PuN. Метою дослідження є визначення величини k_{eff} , одержуваної при обох типах варіантів палива протягом 5 років вигорання, а також визначення характеристик потоку нейтронів, швидкості ділення та продуктів ділення протягом 15 років вигорання. На початку дослідження було розраховано гомогенну та гетерогенну активні зони з 3 та 5 варіантами палива з моделюванням переносу нейтронів з використанням OpenMC. Результати розрахунків показують, що гетерогенна конфігурація активної зони з 5 варіантами палива за значенням k_{eff} є оптимальною в порівнянні з 3 варіантами палива, оскільки вона має найменше значення надлишкової реактивності. Характеристики потоку нейтронів та швидкості поділу для 5 варіантів палива мають більш рівномірний розподіл у порівнянні з 3 варіантами палива, що забезпечує підтримку часу життя нейтронів та терміну служби реактора. Залишковий плутонієвий матеріал вигорання та незначні актинідні відходи для 5 варіантів палива мають меншу масу, ніж для 3 варіантів палива. Реактори типу GFR з гетерогенними конструкціями активної зони для 5 варіантів палива мають більш високі результати нейтронного аналізу з точки зору критичності реактора, розподілу потужності нейтронів та утворення відходів. Зрештою, оптимізація об'ємної частки палива UN-PuN на рівні 60 % забезпечує оптимальне значення k_{eff} .

Ключові слова: порівняльний, варіанти палива, швидкий газоохолоджуваний реактор, гетерогенний, k_{eff} , активна зона реактора.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.290996

НЕЙТРОННА КОНСТРУКЦІЯ МАЛОГО МОДУЛЬНОГО ВОДЯНОГО РЕАКТОРА ПІД ТИСКОМ НА КАРБІДНОМУ ПАЛИВІ ТОРІЮ НА РІВНІ ПОТУЖНОСТІ 300–500 МВт (с. 18–27)

Boni Pahlanop Lapanporo, Zaki Su'ud, Asril Pramutadi Andi Mustari

У цьому дослідженні представлено нейтронну конструкцію невеликого модульного реактора з водою під тиском (МВТ) з тривалим терміном служби, на якому використовується паливо з карбиду торію з розщеплюваним матеріалом ^{233}U . Цільовою оптимізацією для цього дослідження є реактор, розрахований на роботу протягом 20 років, з надлишковою реактивністю протягом усього робочого циклу реактора постійно нижче 1,00 % dk/k. Аналіз передбачає поділ активної зони реактора на три паливні області з рівними збагачення ^{233}U в діапазоні від 3 % до 8 %, з різницею в 1 % для кожної паливної області. Щоб досягти оптимальних умов, до палива довільно додавали 231 Па. Об'ємна частка палива в цій конструкції змінювалася від 30 % до 65 % із зміною на 5 %. Варіації рівня потужності також досліджувалися в межах 300–500 МВт з кроком 50 МВт. Розрахунки проводилися за допомогою програми Standard Reactor Analysis Code (SRAC) з модулями PIJ і CITATION для розрахунків клітин і ядра з використанням нуклідних даних JENDL-4.0. Нейтронні розрахунки показують, що паливо з об'ємною часткою 60 % досягає оптимальних умов на рівні потужності 300 МВт-год. Найкращі показники спостерігалися з об'ємною часткою палива 65 %, досягаючи оптимальних умов на рівнях потужності від 300 до 500 МВт. Для палива з найкращими характеристиками розподіл щільності потужності для низьких і високих рівнів потужності відповідає тій самій моделі радіально та аксіально. Піковий коефіцієнт потужності (ПКП) для всіх конфігурацій палива, що наближаються до оптимальних умов, залишається нижче двох, що є безпечною межею для ПКП. Інші параметри нейтронної безпеки, такі як коефіцієнт Доплера та коефіцієнт пористої фракції, також залишаються в безпечних межах для ПКП, при цьому обидва значення залишаються від'ємними протягом усього робочого циклу реактора.

Ключові слова: торій, конструкція сердечника, доплерівська реактивність, коефіцієнт пористості, CITATION.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298915

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ РОТОРА САВОНІУСА ДОДАТКОВИМИ КАНАВКАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГІДРОКІНЕТИЧНОЇ ТУРБИНИ (с. 28–37)

Petrus Sampelawang, Nasaruddin Salam, Luther Sule, Rustan Tarakka

У гідрокінетичних турбінах використовуються різні ротори з технологічних та економічних причин. Незважаючи на низьку продуктивність, у гідрокінетичних турбінах із вертикальною віссю використовується ротор Савоніуса. Об'єктом дослідження є модель ротора Савоніуса з додатковими канавками. У дослідженні розглядається необхідність підвищення ККД та загальної

продуктивності моделей роторів Савоніуса в гідрокінетичних турбінах, які широко застосовуються для використання енергії поточних водних потоків. Задача полягає у розумінні того, як різні конфігурації канавок впливають на аеродинамічні характеристики та ефективність вилучення енергії ротора Савоніуса в гідрокінетичних турбінах. Результати випробувань показали, що додавання канавок призвело до помітного підвищення ККД (η) та коефіцієнта опору (CD). Лопатки з канавками показали максимальний ККД 30,97 % та максимальний коефіцієнт лобового опору 2,71. Примітно, що оптимальною моделлю виявилися лопатки з шириною канавки 12,5 мм, що продемонстрували максимальний ККД 35,66 % та коефіцієнт лобового опору 3,08. Це свідчить про суттєве підвищення ККД на 4,69 % та відповідне збільшення коефіцієнта лобового опору на 0,37 для лопаток з канавками. Канавки на рифлених лопатках збільшують тертя, покращуючи продуктивність. Лопатки ротора з канавками значно покращують продуктивність турбіни. Моделі роторів Савоніуса в гідрокінетичних турбінах дозволяють вилучити більше енергії за рахунок оптимізації ширини та розташування канавок для максимального підвищення коефіцієнта лобового опору та ККД. Дослідження стосується проектування та оптимізації гідрокінетичних турбін для виробництва відновлюваної енергії. Із застосуванням результатів даного дослідження інженери та проектувальники можуть покращити продуктивність та ККД моделі ротора Савоніуса в гідрокінетичних турбінах.

Ключові слова: гідрокінетична турбіна, ротор Савоніуса, лопатка з канавками, коефіцієнт лобового опору, відносна швидкість гвинта.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298599

ВИЯВЛЕННЯ ДЕЯКИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ АЕРОДИНАМІКИ НАВКОЛО ВІТРОВИХ ТУРБІН З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ (с. 38–46)

Nazgul Tanasheva, Gulden Ranova, Amangeldy Satybaldin, Ainura Dyusembaeva, Asem Bakhtybekova, Nurgul Shuyushbayeva, Sholpan Kyzdarbekova, Indira Sarzhanova, Nurgul Abdirova

Конструкція вітряних турбін з вертикальною віссю обертання досить проста, що успішно підвищує рівень ККД. Існуючі лопатеві вітрові турбіни мають відсутність струмів у вигляді негативного крутного моменту, а установки, що працюють на ефекті Магнуса, мають низький підйом. У зв'язку з цим розробка і дослідження установок, що працюють на швидкостях від 3 м/сек, з комбінованими лопатями з підвищеною ефективністю роботи, є актуальною темою.

Об'єктом дослідження є вітряна турбіна, що складається з системи обертових циліндрів і нерухомих лопатей, що працюють при низьких швидкостях повітряного потоку, починаючи з 3 м/с. Чисельні дослідження проводилися з використанням програми Ansys Fluent і реалізованої моделі турбулентності $k-\epsilon$. Особливістю роботи є комбіноване використання двох підйомних сил: циліндра і нерухомих лопатей, що дозволило збільшити вихідні аеродинамічні параметри. Розрахунки були виконані для швидкостей вхідного потоку 3 м/сек, 9 м/сек, 15 м/сек і швидкостей обертання циліндра 315 об/хв, 550 об/хв, 720 об/хв. визначено, що період зміни моменту сил T становить 0,5 м/сек, що відповідає 2 оборотам вітроколеса в хвилину. Було встановлено, що частота обертання циліндра в діапазоні від 315 об/хв до 720 об/хв не впливає на період зміни моменту сил, але амплітуда моменту сил збільшується зі зменшення частоти обертання. Також отримані залежності швидкості обертання вітроколеса від швидкості набігаючого потоку, знайдені методом ковзних сіток і 6DOF. Визначено, що установка починає здійснювати обороти від 3 м/с, при позитивному крутному моменті сил. Область практичного застосування чисельних результатів буде корисною для подальших досліджень комбінованих вітрових турбін.

Ключові слова: комбінована лопать, фіксована лопать, Ansys-Fluent, момент сил.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299128

РОЗРОБКА ВІТРОВОЇ ТУРБІНИ З ДВОМА РІЗНОНАПРАВЛЕНИМИ ВІТРОВИМИ КОЛЕСАМИ (с. 47–57)

Sultanbek Issenov, Pyotr Antipov, Marat Koshumbayev, Dauren Issabekov

Об'єктом дослідження є вітрогенератор із зустрічно обертовими лопатями. Особливістю такої конструкції є наявність двох вітрових коліс, які обертаються в протилежних напрямках. Вітрові колеса знаходяться на одній осі, між ними є певна відстань, яка визначається на основі даних досліджень. Проблемою сучасної вітроенергетики є низький діапазон робочих швидкостей вітру, слабка генерація при малих швидкостях вітру. Верхня межа швидкості становить 25 м/с, перевищення якої призводить до поломок різних вузлів вітрової станції, особливо це позначається на цілісності лопатей, розриві вітрового колеса, розтріскування металевих частин підшипників та їх кріплень. Представлений у статті вітрогенератор дозволяє досягти збільшення вироблення електроенергії на 50–70 %. Це досягається збільшенням відносної швидкості обертання ротора відносно статора. Тому навіть при низьких швидкостях обертання ротора відносно статора зростає, що призводить до збільшення вироблення електроенергії. У конструкцію пристрою входять: два вітрові колеса, одне передає своє обертання на статор, друге на вісь ротора, металева основа, струмоприймальний механізм. Для проведення досліджень використовували експериментальний макет і напівпромислову установку. Результати досліджень підтвердили теоретичне збільшення генерації електроенергії цією конструкцією. Особливість отриманих результатів пов'язана з визначенням відстані між двома вітровими колесами, оптимальна відстань між якими відповідає максимальному виробленню енергії. Відмінною особливістю отриманих результатів можна вважати збільшення кількості лопатей на другому вітровому колесі.

Ключові слова: вітровий пристрій, різноспрямовані вітрові колеса, зазор, лопаті, модель, швидкість вітру.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.297541**РОЗРОБКА НОВОГО ШВИДКОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ВИСИХАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПИТОМОГО ОПОРУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БРИКЕТІВ З КОКОСОВОГО ВУГІЛЛЯ (с. 58–66)****Andreas Prasetyadi, Rusdi Sambada, Petrus Kanisius Purwadi**

Виробництво деревновугільних брикетів стикається з проблемою методу визначення зупинки сушіння у процесі їх виготовлення. Спалювання в якості основного методу є трудомістким. Отримання результату випробування займає 3 години. Для знаходження нового швидкого методу визначення висихання був запропонований метод питомого опору для брикетів з райдужного кокосового вугілля. Брикети мали довжину 3,8 см, висоту 2,2 см і ширину 2 см з напівтрубчастою верхньою стороною. З однієї і тієї ж партії сушіння було відібрано 50 зразків для кожного з трьох ступенів висихання (вологий, напівсухий і сухий). Ці ступені були визначені спеціалістом із сушіння підприємства з виробництва брикетів з кокосового вугілля. Потім були виміряні опори та застосований геометричний коефіцієнт для визначення їх питомого опору. Також була застосована модель питомого опору в шарі поперечного перерізу для знаходження коефіцієнтів напрямків перед-зад, основа-верх та бік-бік. Ці коефіцієнти стали особливим способом визначення положення вологої частини в напівсухих брикетах. Результати роботи показують, що питомі опори в поєднанні з їх розподілом потенційно можуть бути використані для швидкого визначення зупинки сушіння. Різниця у питомому опорі вологих та сухих брикетів становить порядку 102. Питомий опір вологих та сухих брикетів становить 450 кілоом та 28 мегаом на кожен сантиметр довжини відповідно. Напівсухі та сухі брикети мають однаковий порядок питомого опору. Однак розподіл питомого опору в обох умовах сильно відрізняється. Сухі брикети мають однорідний питомий опір за вимірами, що підкреслює процес сушіння твердої речовини. Також було виявлено, що напівсухий брикет має суху частину поверхні глибиною до 0,55 см. Середина брикету все ще залишається вологою.

Ключові слова: деревновугільний брикет, вимірювання опору, швидке визначення висихання, метод питомого опору.