

ABSTRACT AND REFERENCES

TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326031

IDENTIFYING OF RATIONAL CONDITIONS FOR ETHERIFICATION OF SUNFLOWER SOAPSTOCK FATTY ACIDS (p. 6–13)

Gabriella Birta

Poltava University of Economics and Trade, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6952-7554>**Nadiya Levoshko**

Poltava University of Economics and Trade, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0464-0987>**Vladyslav Knysht**

Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National

Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3220-9883>**Svitlana Usenko**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9263-5625>**Anatolii Shostia**

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1475-2364>**Tetiana Ovsianikova**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,

Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4916-7189>**Tetiana Falalieieva**

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,

Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0021-4917>**Larysa Marushko**

Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8373-6747>**Yevhen Semenko**

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8445-6707>**Sergii Zygin**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3537-7713>

The object of the study is the process of esterification of sunflower soapstock fatty acids with butanol.

Soapstock is a waste of the oil and fat industry, which is formed in the process of alkaline neutralization of oils. The processing of soapstock to obtain fatty acids is promising, since the disposal of waste is difficult and dangerous, and fatty acids are an industrially valuable product. Fatty acids obtained from soapstock are an available raw material for the production of fatty acid esters of low molecular weight alcohols, which are the basis of alternative biodiesel fuel.

The influence of the conditions of esterification of fatty acids from sunflower soapstock (CAS Number 61788-66-7) with butanol (CAS Number 71-36-3) in the presence of an alkylbenzenesulfonic acid catalyst on the acid value of the reaction mixture was studied. This indicator reflects an increase in the content of butyl esters.

The fatty acids used, obtained from soapstock by decomposition with sulfuric acid, meet the requirements of DSTU 4860 for first-grade fatty acids. The neutralization number of fatty acids is 186.0 mg KOH/g, the mass fraction of moisture and volatile substances is 1.7 %, the

mass fraction of total fat is 97.5 %, the depth of cleavage is 67.1 % of oleic acid.

Rational conditions for the esterification process have been established, which correspond to the maximum reduction in the acid value of the reaction mixture: duration is 12 hours, catalyst concentration is 3.5 %. In this case, the acid value of the reaction mass was 4.05 mg KOH/g. The product yield was 91.5 %. Product parameters: mass fraction of esters – 92.7 %, mass fraction of total glycerol – 0.20 %, mass fraction of moisture 0.04 %, density at the temperature of 15 °C – 840 kg/m³.

The results obtained make it possible to obtain a high-quality base for biodiesel fuel using soapstock fatty acids under rational conditions.

Keywords: butyl esters of fatty acids, esterification of fatty acids, waste from the oil and fat industry.

References

1. Babadi, A. A., Rahmati, S., Fakhlaei, R., Barati, B., Wang, S., Doherty, W., Ostrikov, K. (Ken). (2022). Emerging technologies for biodiesel production: Processes, challenges, and opportunities. *Biomass and Bioenergy*, 163, 106521. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106521>
2. Mahlia, T. M. I., Syazmi, Z. A. H. S., Mofijur, M., Abas, A. E. P., Bilad, M. R., Ong, H. C., Silitonga, A. S. (2020). Patent landscape review on biodiesel production: Technology updates. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 118, 109526. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109526>
3. Sytnik, N., Kunitsia, E., Mazaeva, V., Kalyna, V., Chernukha, A., Vazhynskyi, S. et al. (2021). Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (6 (112)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236984>
4. Kurczyński, D., Wcisło, G., Leśniak, A., Kozak, M., Łagowski, P. (2022). Production and Testing of Butyl and Methyl Esters as New Generation Biodiesels from Fatty Wastes of the Leather Industry. *Energies*, 15 (22), 8744. <https://doi.org/10.3390/en15228744>
5. Ali Ijaz Malik, M., Zeeshan, S., Khubaib, M., Ikram, A., Hussain, F., Yassin, H., Qazi, A. (2024). A review of major trends, opportunities, and technical challenges in biodiesel production from waste sources. *Energy Conversion and Management: X*, 23, 100675. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100675>
6. Konovalov, S., Patrylak, L., Zubenko, S., Okhrimenko, M., Yakovenko, A., Levterov, A., Avramenko, A. (2021). Bench Motor Testing of Blended Fuels on their Basis. *Chemistry & Chemical Technology*, 15 (1), 105–117. <https://doi.org/10.23939/chcht15.01.105>
7. Konovalov, S. V., Zubenko, S. O., Patrylak, L. K., Yakovenko, A. V. (2021). Fuel-grade sunflower oil butyl esters: synthesis, purification, oxidation stability. *Catalysis and Petrochemistry*, 32, 40–53. <https://doi.org/10.15407/kataliz2021.32.040>
8. Navas, M. B., Lick, I. D., Bolla, P. A., Casella, M. L., Ruggera, J. F. (2018). Transesterification of soybean and castor oil with methanol and butanol using heterogeneous basic catalysts to obtain biodiesel. *Chemical Engineering Science*, 187, 444–454. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.04.068>
9. Gaide, I., Makareviciene, V., Sendzikiene, E., Gumbyte, M. (2023). Rapeseed Oil Transesterification Using 1-Butanol and Eggshell as a Catalyst. *Catalysts*, 13 (2), 302. <https://doi.org/10.3390/catal13020302>
10. Sathish Kumar, R., Krupa Vara Prasad, A. (2019). Environment friendly butyl ester biodiesel production from mahua oil: optimization and characterization. *SN Applied Sciences*, 1 (8). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0913-6>

11. Ilmi, M., Abduh, M. Y., Hommes, A., Winkelman, J. G. M., Hidayat, C., Heeres, H. J. (2018). Process Intensification of Enzymatic Fatty Acid Butyl Ester Synthesis Using a Continuous Centrifugal Contactor Separator. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57 (2), 470–482. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b03297>
12. Sousa, R. R. de, Lázaro, C. da C., Gomes, C. B. de S. M. R., Silva, A. S. da, Fernandez-Lafuente, R., Ferreira-Leitão, V. S. (2023). Butyl-esters synthesis from palm fatty acid distillate catalyzed by immobilized lipases in solvent-free system – Optimization using a simplified method (SER). *Process Biochemistry*, 128, 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.02.030>
13. Todeschini, J. K. P., Aguiéiras, E. C. G., Castro, A. M. de, Langone, M. A. P., Freire, D. M. G., Rodrigues, R. C. (2016). Synthesis of butyl esters via ultrasound-assisted transesterification of macaúba (*Acrocomia aculeata*) acid oil using a biomass-derived fermented solid as biocatalyst. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 133, S213–S219. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2017.01.007>
14. Wallis, C., Cerny, M., Lacroux, E., Mouloungui, Z. (2017). Recovery of slaughterhouse Animal Fatty Wastewater Sludge by conversion into Fatty Acid Butyl Esters by acid-catalyzed esterification. *Waste Management*, 60, 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.003>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328308

IDENTIFYING THE CONDITIONS FOR PRODUCTION OF SYNTHETIC RUTILE BY LEACHING OF REDUCED SAMOTKAN ILMENITE WITH FERRIC SULFATE SOLUTIONS (p. 14–23)

Oleg Kozhura

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6426-8941>

Yevhen Tsybulia

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3644-5616>

Alona Derimova

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6092-1392>

Viktoriia Yaroshenko

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8360-7143>

This study investigates the chemical beneficiation processes for Samotkan ilmenite concentrates, reagent regeneration, and the recycling of extracted iron compounds. The task addressed is to devise technology for obtaining synthetic rutile and converting by-product iron compounds into commercially valuable materials. Kinetic parameters of iron leaching from metallized ilmenite obtained by reducing Samotkan ilmenite concentrate with carbon at 1200 °C for 4 hours using ferric sulfate solutions were determined. Up to 8 % iron extraction, the kinetics followed the autocatalytic Prout-Tompkins model ($kt = \ln(a/(1-a))$), with apparent activation energy $E_{app} = 62.7$ kJ/mol. At higher degrees of iron extraction, the process was consistent with the shrinking core model ($kt = 1 - (1-a)^{1/3}$), with apparent activation energy $E_{app} = 47.3$ kJ/mol. The reaction order with respect to Fe^{3+} was found to be close to first order. Additional removal of impurities from the residue of oxidative leaching was achieved by treatment with 15 % H_2SO_4 solution at 60 °C and subsequent calcination at 800 °C, resulting in the production of synthetic rutile with a TiO_2 content of 92 %. It was established that the regeneration of oxidative leaching solutions could be carried out via catalytic oxidation of $FeSO_4$ solutions

using oxygen. At pH 1.1–1.5 and 60 °C in the presence of NO, ferrous iron was quantitatively oxidized within 1–3 hours. Efficient mass transfer under high gas content in the gas-liquid mixture allows oxidation to proceed without elevated oxygen pressure or temperature. A portion of the ferric iron was recovered as high-purity crystalline $Fe_4(OH)_{10}SO_4$ precipitates, which, upon calcination at 750 °C, yielded 99.4 % Fe_2O_3 , suitable for pigment production. The low reagent consumption and the conversion of iron into marketable products underscore the potential for industrial-scale implementation of this process.

Keywords: Samotkan weathered ilmenite, synthetic rutile, ferric sulfate, hydroxysulphate, recycling, TiO_2 .

References

1. Mineral commodity summaries 2024 (2024). US Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/mcs2024>
2. Joy, M., Bhat, K. H. (2025). An overview of phase analysis and strategies on the development of acid soluble titania for sulphate process. *Discover Chemistry*, 2 (1). <https://doi.org/10.1007/s44371-025-00110-5>
3. Interim Report. For The Half-Year Ended 30 June 2024 (2024). Iluka Resources Limited. Available at: <https://www.iluka.com/media/pannp5i3/2024-half-year-results-interim-report.pdf>
4. Jung, E. J., Kim, J., Lee, Y. R. (2021). A comparative study on the chloride effectiveness of synthetic rutile and natural rutile manufactured from ilmenite ore. *Scientific Reports*, 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83485-6>
5. Middlemas, S. C. (2014). Energy-conscious production of titania and titanium powders from slag. The University of Utah. Available at: <https://core.ac.uk/download/276265554.pdf>
6. Reck, E., Richards, M. (1997). Titanium dioxide – Manufacture, environment and life cycle analysis: The tioxide experience. *Surface Coatings International*, 80 (12), 568–572. <https://doi.org/10.1007/bf02693848>
7. Zhang, S., Liu, S., Ma, W., Dai, Y. (2018). Review of TiO_2 -Rich Materials Preparation for the Chlorination Process. *Rare Metal Technology* 2018, 225–234. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72350-1_21
8. Ganzha, O., Kuzmanenko, H., Okholina, T., Remezova, O. (2022). Current State Of Mineral Base Of Titanium Deposits Of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4 (99), 60–66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.99.08>
9. Ganzha, O. A., Kovalchuk, M. S., Kroshko, Yu. V. (2024). Ore-Bearing Of The Vovchansk Zircon-Rutil-Ilmenite Deposit. *Geochemistry and Ore Formation*, 45, 30–43. <https://doi.org/10.15407/gof.2024.45.030>
10. Filippou, D., Hudon, G. (2009). Iron removal and recovery in the titanium dioxide feedstock and pigment industries. *JOM*, 61 (10), 36–42. <https://doi.org/10.1007/s11837-009-0150-3>
11. Thambiliyagodage, C., Wijesekera, R., Bakker, M. G. (2021). Leaching of ilmenite to produce titanium based materials: a review. *Discover Materials*, 1 (1). <https://doi.org/10.1007/s43939-021-00020-0>
12. Lakshmanan, V. I., Bhowmick, A., Halim, A.; Brown, J. (Ed.) (2014). *Titanium Dioxide - Production, Properties and Applications*. New York: Nova Science, 75–130.
13. Walpole, E. A., Winter, J. D. (2002). The Austpac ERMS and EARS Processes for the Manufacture of High-Grade Synthetic Rutile by the Hydrochloric Acid Leaching of Ilmenite. *Chloride Metallurgy 2002 – International Conference on the Practice and Theory of Chloride/Metal Interaction*. Available at: <https://www.austpacresources.com/pdfs/techpub/EJW%20Paper%20Oct%202002.pdf>
14. Verhulst, D., Sabachy, B., Spitler, T., Duyvesteyn, W. (2002). New development in the Altair hydrochloride TiO_2 pigment process. *Hydrometallurgy Fifth International Conference in Honor of Professor Ian Ritchie*, 565–575.
15. Farrow, J. B., Ritchie, I. M., Mangano, P. (1987). The reaction between reduced ilmenite and oxygen in ammonium chloride solutions. *Hydrometallurgy*, 18 (1), 21–38. [https://doi.org/10.1016/0304-386x\(87\)90014-4](https://doi.org/10.1016/0304-386x(87)90014-4)

16. Shiah, C. D. (1966). Pat. No. US3252787A. Process for producing titanium dioxide concentrate and other useful products from ilmenite and similar ores. Available at: <https://patents.google.com/patent/US3252787A/en>
17. Ward, C. B. (1990). The production of synthetic rutile and by-product iron oxide pigments from ilmenite processing. *Materials Science*, 309–322.
18. Gok, O. (2011). Catalytic oxidation mechanism of oxy-nitrogen species (NOx) in FeSO₄ electrolyte. *Nitric Oxide*, 25 (1), 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2011.05.003>
19. Baldwin, S. A., Van Weert, G. (1996). On the catalysis of ferrous sulphate oxidation in autoclaves by nitrates and nitrites. *Hydrometallurgy*, 42 (2), 209–219. [https://doi.org/10.1016/0304-386x\(95\)00092-u](https://doi.org/10.1016/0304-386x(95)00092-u)
20. Kozhura, O. V., Tsybulya, E. O., Kovalenko, I. L. (2025). Leaching of reduced ilmenite concentrate from the Samotkan deposit using sulfuric acid solutions. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2, 150–157. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2025-159-2-150-157>
21. Lv, W., Lv, X., Xiang, J., Hu, K., Zhao, S., Dang, J. et al. (2019). Effect of preoxidation on the reduction of ilmenite concentrate powder by hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (8), 4031–4040. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.12.139>
22. Sarker, M. K., Rashid, A. K. M. B., Kurny, A. S. W. (2006). Kinetics of leaching of oxidized and reduced ilmenite in dilute hydrochloric acid solutions. *International Journal of Mineral Processing*, 80 (2–4), 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2006.04.005>
23. House, J. E. (2007). *Principles of chemical kinetics*. Academic Press, 336.
24. Nikiforova, A., Kozhura, O., Pasenko, O. (2016). Leaching of vanadium by sulfur dioxide from spent catalysts for sulfuric acid production. *Hydrometallurgy*, 164, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.05.004>
25. Gok, O. (2012). Ferrous oxidation catalyzed by oxy-nitrogen species (NOX). *Asian Journal of Chemistry*, 24 (12), 5485–5489. Available at: <https://asianpubs.org/index.php/ajchem/article/view/9911>
26. El-Guindy, M. I., Davenport, W. G. (1970). Kinetics and mechanism of ilmenite reduction with graphite. *Metallurgical Transactions*, 1 (6), 1729–1734. <https://doi.org/10.1007/bf02642023>
27. Rhamdhani, M. A., Ahmad, S., Pownceby, M. I., Bruckard, W. J., Harjanto, S. (2018). Selective sulphidation of impurities in weathered ilmenite. Part 1 – Applicability to different ilmenite deposits and simulated Becher kiln conditions. *Minerals Engineering*, 121, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.03.005>
28. Xiang, J., Pei, G., Lv, W., Liu, S., Lv, X., Qiu, G. (2020). Preparation of synthetic rutile from reduced ilmenite through the aeration leaching process. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 147, 107774. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107774>
29. Duong, B. N., Truong, T. N., Nguyen, T. T. (2020). The Upgrading of Ha Tinh Ilmenite to Synthetic Rutile by Becher Process. *Materials Science Forum*, 985, 115–123. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.985.115>
30. Abdelgalil, M. S., El-Barawy, K., Ge, Y., Xia, L. (2023). The Recovery of TiO₂ from Ilmenite Ore by Ammonium Sulfate Roasting–Leaching Process. *Processes*, 11 (9), 2570. <https://doi.org/10.3390/pr11092570>
31. Matijević, E., Sapiesszko, R. S., Melville, J. B. (1975). Ferric hydrous oxide sols I. Monodispersed basic iron(III) sulfate particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 50 (3), 567–581. [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(75\)90180-0](https://doi.org/10.1016/0021-9797(75)90180-0)

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328309

ASSESSING THE POSSIBILITIES OF CNT AND EFB FIBER REINFORCEMENT IN RAMMED EARTH NANOCOMPOSITES FOR STRUCTURAL STABILITY ENHANCEMENT (p. 24–32)

Kinanti Wijaya

Universitas Negeri Medan, V, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5222-0625>

Syafiatun Siregar

Universitas Negeri Medan, V, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3798-5601>

Sutrisno Sutrisno

Universitas Negeri Medan, V, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8335-1117>

Iswandi Idris

Politeknik LP3I Medan, Medan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5597-465X>

The object of the study is the rammed earth nanocomposites. Rammed earth nanocomposites reinforced with carbon nanotubes (CNT) and oil palm empty bunch (EFB) fibers provide nanoscale cohesion, and EFB fibers offer macroscale crack bridging, this research aims to significantly improve the material's mechanical performance. This study pioneers a nanocomposite approach by integrating 1–2 % CNT and EFB fibers into rammed earth, achieving a 539 % increase in compressive strength (from 1.43 MPa to 9.13 MPa) and 34.671 kN buckling resistance to improve structural performance especially for the stability for sustainable construction applications. Standard rammed earth had a compressive strength of 1.43 MPa and buckling resistance, limiting its use; however, when 1 % CNT was added, increased compressive strength to 6.43 MPa (cube) and 6.58 MPa (cylinder), while 2 % CNT further enhanced it to 8.56 MPa and 9.13 MPa, respectively. Flexural strength also improved from 0.98 MPa to 3.60 MPa (beam). Cylindrical specimens showed optimal performance due to uniform stress distribution (34.671 kN buckling resistance). Microstructural analysis reveals CNT enhance nanoscale cohesion while EFB fibers provide macro-scale crack bridging. Compared to conventional concrete, the composite reduces embodied carbon by 62 % (per ISO 14040 LCA standards) and material density by 26 % (1.48 vs 2.0 g/cm³). These findings establish a new paradigm for sustainable seismic-resistant construction in developing tropical regions where both laterite soil and palm oil waste are abundant. The synergy of CNT (nanoscale cohesion) and EFB (load distribution) addresses key limitations. This material is suitable for eco-friendly construction, seismic-resistant structures, and lightweight partitions, offering a sustainable alternative to concrete/steel. The project simultaneously advances sustainable construction materials and provides a blueprint for vocational education that bridges technical and soft skills.

Keywords: buckling, rammed earth, empty bunch fibers, composite, nanotubes.

References

1. Aditama, A. G., Ardhyanta, H. (2017). Isolasi Selulosa dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Nano Filler Komposit Absorpsi Suara: Analisis FTIR. *Jurnal Teknik ITS*, 6 (2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24098>
2. Sidebang, E., Bukit, N. (2019). Analisis Sifat Mekanik Kompon Karet. *EINSTEIN E-JOURNAL*, 6 (2). <https://doi.org/10.24114/einstein.v6i2.12081>
3. Saragih, M. T., Ginting, E. M. (2019). Analisis Sifat Mekanik Kompon Karet Dengan Bahan Pengisi Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit. *EINSTEIN E-JOURNAL*, 6 (3). <https://doi.org/10.24114/einstein.v6i3.12108>
4. Rahman, T., Fadhlulloh, M. A., Nandiyanto, A. B. D., Mudzakir, A. (2015). REVIEW: Sintesis Karbon Nanopartikel. *J. Integr. Proses*, 5 (3).
5. Handayani, N. (2021). Nanokomposit Ramah Lingkungan Melalui Isolasi Nanofibril Selulosa (NFS) Dari Tandan Kosong Sawit Dan Poly Lactid Acid (PLA) Sebagai Matrik. *Jurnal Sains Dan Teknologi Reaksi*, 18 (02). <https://doi.org/10.30811/jstr.v18i02.2254>
6. Zhou, T., Zhang, H., Zhang, Z., Zhang, L., Tan, W. (2023). Investigation of intralayer and interlayer shear properties of stabilized rammed earth by direct shear tests. *Construction and Building Materials*, 367, 130320. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130320>

7. Toufigh, V., Samadianfard, S. (2022). Experimental and numerical investigation of thermal enhancement methods on rammed-earth materials. *Solar Energy*, 244, 474–483. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.08.049>
8. Strazzeri, V., Karrech, A. (2022). Energy and thermal performance of a typical rammed earth residential building in Western Australia. *Energy and Buildings*, 260, 111901. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111901>
9. Espinach, F. X., Vilaseca, F., Tarrés, Q., Delgado-Aguilar, M., Aguado, R. J., Mutjé, P. (2024). An alternative method to evaluate the micromechanics tensile strength properties of natural fiber strand reinforced polyolefin composites. The case of hemp strand-reinforced polypropylene. *Composites Part B: Engineering*, 273, 111211. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2024.111211>
10. Ávila, F., Puertas, E., Gallego, R. (2021). Characterization of the mechanical and physical properties of unstabilized rammed earth: A review. *Construction and Building Materials*, 270, 121435. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121435>
11. Gil-Martin, L. M., Fernández-Ruiz, M. A., Hernández-Montes, E. (2022). Mechanical characterization and elastic stiffness degradation of unstabilized rammed earth. *Journal of Building Engineering*, 56, 104805. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104805>
12. The creep of Rammed Earth material (2015). *Rammed Earth Construction*, 61–66. <https://doi.org/10.1201/b18046-10>
13. Majidifard, H., Adu-Gyamfi, Y., Buttlar, W. G. (2020). Deep machine learning approach to develop a new asphalt pavement condition index. *Construction and Building Materials*, 247, 118513. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118513>
14. Narloch, P. L., Lidner, M., Kunicka, E., Bielecki, M. (2015). Flexural Tensile Strength of Construction Elements Made out of Cement Stabilized Rammed Earth. *Procedia Engineering*, 111, 589–595. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.049>
15. Khan, R. (2019). Fiber bridging in composite laminates: A literature review. *Composite Structures*, 229, 111418. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111418>
16. Rahman, T., Fadhilullo, M. A., Nandiyanto, A. B. D., Mudzakir, A. (2015). Review: Synthesis of Carbon Nanoparticles. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:100363740>
17. Cheah, C. B., Liew, J. J., Khaw Le Ping, K., Siddique, R., Tangchirapat, W. (2022). Properties of ternary blended cement containing ground granulated blast furnace slag and ground coal bottom ash. *Construction and Building Materials*, 315, 125249. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125249>
18. Zhang, L., Zhang, J., Lv, C., Gao, L., Luo, S., Ren, Y. et al. (2024). Fabrication and characterization of flexible natural cellulosic fiber composites through collaborative modification strategy of sodium hydroxide and γ -Aminopropyl triethoxysilane. *International Journal of Biological Macromolecules*, 261, 129831. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129831>
19. Ramachandrarao, M., Khan, S. H., Abdullah, K. (2025). Carbon nanotubes and nanofibers – reinforcement to carbon fiber composites - synthesis, characterizations and applications: A review. *Composites Part C: Open Access*, 16, 100551. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2024.100551>
20. Tarfaoui, M., Lafdi, K., El Moumen, A. (2016). Mechanical properties of carbon nanotubes based polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 103, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.08.016>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325722

IDENTIFYING THE EFFECT OF THE HYDRATED LIME ON SELF-HEALING STEEL SLAG STONE MASTIC ASPHALT USING THE INDUCTION HEATING METHOD IN TROPICAL CONDITIONS (p. 33–43)

Irawati

Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3139-7210>

Ludfi Djakfar

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2812-9263>

Muhammad Zainul Arifin

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7611-8134>

Akhmad Sabarudin

Universitas Brawijaya, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3096-5087>

Ilanka Cahya Dewi

Universitas Muhammadiyah Jember, Jember, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6027-9889>

Irawan Palgunadi

Krakatau Steel Indonesia Company, Cilegon Banten,
West Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3497-304X>

This study examines the effect of a hydrated lime additive on steel slag stone mastic asphalt for induction heating and induced healing applications. It evaluates the self-healing capabilities of hydrated lime-modified steel slag stone mastic asphalt under tropical conditions.

The three-point bending was first tested on the steel slag-stone mastic asphalt mixture modified with hydrated lime (1 %, 2 %, 3 %, and 4 % by mix weight). The mix's fracture, displacement, cracking resistance, and flexibility index are evaluated. Subsequently, the fracture, displacement, cracking resistance, flexibility index recovery, and healing ratio for damage-healing were investigated. The research employs induction heating, which regulates temperature according to natural tropical conditions. The healing process is compared between heating in a tropical environment and heating with additional temperature.

The results demonstrated that adding hydrated lime to steel slag stone mastic asphalt increased fracture strength, however, this improvement was accompanied by decreased displacement, cracking resistance, and flexibility. The findings indicate that the healing ratio of steel slag stone mastic asphalt is enhanced by 1 % hydrated lime. Adding 1 % hydrated lime is optimal for improving fracture strength and healing ratio. The fracture strength increased by 5 % with a 1 % variation of hydrated lime. The healing ratio of the 1 % hydrated lime-modified stone mastic asphalt increased by 14.57 % under natural conditions compared to 0 % hydrated lime steel slag stone mastic asphalt. Furthermore, the healing ratio of steel slag mastic asphalt with 1 % hydrated lime subjected to artificial heating increased by 22.08 % compared to stone mastic asphalt with 0 % hydrated lime under natural heating.

Keywords: steel slag, stone mastic asphalt, heating induction, self-healing, three-point bending test, tropical condition.

References

1. Diao, H., Ling, T., Zhang, Z., Peng, B., Huang, Q. (2023). Multiscale Fatigue Performance Evaluation of Hydrated Lime and Basalt Fiber Modified Asphalt Mixture. *Materials*, 16 (10), 3608. <https://doi.org/10.3390/ma16103608>
2. Movilla-Quesada, D., Raposeiras, A. C., Castro-Fresno, D., Peña-Mansilla, D. (2015). Experimental study on stiffness development of asphalt mixture containing cement and $\text{Ca}(\text{OH})_2$ as contribution filler. *Materials & Design*, 74, 157–163. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.02.026>
3. Carvajal-Muñoz, J. S., Airey, G., Sanjuan-Benavides, A., Perez-Miranda, M. A., Gómez-Osorio, F. A. (2024). Fracture characteristics of SMA mixtures with hydrated lime through the semi-circular bending approach. *Construction and Building Materials*, 449, 138353. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138353>

4. Liu, J., Wang, Z., Li, M., Wang, X., Wang, Z., Zhang, T. (2022). Microwave heating uniformity, road performance and internal void characteristics of steel slag asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 353, 129155. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129155>
5. Phan, T. M., Park, D.-W., Le, T. H. M. (2018). Crack healing performance of hot mix asphalt containing steel slag by microwaves heating. *Construction and Building Materials*, 180, 503–511. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.278>
6. Irawati, I., Djakfar, L., Arifin, M. Z. (2023). Comparison of the moisture resistance of a steel-slag stone mastic asphalt mixture modified with $\text{Ca}(\text{OH})_2$. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (126)), 62–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289054>
7. Carvajal-Muñoz, J. S., Airey, G., Hernández-De Las Salas, R. D., Contreras-Barbas, M. A., Rodríguez-Verdecia, S. A. (2024). Fundamental cracking performance of asphalt-filler mastics with hydrated lime. *Construction and Building Materials*, 453, 139029. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139029>
8. Xiang, H., He, Z., Chen, L., Zhu, H., Wang, Z. (2019). Key Factors and Optimal Conditions for Self-Healing of Bituminous Binder. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31 (9). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002760](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002760)
9. Lou, B., Sha, A., Li, Y., Wang, W., Liu, Z., Jiang, W., Cui, X. (2020). Effect of metallic-waste aggregates on microwave self-healing performances of asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 246, 118510. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118510>
10. Liu, Q., Schlangen, E., van de Ven, M. F. C., van Bochove, G., van Montfort, J. (2012). Predicting the Performance of the Induction Healing Porous Asphalt Test Section. 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements, 1081–1089. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4566-7_103
11. Liu, Q., Schlangen, E., van de Ven, M., van Bochove, G., van Montfort, J. (2012). Evaluation of the induction healing effect of porous asphalt concrete through four point bending fatigue test. *Construction and Building Materials*, 29, 403–409. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.058>
12. Vila-Cortavitarte, M., Jato-Espino, D., Castro-Fresno, D., Calzada-Pérez, M. Á. (2018). Self-Healing Capacity of Asphalt Mixtures Including By-Products Both as Aggregates and Heating Inductors. *Materials*, 11 (5), 800. <https://doi.org/10.3390/ma11050800>
13. Li, H., Yu, J., Wu, S., Liu, Q., Li, Y., Wu, Y., Xu, H. (2019). Investigation of the Effect of Induction Heating on Asphalt Binder Aging in Steel Fibers Modified Asphalt Concrete. *Materials*, 12 (7), 1067. <https://doi.org/10.3390/ma12071067>
14. Kaseer, F., Yin, F., Arámbula-Mercado, E., Epps Martin, A., Daniel, J. S., Salari, S. (2018). Development of an index to evaluate the cracking potential of asphalt mixtures using the semi-circular bending test. *Construction and Building Materials*, 167, 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.014>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.323027

ASSESSMENT OF THE CHEMICAL RESISTANCE OF CONCRETE WITH AN ADDITIVE BASED ON GRANITE DUST AND ACRYLIC LATEX (p. 44–52)

Rauan LukpanovL.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0085-9934>**Aliya Altynbekova**L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1010-9328>**Serik Yenkebaev**L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5984-9346>**Denis Tsygulyov**L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7061-699X>**Dinara Orazova**

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3755-1082>**Zhumabek Omarov**

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1108-9509>**Kuanyshev Makashev**

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2971-6322>

The object of the study is the chemical resistance of concrete modified with granite dust and acrylic latex. The materials used in the study were concrete samples with a variable composition of additive components, which were subsequently exposed to an aggressive environment. The problem, which the research is aimed at solving, is the tendency of concrete structures to fail under prolonged exposure to acidic conditions, which significantly reduces their service life. This research aims to address this issue by incorporating modifying additives that improve concrete's resistance to chemical attack. The experimental program involved testing concrete specimens with different concentrations of granite dust (1–4 % by cement mass) and acrylic latex (0.1–0.4 % by water mass) in a 10 % sulfuric acid solution for up to 360 days. Strength loss was assessed at regular intervals, and chemical resistance coefficients were calculated to evaluate durability. Additionally, long-term degradation predictions were made using logarithmic models. The results show that the optimal composition – 4 % granite dust and 0.4 % acrylic latex – significantly improves chemical resistance, with specimens retaining up to 49 % of their initial strength after 100 years of exposure. The enhancement is attributed to the densification effect of granite dust, which reduces permeability, and the hydrophobizing properties of acrylic latex, which minimize acid penetration. Compared to unmodified concrete, the proposed composition demonstrates lower strength loss and higher durability under aggressive conditions. The proposed modified composition offers a reliable solution for extending the service life of reinforced concrete structures exposed to chemical degradation.

Keywords: concrete, granite dust, acrylic latex, chemical resistance, bending strength.

References

1. Paul, S., van Zijl, G., Šavija, B. (2020). Effect of Fibers on Durability of Concrete: A Practical Review. *Materials*, 13 (20), 4562. <https://doi.org/10.3390/ma13204562>
2. Baloch, W. L., Siad, H., Lachemi, M., Sahmaran, M. (2021). A review on the durability of concrete-to-concrete bond in recent rehabilitated structures. *Journal of Building Engineering*, 44, 103315. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103315>
3. Zhang, S. P., Zong, L. (2014). Evaluation of Relationship between Water Absorption and Durability of Concrete Materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2014/650373>
4. Zhang, J., Shi, C., Zhang, Z., Ou, Z. (2017). Durability of alkali-activated materials in aggressive environments: A review on recent studies. *Construction and Building Materials*, 152, 598–613. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.027>

5. Mendes, D. D., Mari, J. de J., Singer, M., Barros, G. M., Mello, A. F. (2009). Estudo de revisão dos fatores biológicos, sociais e ambientais associados com o comportamento agressivo. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 31, S77–S85. <https://doi.org/10.1590/s1516-44462009000600006>
6. Gu, L., Bennett, T., Visintin, P. (2019). Sulphuric acid exposure of conventional concrete and alkali-activated concrete: Assessment of test methodologies. *Construction and Building Materials*, 197, 681–692. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.166>
7. Zhang, G., Wu, C., Hou, D., Yang, J., Sun, D., Zhang, X. (2021). Effect of environmental pH values on phase composition and microstructure of Portland cement paste under sulfate attack. *Composites Part B: Engineering*, 216, 108862. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108862>
8. Teymouri, M., Behfarnia, K., Shabani, A. (2021). Mix Design Effects on the Durability of Alkali-Activated Slag Concrete in a Hydrochloric Acid Environment. *Sustainability*, 13 (14), 8096. <https://doi.org/10.3390/su13148096>
9. Xie, Y., Lin, X., Ji, T., Liang, Y., Pan, W. (2019). Comparison of corrosion resistance mechanism between ordinary Portland concrete and alkali-activated concrete subjected to biogenic sulfuric acid attack. *Construction and Building Materials*, 228, 117071. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117071>
10. Koenig, A., Herrmann, A., Overmann, S., Dehn, F. (2017). Resistance of alkali-activated binders to organic acid attack: Assessment of evaluation criteria and damage mechanisms. *Construction and Building Materials*, 151, 405–413. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.117>
11. Gado, R. A. (2022). The feasibility of recycling marble & granite sludge in the polymer-modified cementitious mortars Part A: In polymer-modified cementitious adhesive mortar. *Process Safety and Environmental Protection*, 159, 978–991. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.01.059>
12. Chen, K., Wu, D., Xia, L., Cai, Q., Zhang, Z. (2021). Geopolymer concrete durability subjected to aggressive environments – A review of influence factors and comparison with ordinary Portland cement. *Construction and Building Materials*, 279, 122496. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122496>
13. Kapeluszna, E., Kotwica, Ł., Pichór, W., Nocuń-Wczelik, W. (2020). Cement-based composites with waste expanded perlite - Structure, mechanical properties and durability in chloride and sulphate environments. *Sustainable Materials and Technologies*, 24, e00160. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00160>
14. Shojaei Baghini, M., Ismail, A., Karim, M. R., Shokri, F., Firoozi, A. A. (2014). Effect of styrene-butadiene copolymer latex on properties and durability of road base stabilized with Portland cement additive. *Construction and Building Materials*, 68, 740–749. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.061>
15. Li, X., Chu, H., Yao, N., Long, B., Li, W., Jiang, L. (2025). Experimental study of styrene-acrylic emulsion modified mortar with manufactured sand and its performance exposed to combined chloride-sulfate attack. *Construction and Building Materials*, 458, 139682. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139682>
16. Veloso Moura, H. R. de C., Pedroti, L. G., Salgado Lopes, M. M., Franco de Carvalho, J. M., Lopes Ribeiro, J. C., Bernardes Dias, J. C. (2023). Influence of biocide and dispersant additives on the performance and durability of building paints produced with granite waste. *Construction and Building Materials*, 409, 134112. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134112>
17. Interstate Standard GOST P 58896-2020. Chemically resistant concretes. Test methods.
18. Interstate Standard GOST P 58895-2020. Chemically resistant concretes. Specifications.
19. Lukpanov, R., Dyussembinov, D., Altynbekova, A., Yenkebayev, S., Awwad, T. (2023). Optimal concentration of post-alcohol bard and microsilica in cement-sand mixtures determination. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 330 (3), 92–103. <https://doi.org/10.31643/2024/6445.33>
20. Lukpanov, R., Dyussembinov, D., Tsygulyov, D., Yenkebayev, S. (2022). Complex modified additive for concrete based on industrial waste. *Magazine of Civil Engineering*, 115(7), 11507. <https://doi.org/10.34910/MCE.115.7>
21. Altynbekova, A. D., Lukpanov, R. E., Dyussembinov, D. S., Askerbekova, A. M., Gunasekaran, M. (2023). Effect of a complex modified additive based on post-alcohol bard on the strength behavior of concrete. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 327 (4), 5–14. <https://doi.org/10.31643/2023/6445.34>
22. Altynbekova, A., Lukpanov, R., Yenkebayev, S., Tsygulyov, D., Nurbayeva, M. (2022). Complex laboratory studies of modified additive influence on concrete physical and mechanical properties. *International Journal of GEOMATE*, 23 (100), 26–33. <https://doi.org/10.21660/2022.100.3641>
23. Lukpanov, R., Dyussembinov, D., Zhantlessova, Z., Altynbekova, A., Yenkebayev, S., Orazova, D. (2024). Durability assessment of cellular concrete through strength evaluation under adverse environmental conditions. *International Journal of GEOMATE*, 27 (124), 16–23. <https://doi.org/10.21660/2024.124.4271>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322590

DETERMINING THE EFFECT OF THE AMOUNT OF POLYPROPYLENE FIBER AND PLASTICIZER ON THE STRENGTH AND ABRASION RESISTANCE OF CONCRETES FOR RIGID PAVEMENT (p. 53–60)

Sergii KroviakovOdesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0800-0123>**Oleh Finohenov**Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa, UkraineORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3631-4786>**Andrii Ihnatenko**Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Odesa, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9222-1051>

The object of this study is concretes and fiber-reinforced concretes for rigid pavements with polypropylene fiber and lignosulphonate type plasticizer. The task addressed is obtaining concrete with increased strength and wear resistance. Three composition factors were varied in the experiment conducted according to the D-optimal plan: the amount of cement (300–380 kg/m³), plasticizer based on lignosulfonates (0.6–1.0 %), polypropylene fiber with a fiber length 39 mm (0–3 kg/m³). All concrete mixtures had equal mobility S1.

A set of experimental and statistical models was calculated. It was found that with an increase in the amount of plasticizer, the W/C ratio of the mixture decreases by 12–15 %, and the introduction of fiber has a negligible effect on W/C. Due to the use of fiber, the compressive strength of concrete at the design age increases by approximately 3.5 MPa, the early compressive strength practically does not change, the flexural strength increases by 0.5–0.6 MPa, and the abrasion resistance decreases by 0.07–0.08 g/cm² (17–19 %). The most noticeable changes in these properties occur already with the introduction of fibers in the amount of 2–2.5 kg/m³. Increasing the amount of cement improves the strength and wear resistance of concrete, as well as the efficiency of using dispersed reinforcement.

When the amount of plasticizer is increased from 0.6 to 0.9 %, the compressive strength of concrete at the age of 3 days increases by approximately 2 MPa; at the design age, its strength increases by approximately 5 MPa, the flexural strength increases to a limited extent while the abrasion of concrete decreases (wear resistance increases).

Due to dispersed reinforcement and the use of a rational amount of plasticizer, concretes of rigid pavements with the required strength and increased wear resistance required for a given road category with reduced binder consumption were obtained, which could be used in practice.

Keywords: polypropylene fiber, plasticizer, rigid pavement, concrete strength, concrete abrasion resistance, experimental and statistical modeling.

References

1. Radovskiy, B., Nahaichuk, V. (2020). World experience and modern approaches to the use of cement concrete pavement. *Dorogi i Mosti*, 21, 188–200. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.188>
2. DBN V.2.3-4:2015. Highways. Part I. Design. Part II. Building.
3. Murph, D., Liu, J., Liu, J. (2022). Designs of Abrasion Resistant and Durable Concrete Pavements Made with SCMs for Cold Climates. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 148 (2). <https://doi.org/10.1061/jpeodx.0000360>
4. Al Harki, B. Q. K., Al Jawahery, M. S., Abdulmawjoud, A. A. (2022). Hybrid Steel Fiber of Rigid Pavements: A 3D Finite Element and Parametric Analysis. *Coatings*, 12 (10), 1478. <https://doi.org/10.3390/coatings12101478>
5. Salman, A., Hassan, A., Galal, S., Hassan, A. (2024). Effect of Carbon Nanotubes and Steel Fibers on the Rigid Pavement Reinforced with Steel Bars and GFRP Bars. *Proceedings of the ICSDI 2024 Volume 1*, 89–97. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8712-8_12
6. Kos, Ž., Kroviakov, S., Kryzhanovskiy, V., Grynyova, I. (2022). Research of Strength, Frost Resistance, Abrasion Resistance and Shrinkage of Steel Fiber Concrete for Rigid Highways and Airfields Pavement Repair. *Applied Sciences*, 12 (3), 1174. <https://doi.org/10.3390/app12031174>
7. Spyridis, P., Mellios, N. (2022). Tensile Performance of Headed Anchors in Steel Fiber Reinforced and Conventional Concrete in Uncracked and Cracked State. *Materials*, 15 (5), 1886. <https://doi.org/10.3390/ma15051886>
8. Surianinov, M., Andronov, V., Otrosh, Y., Makovkina, T., Vasiukov, S. (2020). Concrete and Fiber Concrete Impact Strength. *Materials Science Forum*, 1006, 101–106. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.101>
9. Sikandar, A., Ali, M. (2023). Composition of Engineered Cementitious Composite with Local Materials, Composite Properties and Its Utilization for Structures in Developing Countries. *IOCB 2023*, 16. <https://doi.org/10.3390/iocbd2023-15179>
10. Santhosh, J. C., Samal, S. R., Ganesh, V. N., Pavani, D., Sridhar, R. S. (2022). Experimental Investigation on the Effect of Polypropylene Fibers with Respect to the Fatigue Behavior of Rigid Pavement. *Recent Developments in Sustainable Infrastructure (ICRDSI-2020) – GEO-TRA-ENV-WRM*, 383–395. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7509-6_31
11. Julon, L., Zarate, B., Silvera, M., Campos, F., Silvera, M., Palacios-Alonso, D. (2023). Evaluation of the influence of polypropylene fiber on the flexural strength of rigid pavements. *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023): "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development."* <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.491>
12. Spyra, J., Mellios, N., Borttscheller, M., Spyridis, P. (2024). Influence of Polymer Fibre Reinforcement on Concrete Anchor Breakout Failure Capacity. *Polymers*, 16 (15), 2203. <https://doi.org/10.3390/polym16152203>
13. Fawzi, R. Q., Awad, H. K. (2023). The Influence of Polypropylene Fiber and Silica Fume on the Mechanical Properties of No-Fine Concrete with Recycled Aggregate. *E3S Web of Conferences*, 427, 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342702002>
14. Sanytsky, M., Kropyvnytska, T., Vakhula, O., Bobetsky, Y. (2023). Nanomodified Ultra High-Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites with Enhanced Operational Characteristics. *Proceedings of CEE 2023*, 362–371. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44955-0_36
15. Kryzhanovskiy, V., Umbach, C., Orlowsky, J., Middendorf, B., Auras, M., Grillich, P. (2024). Denkmalkonforme Instandsetzung der Beton-Glas-Fenster der St.-Mauritius-Kirche. *Bautechnik*, 101 (5), 299–308. <https://doi.org/10.1002/bate.202300117>
16. Ubair Ul Islam, S., Chopra, A., Tiwary, A. K. (2023). Finite Element Analysis of High-Strength Concrete Pavement Made With The Addition Of Fibres. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1110 (1), 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1110/1/012025>
17. Volchuk, V. M., Kotov, M. A., Plakhtii, Y. G., Tymoshenko, O. A., Zinkevych, O. H. (2025). Investigation of the influence of the heterogeneous structure of concrete on its strength. *Results in Materials*, 25, 100659. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2025.100659>
18. Kroviakov, S. O., Finohenov, O. I. (2024). Comparison of the effectiveness of superplasticizers in concretes for rigid pavement. *Modern Construction and Architecture*, 8, 65–71. <https://doi.org/10.31650/2786-6696-2024-8-65-71>
19. Kos, Ž., Kroviakov, S., Kryzhanovskiy, V., Hedulian, D. (2022). Strength, Frost Resistance, and Resistance to Acid Attacks on Fiber-Reinforced Concrete for Industrial Floors and Road Pavements with Steel and Polypropylene Fibers. *Materials*, 15 (23), 8339. <https://doi.org/10.3390/ma15238339>
20. Dvorkin, L., Ribakov, Y. (2012). *Mathematical Experiments Planning in Concrete Technology*. Nova Science Publishers, 172.
21. Lyashenko, T. V., Voznesensky, V. A. (2017). *Composition-Process Fields Methodology in Computational Building Materials Science*. Odesa: Astroprint, 168.
22. BS EN 12350-2:2019. Testing fresh concrete - Slump test.
23. BS EN 12390-3:2009. Testing hardened concrete - Compressive strength of test specimens.
24. BS EN 12390-5:2009. Testing hardened concrete - Flexural strength of test specimens.
25. ASTM C944/C944M-19. Standard test method for abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating-cutter method. *ASTM International*. Available at: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/104586/827f54b874d44a55a45b20b7b93c1690/ASTM-C944-C944M-19.pdf>
26. Dvorkin, L. Y., Zhytkovskiy, V. V., Bordiuzhenko, O. M., Marchuk, V. V., Rubtsova, Yu. O. (2021). *Betony novoho pokolinnia*. Rivne: Nats. un-t vod. hosp-va ta pryrodokorystuvannia, 316.
27. Lin, C., Kanstad, T., Jacobsen, S., Ji, G. (2023). Bonding property between fiber and cementitious matrix: A critical review. *Construction and Building Materials*, 378, 131169. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131169>

АНОТАЦІЇ

TECHNOLOGY ORGANIC AND INORGANIC SUBSTANCES

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.326031

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ УМОВ ЕТЕРИФІКУВАННЯ ЖИРНИХ КИСЛОТ СОНЯШНИКОВОГО СОАПСТОКУ (с. 6–13)**Г. О. Бірта, Н. В. Левашко, В. В. Книш, С. О. Усенко, А. М. Шостя, Т. О. Овсяннікова, Т. В. Фалалеева, Л. П. Марушко, Є. Ю. Семенко, С. Є. Зигін**

Об'єктом дослідження є процес етерифікування жирних кислот соняшникового сапостоку бутанолом.

Сапосток є відходом олієжирової галузі, який утворюється в процесі лужної нейтралізації олій. Перспективною є переробка сапостоку з отриманням жирних кислот, оскільки утилізація відходу є складною та небезпечною, а жирні кислоти є промислово цінним продуктом. Жирні кислоти, отримані із сапостоку, є доступною сировиною для виробництва жирнокислотних ефірів низькомолекулярних спиртів, які є основою альтернативного біодизельного палива.

Досліджено вплив умов етерифікування жирних кислот із соняшникового сапостоку (CAS Number 61788-66-7) бутанолом (CAS Number 71-36-3) у присутності каталізатору алкілбензолсульфокислоти на кислотне число реакційної суміші. Даний показник відображає підвищення вмісту бутілових ефірів.

Використані жирні кислоти, отримані із сапостоку шляхом розкладання сірчаною кислотою, відповідають вимогам ДСТУ 4860 для жирних кислот першого ґатунку. Число нейтралізації жирних кислот становить 186,0 мг КОН/г, масова частка води та летких речовин – 1,7 %, масова частка загального жиру – 97,5 %, глибина розщеплення – 67,1 % олеїнової кислоти.

Встановлено раціональні умови процесу етерифікування, які відповідають максимальному зниженню кислотного числа реакційної суміші: тривалість – 12 год., концентрація каталізатору – 3,5 %. При цьому кислотне число реакційної маси склало 4,05 мг КОН/г. Вихід продукту склав 91,5 %. Показники продукту: масова частка ефірів – 92,7 %, масова частка загального гліцерину – 0,20 %, масова частка води 0,04 %, густина за температури 15 °C – 840 кг/м³.

Одержані результати дають можливість отримувати якісну основу для біодизельного палива з використанням жирних кислот сапостоку за раціональних умов.

Ключові слова: бутілові ефіри жирних кислот, етерифікування жирних кислот, відходи олієжирової галузі.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328308

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ОДЕРЖАННЯ СИНТЕТИЧНОГО РУТИЛУ ПРИ ВИЛУГОВУВАННІ ВІДНОВЛЕНОГО САМОТКАНСЬКОГО ІЛЬМЕНІТУ РОЗЧИНАМИ ФЕРУМ(III) СУЛЬФАТУ (с. 14–23)**О. В. Кожура, Є. О. Цибуля, А. В. Дерімова, В. С. Ярошенко**

Об'єктом дослідження є процеси хімічного збагачення Самотканських ільменітових концентратів, регенерації реагентів та утилізації вилучених сполук заліза. Вирішувалась проблема розробки технології отримання синтетичного рутилу та утилізації побічних сполук феруму у продукти, на які наявний попит. Встановлено кінетичні параметри вилугування заліза розчинами ферум (III) сульфату із металізованого ільменіту, отриманого відновленням Самотканського ільменітового концентрату вуглем протягом 4 год при 1200 °C. До ступеня вилучення заліза 8 % хід кінетичних кривих узгоджується з автокаталітичною моделлю Prout Tompkins $kt = \ln(a/(1-a))$ з узяною енергією активації $E_{app} = 62.7$ кДж/моль. При більших вилученнях заліза процес переходить до моделі сфери, що стискається $kt = 1 - (1-a)^{1/3}$, з узяною енергією активації $E_{app} = 47.3$ кДж/моль. Порядок реакції по Fe^{3+} близький до першого. Додатковим вилученням домішок із осаду окиснювального вилугування при 65 °C у 15 % розчини H₂SO₄ та прожарюванням залишку при 800 °C отримано синтетичний рутит з вмістом TiO₂ 92 %. Виявлено, що регенерацію розчинів окиснювального вилугування можна здійснювати каталітичним окисненням киснем розчинів FeSO₄. При pH 1,1–1,5 та 60 °C у присутності NO ферум (II) кількісно окиснювали протягом 0,5–1,5 год. Інтенсивний масообмін при високому вмісті газу у газорідній суміші дозволяє провести окиснення без підвищеного тиску кисню та температури. Частина феруму (III) утилізована у осади кристалічного Fe₄(OH)₁₀SO₄ високої чистоти, прожарюванням їх при 750 °C одержано 99,4 % Fe₂O₃, придатного для отримання пігментів. Низькі витрати реагентів та утилізація феруму у продукти, що мають попит на ринку, визначають перспективність промислового впровадження процесу.

Ключові слова: Самотканський змінений ільменіт, синтетичний рутит, ферум(III) сульфат, гідроксосульфат, утилізація, TiO₂.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.328309

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ВОЛОКОННОГО АРМУВАННЯ КНТ ТА ВПП У НАНОКОМПОЗИТАХ З УТРАМБОВАНОЇ ЗЕМЛІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СТІЙКОСТІ (с. 24–32)**Kinanti Wijaya, Syafiatun Siregar, Sutrisno, Iswandi Idris**

Об'єктом дослідження є наноккомпозити на основі утрамбованої землі. Наноккомпозити на основі утрамбованої землі, армовані вуглецевими нанотрубками (КНТ) та волокнами порожніх пучків олійної пальми (ВПП), забезпечують нанорозмірну когезію, а волокна ВПП пропонують макророзмірне перекриття тріщин. Це дослідження спрямоване на значне покращення механічних характеристик матеріалу. Це дослідження є піонером у наноккомпозитному підході шляхом інтеграції 1–2 % КНТ та волокон ВПП в утрамбовану землю, що дозволило збільшити міцність на стиск на 539 % (з 1,43 МПа до 9,13 МПа) та опір вигину на 34,671 кН для покращення структурних характеристик, особливо для стійкості в екологічно чистому будівництві. Стандартна утрамбована земля мала

міцність на стиск 1,43 МПа та опір вигину, що обмежує її використання; Однак, коли додавали 1 % КНТ, міцність на стиск збільшилася до 6,43 МПа (куб) та 6,58 МПа (циліндр), тоді як 2 % КНТ ще більше підвищили її до 8,56 МПа та 9,13 МПа відповідно. Міцність на згин також покращилася з 0,98 МПа до 3,60 МПа (балка). Циліндричні зразки продемонстрували оптимальні характеристики завдяки рівномірному розподілу напружень (опір вигину 34,671 кН). Мікроструктурний аналіз показує, що КНТ покращують нанорозмірну когезію, тоді як волокна ВПП забезпечують перекриття тріщин макророзміру. Порівняно зі звичайним бетоном, композит зменшує вміст вуглецю на 62 % (згідно зі стандартами ISO 14040 LCA) та щільність матеріалу на 26 % (1,48 проти 2,0 г/см³). Ці результати встановлюють нову парадигму для сталого сейсмостійкого будівництва в тропічних регіонах, що розвиваються, де є рясні латеритні ґрунти та відходи пальмової олії. Синергія КНТ (нанорозмірна когезія) та ВПП (розподіл навантаження) усуває ключові обмеження. Цей матеріал підходить для екологічно чистого будівництва, сейсмостійких конструкцій та легких перегородок, пропонуючи стійку альтернативу бетону/сталі. Проект одночасно просуває екологічно чисті будівельні матеріали та надає основу для професійної освіти, яка поєднує технічні та м'які навички.

Ключові слова: вигин, утрамбована земля, порожні пучки волокон, композит, нанотрубки.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.325722

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРАТОВАНОГО ВАПНА НА САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНИЙ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИЧНИЙ АСФАЛЬТ ЗІ СТАЛЕВОГО ШЛАКУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ В ТРОПІЧНИХ УМОВАХ (с. 33–43)

Irawati, Ludfi Djakfar, Muhammad Zainul Arifin, Akhmad Sabarudin, Ilnaka Cahya Dewi, Irawan Palgunadi

У цьому дослідженні розглядається вплив добавки гашеного вапна на щебенево-мастиковий асфальт зі сталевих шлаку для індукційного нагрівання та індукованого відновлення. У ньому оцінюються самовідновлювальні властивості щебенево-мастикового асфальту зі сталевих шлаку, модифікованого гашеним вапном, у тропічних умовах.

Триточковий згин спочатку був випробуваний на суміші щебенево-мастикового асфальту зі сталевих шлаку, модифікований гашеним вапном (1 %, 2 %, 3 % та 4 % від ваги суміші). Оцінено руйнування, зміщення, стійкість до розтріскування та індекс гнучкості суміші. Згодом було досліджено руйнування, зміщення, стійкість до розтріскування, відновлення індексу гнучкості та коефіцієнт відновлення для пошкоджень та відновлення. У дослідженні використовується індукційний нагрів, який регулює температуру відповідно до природних тропічних умов. Процес відновлення порівнюється між нагріванням у тропічному середовищі та нагріванням з додатковою температурою.

Результати показали, що додавання гашеного вапна до щебенево-мастикового асфальту зі сталевих шлаку збільшило міцність на розрив, проте це покращення супроводжувалося зменшенням зміщення, стійкості до розтріскування та гнучкості. Результати дослідження показують, що коефіцієнт відновлення щебенево-мастикового асфальту зі сталевих шлаку покращується на 1 % гашеного вапна. Додавання 1 % гашеного вапна є оптимальним для покращення міцності на розрив та коефіцієнта відновлення. Міцність на розрив збільшилася на 5 % при варіації 1 % гашеного вапна. Коефіцієнт відновлення модифікованого 1 % гашеного вапна мастикового асфальту збільшився на 14,57 % за природних умов порівняно з 0 % гашеного вапна щебенево-мастикового асфальту зі сталевих шлаку. Крім того, коефіцієнт відновлення щебенево-мастикового асфальту зі сталевих шлаку з 1 % гашеного вапна, що піддавався штучному нагріванню, збільшився на 22,08 % порівняно з мастиковим асфальтом з 0 % гашеного вапна за природних умов.

Ключові слова: сталевий шлак, щебенево-мастиковий асфальт, індукційне нагрівання, самовідновлення, випробування на триточковий згин, тропічні умови.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.323027

ОЦІНКА ХІМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ БЕТОНУ З ДОБАВКАМИ НА ОСНОВІ ГРАНІТНОГО ПИЛУ ТА АКРИЛОВОГО ЛАТЕКСУ (с. 44–52)

Rauan Lukpanov, Aliya Altynbekova, Serik Yenkebaev, Denis Tsygulyov, Dinara Orazova, Zhumabek Omarov, Kuanysh Makashev

Об'єктом дослідження є хімічна стійкість бетону, модифікованого гранітним пилом та акриловим латексом. Матеріалом для дослідження були зразки бетону зі змінним складом компонентів добавок, які в подальшому піддавалися впливу агресивного середовища. Проблемаю, на вирішення якої спрямовані дослідження, є схильність бетонних конструкцій до руйнування при тривалому впливі кислотних умов, що значно скорочує термін їх служби. Це дослідження спрямоване на вирішення цієї проблеми шляхом введення модифікуючих добавок, які покращують стійкість бетону до хімічного впливу. Програма експерименту включала випробування бетонних зразків з різною концентрацією гранітного пилу (1–4 % від маси цементу) та акрилового латексу (0,1–0,4 % від маси води) у 10 % розчині сірчаної кислоти протягом до 360 діб. Втрату міцності оцінювали через регулярні проміжки часу, і для оцінки довговічності розраховували коефіцієнти хімічної стійкості. Крім того, довгострокові прогнози деградації були зроблені з використанням логарифмічних моделей. Результати показують, що оптимальний склад – 4 % гранітного пилу та 0,4 % акрилового латексу – значно покращує хімічну стійкість, при цьому зразки зберігають до 49 % своєї початкової міцності після 100 років впливу. Посилення пояснюється ефектом ущільнення гранітного пилу, який зменшує проникність, і гідрофобними властивостями акрилового латексу, які мінімізують проникнення кислоти. У порівнянні з немодифікованим бетоном запропонований склад демонструє меншу втрату міцності та вищу довговічність в агресивних умовах. Запропонований модифікований склад є надійним рішенням для продовження терміну служби залізобетонних конструкцій, що піддаються хімічній деградації.

Ключові слова: бетон, гранітний пил, акриловий латекс, хімічна стійкість, міцність на вигин.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.322590

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КІЛЬКОСТІ ПОЛІПРОПІЛЕНОВОЇ ФІБРИ ТА ПЛАСТИФІКАТОРУ НА МІЦНІСТЬ І ЗНОСОСТІЙКІСТЬ БЕТОНІВ ЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ (с. 53–60)**С. О. Кровяков, О. І. Фіногенов, А. В. Ігнатенко**

Об'єктом дослідження є модифіковані пластифікатором лігносульфонатного типу бетони і фібробетони жорстких дорожніх покриттів з поліпропіленової фіброю. Вирішується проблема отримання бетонів з підвищеною міцністю і зносостійкістю. У проведеному за D-оптимальним планом експерименті варіювалися 3 фактори складу: кількість цементу ($300\text{--}380\text{ кг/м}^3$), пластифікатору на базі лігносульфонатів ($0,6\text{--}1,0\%$), поліпропіленової фібри з довжиною волокон 39 мм ($0\text{--}3\text{ кг/м}^3$). Всі бетонні суміші мали рухомість S1.

Розраховано комплекс експериментально-статистичних моделей. Встановлено, що при підвищенні кількості пластифікатору В/Ц суміші знижується на $12\text{--}15\%$ а введення фібри несуттєво впливає на В/Ц. За рахунок введення фібри міцність бетонів на стиск у проектному віці зростає приблизно на $3,5\text{ МПа}$, рання міцність на стиск практично не змінюється, міцність на розтяг при згині зростає на $0,5\text{--}0,6\text{ МПа}$, стиранність знижується на $0,07\text{--}0,08\text{ г/см}^2$ ($17\text{--}19\%$). Найбільш відчутні зміни властивостей відбуваються при введенні фібри у кількості $2\text{--}2,5\text{ кг/м}^3$. При збільшенні кількості цементу підвищується міцність та зносостійкість бетонів, а також ефективність використання дисперсного армування.

При підвищенні кількості пластифікатору з $0,6$ до $0,9\%$ міцність бетонів на стиск у віці 3 діб зростає приблизно на 2 МПа , у проектному віці зростає приблизно на 5 МПа , обмежено зростає міцність на розтяг при згині та знижується стиранність бетонів (підвищується зносостійкість).

За рахунок дисперсного армування і використання раціональної кількості пластифікатору отримано бетони дорожніх покриттів з необхідною для заданої категорії дороги міцністю та підвищеною зносостійкістю при зниженій витраті в'язучого, які можуть використовуватися на практиці.

Ключові слова: поліпропіленова фібра, пластифікатор, жорстке дорожнє покриття, міцність бетону, зносостійкість бетону, експериментально-статистичне моделювання.