

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352268

DETERMINATION OF THE POSSIBILITY OF OBTAINING BALLASTLESS NI(II)-NI(III) LAYERED DOUBLE HYDROXIDES AS PROMISING ACTIVE SUBSTANCES FOR SUPERCAPACITORS AND ELECTROCATALYSIS (p. 6–15)

Vadym KovalenkoUkrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8012-6732>**Dmytro Andreiev**Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1636-1671>**Valerii Kotok**Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8879-7189>**Alexander Baskevich**Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3227-5637>**Volodymyr Medianyuk**

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5403-5338>**Dmytro Sukhomlyn**

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5714-3454>**Volodymyr Verbitskiy**National Pedagogical Dragomanov University, Kyiv, Ukraine
National Ecology and Nature Center, Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7045-8293>

This study is aimed to investigate the synthesis of Ni²⁺-Ni³⁺ LDH (layered double hydroxide) in the presence of sodium hypochlorite. Ni²⁺-Ni³⁺ LDH is a promising active material for use in supercapacitors and electrocatalysis. The syntheses were carried out at a temperature of 60°C by coprecipitation under conditions of high supersaturation and at constant pH values (8, 10, and 12). To obtain the guest metal cation Ni³⁺ from the initial Ni²⁺ during synthesis, sodium hypochlorite was introduced as an oxidizing agent into the alkaline sodium carbonate solution. As control samples, Ni-Al-carbonate LDH were synthesized using the same methods and conditions. The formation of Ni³⁺ hydroxo compounds during synthesis was visually confirmed by a color change. The crystal structure of the samples was investigated by X-ray diffraction analysis, and the total Ni and Ni³⁺ contents were determined by trilonometric and iodometric titration. The samples synthesized in the presence of hypochlorite exhibited a black color, confirming the successful formation of Ni³⁺ hydroxo compounds. All control samples corresponded to Ni-Al LDH. The nickel hydroxide sample synthesized by coprecipitation at high supersaturation was identified as β-Ni(OH)₂, with a total Ni content of 59.5% and a Ni³⁺ fraction of 12.2%. The transformation of Ni²⁺ → Ni³⁺ occurred in

the surface layer of the formed β-Ni(OH)₂ particles because the oxidation rate was lower than the hydroxide formation rate. The samples synthesized by coprecipitation at constant pH exhibited a layered structure consisting of β-Ni(OH)₂ and Ni²⁺-Ni³⁺ LDH with an α-type lattice, suggesting that the oxidation rate exceeded the hydroxide formation rate. Thus, the possibility of synthesizing Ni²⁺-Ni³⁺-carbonate LDH was experimentally demonstrated. Under the optimal conditions (pH 8), the proportion of the Ni-Ni LDH phase reached 55.9%. The synthesized Ni²⁺-Ni³⁺ LDH shows potential for application in supercapacitors and electrocatalysis, provided that its specific electrochemical characteristics are determined in further studies.

Keywords: coprecipitation at high supersaturation, coprecipitation at constant pH, Ni²⁺-Ni³⁺ LDH, sodium hypochlorite.

References

- Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). Definition of the aging process parameters for nickel hydroxide in the alkaline medium. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (92)), 54–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127764>
- Liang, H., Lin, J., Jia, H., Chen, S., Qi, J., Cao, J., Lin, T., Fei, W., Feng, J. (2018). Hierarchical NiCo-LDH/NiCoP@NiMn-LDH hybrid electrodes on carbon cloth for excellent supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry A*, 6 (31), 15040–15046. <https://doi.org/10.1039/c8ta05065a>
- Kovalenko, V., Kotok, V., Kovalenko, I. (2018). Activation of the nickel foam as a current collector for application in supercapacitors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (12 (93)), 56–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133472>
- Kotok, V. A., Kovalenko, V. L., Solovov, V. A., Kovalenko, P. V., Ananchenko, B. A. (2018). Effect of deposition time on properties of electrochromic nickel hydroxide films prepared by cathodic template synthesis. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13 (9), 3076–3086. Available at: https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0518_7034.pdf
- Wang, Y., Zhang, D., Peng, W., Liu, L., Li, M. (2011). Electro-catalytic oxidation of methanol at Ni–Al layered double hydroxide film modified electrode in alkaline medium. *Electrochimica Acta*, 56 (16), 5754–5758. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.04.049>
- Solovov, V. A., Nikolenko, N. V., Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Burkov, A. A., Kondrat'ev, D. A. et al. (2018). Synthesis of Ni(II)-Ti(IV) Layered Double Hydroxides Using Coprecipitation At High Supersaturation Method. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 24 (13), 9652–9656. Available at: https://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_1218_7500.pdf
- Zhao, Y., Wei, M., Lu, J., Wang, Z. L., Duan, X. (2009). Biotemplated Hierarchical Nanostructure of Layered Double Hydroxides with Improved Photocatalysis Performance. *ACS Nano*, 3 (12), 4009–4016. <https://doi.org/10.1021/nn901055d>
- Su, Q., Gu, L., Yao, Y., Zhao, J., Ji, W., Ding, W., Au, C.-T. (2017). Layered double hydroxides derived Ni_x(Mg_yAl_zO_n) catalysts: Enhanced ammonia decomposition by hydrogen spillover effect. *Applied Catalysis B: Environmental*, 201, 451–460. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.051>

9. Fedorova, Z. A., Borisov, V. A., Pakharukova, V. P., Gerasimov, E. Y., Belyaev, V. D., Gulyaeva, T. I. et al. (2023). Layered Double Hydroxide-Derived Ni-Mg-Al Catalysts for Ammonia Decomposition Process: Synthesis and Characterization. *Catalysts*, 13 (4), 678. <https://doi.org/10.3390/catal13040678>
10. Fan, Y., Yang, Z., Cao, X., Liu, P., Chen, S., Cao, Z. (2014). Hierarchical Macro-Mesoporous Ni(OH)₂ for Nonenzymatic Electrochemical Sensing of Glucose. *Journal of The Electrochemical Society*, 161 (10), B201–B206. <https://doi.org/10.1149/2.0251410jes>
11. Ramesh, T. N., Kamath, P. V. (2006). Synthesis of nickel hydroxide: Effect of precipitation conditions on phase selectivity and structural disorder. *Journal of Power Sources*, 156 (2), 655–661. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.05.050>
12. Rajamathi, M., Vishnu Kamath, P., Seshadri, R. (2000). Polymorphism in nickel hydroxide: role of interstratification. *Journal of Materials Chemistry*, 10 (2), 503–506. <https://doi.org/10.1039/a905651c>
13. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Influence of the carbonate ion on characteristics of electrochemically synthesized layered ($\alpha+\beta$) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (97)), 40–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155738>
14. Jayashree, R. S., Vishnu Kamath, P. (2001). Suppression of the $\alpha \rightarrow \beta$ -nickel hydroxide transformation in concentrated alkali: Role of dissolved cations. *Journal of Applied Electrochemistry*, 31 (12), 131–1320. <https://doi.org/10.1023/a:1013876006707>
15. Córdoba de Torresi, S. I., Provazi, K., Malta, M., Torresi, R. M. (2001). Effect of Additives in the Stabilization of the α Phase of Ni(OH)₂ Electrodes. *Journal of The Electrochemical Society*, 148 (10), A1179–A1184. <https://doi.org/10.1149/1.1403731>
16. Kovalenko, V., Kotok, V., Yeroshkina, A., Zaychuk, A. (2017). Synthesis and characterisation of dyeintercalated nickelaluminium layered-double hydroxide as a cosmetic pigment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 27–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109814>
17. Shivaramaiah, R., Navrotsky, A. (2015). Energetics of Order–Disorder in Layered Magnesium Aluminum Double Hydroxides with Interlayer Carbonate. *Inorganic Chemistry*, 54 (7), 3253–3259. <https://doi.org/10.1021/ic502820q>
18. Kovalenko, V., Kotok, V. (2020). Bifunctional indigocarminintercalated NiAl layered double hydroxide: investigation of characteristics for pigment and supercapacitor application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (104)), 30–39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201282>
19. Li, Y. W., Yao, J. H., Liu, C. J., Zhao, W. M., Deng, W. X., Zhong, S. K. (2010). Effect of interlayer anions on the electrochemical performance of Al-substituted α -type nickel hydroxide electrodes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(6), 2539–2545. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.01.015>
20. Qi, J., Xu, P., Lv, Z., Liu, X., Wen, A. (2008). Effect of crystallinity on the electrochemical performance of nanometer Al-stabilized α -nickel hydroxide. *Journal of Alloys and Compounds*, 462 (1-2), 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.07.102>
21. Li, H., Chen, Z., Wang, Y., Zhang, J., Yan, X. (2016). Controlled synthesis and enhanced electrochemical performance of self-assembled rosette-type Ni-Al layered double hydroxide. *Electrochimica Acta*, 210, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.05.132>
22. Bao, J., Zhu, Y. J., Xu, Q. S., Zhuang, Y. H., Zhao, R. D., Zeng, Y. Y., Zhong, H. L. (2012). Structure and Electrochemical Performance of Cu and Al Codoped Nanometer α -Nickel Hydroxide. *Advanced Materials Research*, 479-481, 230–233. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.479-481.230>
23. Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A., Ananchenko, B. A., Chernyad'ev, A. V., Burkov, A. A. et al. (2020). Al³⁺ Additive in the Nickel Hydroxide Obtained by High-Temperature Two-Step Synthesis: Activator or Poisoner for Chemical Power Source Application? *Journal of The Electrochemical Society*, 167 (10), 100530. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab9a2a>
24. Huang, J., Lei, T., Wei, X., Liu, X., Liu, T., Cao, D., Yin, J., Wang, G. (2013). Effect of Al-doped β -Ni(OH)₂ nanosheets on electrochemical behaviors for high performance supercapacitor application. *Journal of Power Sources*, 232, 370–375. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.01.081>
25. Memon, J., Sun, J., Meng, D., Ouyang, W., Memon, M. A., Huang, Y. et al. (2014). Synthesis of graphene/Ni–Al layered double hydroxide nanowires and their application as an electrode material for supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry A*, 2 (14), 5060–5067. <https://doi.org/10.1039/c3ta14613h>
26. Mignani, A., Ballarin, B., Giorgetti, M., Scavetta, E., Tonelli, D., Boanini, E. et al. (2013). Heterostructure of Au Nanoparticles – NiAl Layered Double Hydroxide: Electrosynthesis, Characterization, and Electrocatalytic Properties. *The Journal of Physical Chemistry C*, 117 (31), 16221–16230. <https://doi.org/10.1021/jp4033782>
27. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Investigation of characteristics of double Ni–Co and ternary Ni–Co–Al layered hydroxides for supercapacitor application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (6 (98)), 58–66. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.164792>
28. Kovalenko, V., Kotok, V. (2021). The determination of synthesis conditions and color properties of pigments based on layered double hydroxides with Co as a guest cation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (6 (114)), 32–38. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247160>
29. Radha, A. V., Kamath, P. V. (2004). Oxidative leaching of chromium from layered double hydroxides: Mechanistic studies. *Bulletin of Materials Science*, 27 (4), 355–360. <https://doi.org/10.1007/bf02704772>
30. Xu, L., Wang, Z., Chen, X., Qu, Z., Li, F., Yang, W. (2018). Ultrathin layered double hydroxide nanosheets with Ni(III) active species obtained by exfoliation for highly efficient ethanol electrooxidation. *Electrochimica Acta*, 260, 898–904. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.12.065>
31. Nestroinaia, O. V., Ryltsova, I. G., Lebedeva, O. E. (2021). Effect of Synthesis Method on Properties of Layered Double Hydroxides Containing Ni(III). *Crystals*, 11 (11), 1429. <https://doi.org/10.3390/cryst11111429>
32. Ryltsova, I. G., Nestroinaia, O. V., Lebedeva, O. E., Schroeter, F., Roessner, F. (2018). Synthesis and characterization of layered double hydroxides containing Nickel in unstable oxidation state + 3 in cationic sites. *Journal of Solid State Chemistry*, 265, 332–338. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2018.06.001>
33. Ryltsova, I. G., Nestroinaia, O. V., Lebedeva, O. E. (2019). Nickel(III) containing layered double hydroxides with hydrotalcite structure. *Butlerov Communications*, 57 (2), 116–122. <https://doi.org/10.37952/roi-jbc-01/19-57-2-116>
34. Kovalenko, V., Kotok, V. (2019). Anionic carbonate activation of layered ($\alpha+\beta$) nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(6 (99)), 44–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169461>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352348

DETERMINING THE IDENTIFICATION OF PARAMETERS FOR THE MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN CONDUCTOMETRIC MODELS (p. 16–24)

Vitaliy Chumak

State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1574-2862>

Mariia Maksymiuk

State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6953-8437>

Andrii Kopanytsia

State University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8360-3053>

Using an aqueous solution of acetic acid as an example, this study has investigated a mathematical model of the electrical conductivity of weak electrolyte dilute solutions.

To resolve the issue of identification and reliability in determining the parameters for the mathematical model of the electrical conductivity of dilute solutions of weak electrolytes, the determinant of the Fisher information matrix was calculated.

The issues related to determining the association constants and the limiting molar electrical conductivity of weak electrolytes under different conditions of experimental experiments were identified and explained.

This paper reports results of mathematical processing of conductometric data for aqueous solutions of acetic acid.

It was established that for weak, associated electrolytes, when determining the association constants and the limiting molar coefficients, it is necessary to take into account the existence of a correlation between them.

It is proven that at large values of the association constant ($5.58 \cdot 10^4$ mol/L) the determinant of the Fisher information matrix is close to zero and there is a structural non-identification of parameters for the mathematical model of electrical conductivity of dilute solutions of weak electrolytes.

It is shown that the results of mathematical processing of conductometric data for aqueous solutions of acetic acid indicate the presence of structural non-identification. This is confirmed by the values of the determinant of the Fisher information matrix, which is equal to $5.5 \cdot 10^{-8}$, and the normalized index of 0.988.

Analysis of the shape of the surface of the objective functions of the studied mathematical models and the form of the average error ellipse reveals the existence of a canyon with an almost flat bottom, which complicates the interpretation and reliability of parameters for the mathematical model of electrical conductivity.

The results confirm the possibility of structural non-identification of parameters for the mathematical model of the electrical conductivity of dilute solutions of weak electrolytes.

Keywords: conductometry, Fisher matrix, parameter non-identification, weak electrolytes, association constant, electrical conductivity.

References

- Belsley, D. A., Kuh, E., Welsch, R. E. (1980). *Regression Diagnostics*. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0471725153>
- Montgomery, C. D., Peck, A. E., Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. Wiley, 672.
- Walter É., Pronzato L. (1997). Identification of parametric models from experimental data. Springer, 413.
- Fisher, R. A. (1922). On the mathematical foundations of theoretical statistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 222 (594-604), 309–368. <https://doi.org/10.1098/rsta.1922.0009>
- Jacquez, J. A., Greif, P. (1985). Numerical parameter identifiability and estimability: Integrating identifiability, estimability, and optimal sampling design. *Mathematical Biosciences*, 77 (1-2), 201–227. [https://doi.org/10.1016/0025-5564\(85\)90098-7](https://doi.org/10.1016/0025-5564(85)90098-7)
- Schmidt, P. J., Emelko, M. B., Thompson, M. E. (2019). Recognizing Structural Nonidentifiability: When Experiments Do Not Provide Information About Important Parameters and Misleading Models Can Still Have Great Fit. *Risk Analysis*, 40 (2), 352–369. <https://doi.org/10.1111/risa.13386>
- Takam Soh, P., Kouassi, E., Bosson Brou, J. M., Nadarajah, S. (2025). Fisher Information Matrix for Two-way Random e Effects Model with Heteroscedasticity: Accepted - January 2024. *REVSTAT-Statistical Journal*, 23 (4), 543–567. <https://doi.org/10.57805/revstat.v23i4.647>
- Ahmad, R., Johansson, P., Schultzberg, M. (2024). Is Fisher inference inferior to Neyman inference for policy analysis? *Statistical Papers*, 65 (6), 3425–3445. <https://doi.org/10.1007/s00362-024-01528-2>
- Ho, L. B. (2023). A stochastic evaluation of quantum Fisher information matrix with generic Hamiltonians. *EPJ Quantum Technology*, 10 (1). <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-023-00195-w>
- Geremia, M., Macchietto, S., Bezzo, F. (2026). A review on model-based design of experiments for parameter precision – Open challenges, trends and future perspectives. *Chemical Engineering Science*, 319, 122347. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2025.122347>
- Raue, A., Kreutz, C., Maiwald, T., Bachmann, J., Schilling, M., Klingmüller, U., Timmer, J. (2009). Structural and practical identifiability analysis of partially observed dynamical models by exploiting the profile likelihood. *Bioinformatics*, 25 (15), 1923–1929. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btp358>
- Safonova, L. P., Kolker, A. M. (1992). Conductometry of electrolyte solutions. *Russian Chemical Reviews*, 61 (9), 959–973. <https://doi.org/10.1070/rc1992v061n09abeh001009>
- Kontogeorgis, G. M., Maribo-Mogensen, B., Thomsen, K. (2018). The Debye-Hückel theory and its importance in modeling electrolyte solutions. *Fluid Phase Equilibria*, 462, 130–152. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2018.01.004>
- Zhang, W., Chen, X., Wang, Y., Wu, L., Hu, Y. (2020). Experimental and Modeling of Conductivity for Electrolyte Solution Systems. *ACS Omega*, 5 (35), 22465–22474. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03013>
- Logan, E. R., Tonita, E. M., Gering, K. L., Dahn, J. R. (2018). A Critical Evaluation of the Advanced Electrolyte Model. *Journal of The Electrochemical Society*, 165 (14), A3350–A3359. <https://doi.org/10.1149/2.0471814jes>
- Hojo, M. (2008). Elucidation of specific ion association in nonaqueous solution environments. *Pure and Applied Chemistry*, 80 (7), 1539–1560. <https://doi.org/10.1351/pac200880071539>
- Gonçalves, M. L. N., Menezes, T. C. (2020). Gauss-Newton methods with approximate projections for solving constrained nonlinear least squares problems. *Journal of Complexity*, 58, 101459. <https://doi.org/10.1016/j.jco.2020.101459>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352344

IDENTIFICATION OF THE IMPACT OF CANDLENUT OIL MODIFIERS ON LGA DYNAMIC RESILIENCE (p. 25–33)

Lila Khamelda

Widya Karya Catholic University, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1022-2008>

Sunik

Widya Karya Catholic University, Malang, East Java, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4504-3122>

Buton asphalt is an alternative material for road surfacing from Indonesia. Cold paving hot mix asbuton (CPHMA) is one of the buton asphalt technologies that has great potential as an alternative to conventional asphalt pavement; however, it still possesses several limitations that remain the focus of ongoing scientific research.

The problem solved by this study is the improvement in CPHMA performance as the storage duration of the mixture increases, which is a controlling factor in conventional CPHMA products.

The results show that the use of candlenut oil modifier improves the CPHMA performance. The study is focused on the CPHMA performance with variations in the storage duration of the ready-mix.

This study shows that the highest resistance from fatigue and creep tests was obtained at a storage duration of 21 days. There was an anomaly in the stiffness modulus test, where the highest resistance was obtained from the 7-day sample. However, this value is somewhat questionable because the two samples used yielded a high standard deviation. Therefore, if to disregard the results from this sample, the sample with the highest resistance is the same as in the fatigue and creep tests.

The most distinctive feature of these results is the discovery of increased CPHMA resistance to dynamic loads that increases with storage duration. This contradicts the CPHMA product manufactured by the factory.

Regarding the scope of practical use, the results obtained in this study indicate that CPHMA modified with candlenut oil is very suitable for low-volume pavement applications, especially in areas that do not have an Asphalt Mixing Plant. Certain conditions of use, field application is ideally carried out during dry weather to effectively facilitate the evaporation of volatile bio-modifiers, ensuring the mixture reaches the desired stiffness as shown in the laboratory results.

Keywords: fatigue, stiffness modulus, creep, lawele granular asphalt, CPHMA, dynamic loads.

References

- Yuniarti, R. (2015). Performance of bio-flux oil as modifier of buton granular asphalt in asphalt concrete-wearing course. *Journal of JSCE*, 3 (1), 33–44. https://doi.org/10.2208/journalofjsce.3.1_33
- Zalman, Yulianto, B., Setyawan, A. (2017). Assessing the durability of North Buton Asphalt seal with Polymer Modified and Rejuvenation in warm mixture design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 176, 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/176/1/012034>
- Djakfar, L., Wisnumurti, Khamelda, L. (2020). Methods of Making Laboratory Scale CPHMA Specimens. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/347439806_Methods_of_Making_Laboratory_Scale_CPHMA_Specimens
- Djakfar, L., Wisnumurti, Khamelda, L. (2022). Performance of CPHMA Incorporating Vegetable Oil as Asbuton Solution. *Key Engineering Materials*, 912, 1–16. <https://doi.org/10.4028/p-c85t83>
- Khamelda, L., Djakfar, L., Wisnumurti, Gapsari, F. (2022). Optimization of CPHMA Mixture Composition with Candlenut Oil Modifier. *12 APTE* 2022.
- Ministry of Public Works and Housing, Directorate General of Highways, Guidelines for Selecting Preventive Maintenance Technology for Road Pavements. Indonesia, 2017. in Indonesian. Available at: <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/1475/manual-desain-perkerasan-jalan-no-04sedb2017.pdf>
- Petrauskas, D., Saleem, U. (2015). *The Shell bitumen handbook*. Shell. Available at: <https://basekim.com/wp-content/uploads/2023/07/the-shell-bitumen-handbook.pdf>
- Khamelda, L., Djakfar, L., Wisnumurti, Gapsari, F. (2024). The Effect of Storage Duration on the Resistance to Marshall Stability, Rutting, and Tensile Strength of CPHMA Modified Using Candlenut Oil. *International Conference on Road and Airfield Pavement Technology 2023*, 598–606. <https://doi.org/10.1061/9780784485255.049>
- Adithya, A. P., Subagio, B. S., Kosasih, D., Hendarto, S. (2016). Evaluasi Karakteristik Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Campuran Beton Beraspal (AC-Binder Course) Menggunakan Campuran Agregat Berabrasi Tinggi. *Jurnal Teknik Sipil*, 23 (3), 223–232. <https://doi.org/10.5614/jts.2016.23.3.7>
- Junaid, M., Irfan, M., Ahmed, S., Ali, Y. (2018). Effect of binder grade on performance parameters of asphaltic concrete paving mixtures. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11 (5), 435–444. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.11.006>
- Thanaya, I. N. A., Suweda, I. W., Sparsa, A. A. (2017). Perbandingan Karakteristik Campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) yang Dipadatkan Secara Dingin dan Panas. *Jurnal Teknik Sipil*, 24 (3), 247–256. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.3.8>
- Anwar, M. K., Shah, S. A. R., Sadiq, A. N., Siddiq, M. U., Ahmad, H., Nawaz, S. et al. (2020). Symmetric Performance Analysis for Mechanical Properties of Sustainable Asphalt Materials under Varying Temperature Conditions: An Application of DT and NDT Digital Techniques. *Symmetry*, 12 (3), 433. <https://doi.org/10.3390/sym12030433>
- Zhang, Y., Zhou, Y., Hu, X., Wan, J., Gan, W., Jing, Y. et al. (2023). Research on Durability and Long-Term Moisture Stability Improvement of Asphalt Mixture Based on Buton Rock Asphalt. *Sustainability*, 15 (17), 12708. <https://doi.org/10.3390/su151712708>
- Mączka, E., Mackiewicz, P. (2023). Asphalt Mixtures Fatigue Life Considering Various Environmental Impacts. *Materials*, 16 (3), 966. <https://doi.org/10.3390/ma16030966>
- Ramdhani, F., Rahman, H., Subagio, B. S. (2021). Mechanistic Rheological Evaluation of Asbuton Modified Asphalt on Stiffness Modulus of Asphalt. *Journal of Physics: Conference Series*, 2049 (1), 012090. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2049/1/012090>
- Li, Y., Guo, M., Liu, X. (2020). Macroscopic and Microscopic Characterization of the Effect of “Activation” Process on the Performance of Buton Rock Asphalt-Modified Asphalt. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020 (1). <https://doi.org/10.1155/2020/8148930>
- Karyawan, I. D. M. A., Yuniarti, R., Widiyanti, D., Hasyim, H., Wahyudi, M. (2022). Impact Curing Time and Compaction Methods to the Performance of Hot Mix Asphalt Asbuton. *Civil Engineering and Architecture*, 10 (5), 2054–2064. <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100526>

18. Diaz, L. G. (2016). Creep performance evaluation of Cold Mix Asphalt patching mixes. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9 (2), 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.04.002>
19. BS EN 12697-24:2012. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt - Resistance to fatigue. Available at: <https://knowledge.bsigroup.com/products/bituminous-mixtures-test-methods-for-hot-mix-asphalt-resistance-to-fatigue-1>
20. Xie, J., Wu, S., Pang, L., Lin, J., Zhu, Z. (2012). Influence of surface treated fly ash with coupling agent on asphalt mixture moisture damage. *Construction and Building Materials*, 30, 340–346. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.022>
21. BS EN 12697-26:2018 – TC Bituminous mixtures. Test methods - Stiffness. Available at: <https://knowledge.bsigroup.com/products/bituminous-mixtures-test-methods-stiffness>
22. Thanaya, I. N. A. (2007). Hot Asphalt Pavement Mixtures Incorporating All Waste Materials. *Media Tek. Sipil*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/277878153_HOT_ASPHALT_PAVEMENT_MIXTURES_INCORPORATING_ALL_WASTE_MATERIALS
23. Thanya, I. N. A., Suweda, I. W., Putra, G. K. (2018). Performance of Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Utilizing Reclaimed Asphalt Pavement from Cold Milling Bound with 80/100 Pen Asphalt. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316, 012037. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/316/1/012037>
24. Harvey, N. (2009). Evaluation of Indirect Tensile Strength as Design Criteria for Superpave Mixtures. North Carolina. Available at: <https://repository.lib.ncsu.edu/items/f9514dc9-7af5-4685-86d8-1d511abf58cf>
25. Syifaurrehman, D., Fauzan, M., Sudibyo, T. (2019). Evaluasi Geometri dan Perlengkapan Jalan Lingkar Leuwiliang Bogor. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 4 (2), 149–168. <https://doi.org/10.29244/jsil.4.2.149-168>
26. Wang, T., Wang, J., Hou, X., Xiao, F. (2019). Effects of SARA fractions on low temperature properties of asphalt binders. *Road Materials and Pavement Design*, 22 (3), 539–556. <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1628803>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352346

IDENTIFICATION OF MECHANICAL AND TECHNO-ECONOMIC IMPACTS OF RECYCLED BRICK DEMOLITION WASTE IN PAVING BLOCK PRODUCTION (p. 34–42)

Ketut Sugiharto

Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6742-8786>

Marjono

Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6886-0141>

Gatot Ciptadi

Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7806-7411>

Wisnumurti

Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2939-2170>

This study focuses on paving block composites using fine aggregate from brick construction and demolition waste (CDW). The study addresses two issues that contribute to excessive resource extraction,

environmental degradation, and rising material costs in urban construction: the steadily increasing production of brick CDW and the growing reliance on natural sand in the production of paving blocks. The accumulation of brick CDW in landfills and uncontrolled disposal further emphasizes the need for technically and economically feasible alternative material solutions. The results demonstrate that recycled brick CDW aggregates can be seamlessly incorporated into cement-based paving composites due to their complementary mineral compositions. Mechanical testing confirms that paving blocks made from recycled CDW have a noticeably higher compressive strength than natural sand. This performance improvement is caused by the rough surface and angular particle shape of brick CDW. These elements enhance the cement matrix's and aggregate's mechanical interlocking, creating a stronger composite structure. Furthermore, comparative analysis demonstrates that paving blocks manufactured with recycled brick CDW can achieve up to two times higher compressive strength while reducing production costs by about 50% when compared to conventional combinations. These findings suggest that recycled brick aggregates outperform natural sand in terms of cost and structural soundness. These findings suggest that recycled brick aggregates outperform natural sand in terms of cost and structural soundness. The study's findings can be used to support more resource-efficient and environmentally friendly building techniques, particularly in urban areas where brick demolition waste is easily accessible.

Keywords: brick waste, circular economics, paving block, substance aggregate, sustainable construction.

References

1. Goyal, H., Kumar, R., Mondal, P. (2023). Life cycle analysis of paver block production using waste plastics: Comparative assessment with concrete paver blocks. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136857. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136857>
2. Asif, U., Javed, M. F. (2024). Optimizing plastic waste inclusion in paver blocks: Balancing performance, environmental impact, and cost through LCA and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 478, 143901. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143901>
3. Kovalchuk, O., Zozulynets, V., Popruha, P., Grabovchak, V. (2025). Mix design of the composition of general construction concrete based on recycled aggregates. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (6 (137)), 49–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.340832>
4. Iftikhar, B., Alih, S. C., Vafaei, M., Alkhatabi, L., Althoey, F., Ali, M., Javed, M. F. (2024). Sustainable use of plastic waste in plastic sand paver blocks: An experimental and modelling-based study. *Structures*, 62, 106285. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106285>
5. Sugiharto, K., Marjono, M., Ciptadi, G., Wisnumurti, W. (2025). Evaluating environmental sustainability and ecosystem disruption caused by construction demolition waste in a university precinct: a case study from Malang, Southeast Asia. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (136)), 28–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.338119>
6. Viranthy Dian Pertiwi, A., Caronge, M. A., Tjaronge, M. W. (2024). Producing Eco-Friendly Concrete Paving Block Using Waste Refractory Brick Aggregates. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 18 (6), 1399–1411. <https://doi.org/10.1007/s42947-024-00425-z>
7. Agrawal, R., Singh, S. K., Singh, S., Prajapat, D. K., Sudhanshu, S., Kumar, S. et al. (2023). Utilization of Plastic Waste in Road Paver

- Blocks as a Construction Material. *CivilEng*, 4 (4), 1071–1082. <https://doi.org/10.3390/civileng4040058>
8. Mohamad, H. M. (2022). Manufacture of concrete paver block using waste materials and by-products: a review. *International Journal of GEOMATE*, 22 (93). <https://doi.org/10.21660/2022.93.j2363>
 9. Christensen, T. B., Johansen, M. R., Buchard, M. V., Glarborg, C. N. (2022). Closing the material loops for construction and demolition waste: The circular economy on the island Bornholm, Denmark. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15, 200104. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200104>
 10. Ram, V. G., Kishore, K. C., Kalidindi, S. N. (2020). Environmental benefits of construction and demolition debris recycling: Evidence from an Indian case study using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120258>
 11. López Ruiz, L. A., Roca Ramón, X., Gassó Domingo, S. (2020). The circular economy in the construction and demolition waste sector – A review and an integrative model approach. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119238>

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352268**ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ БЕЗБАЛАСТНИХ Ni(II)-Ni(III) ПОДВІЙНО-ШАРУВАТИХ ГІДРОКСИДІВ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИХ АКТИВНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ ТА ЕЛЕКТРОКАТАЛІЗУ (с. 6–15)****В. Л. Коваленко, Д. А. Андреев, В. А. Коток, О. С. Баскевич, В. Ю. Медяник, Д. А. Сухомлин, В. В. Вербицький**

Об'єктом дослідження є процес синтезу Ni^{2+} - Ni^{3+} ПШГ (подвійно-шаруватого гідроксиду) в присутності гіпохлориту натрію. Безбаластний Ni^{2+} - Ni^{3+} ПШГ є перспективною активною речовиною для використання в суперконденсаторах та електрокаталізі. Проведені синтези при температурі 60°C методами співсаджання при високому пересиченні та при сталому рН (8, 10, 12). Для отримання катіону металу-гостя Ni^{3+} з вихідного катіону Ni^{2+} під час синтезу в розчин луку та карбонату натрію вводили гіпохлорит натрію як окисник. В якості контрольних зразків були синтезовані Ni-Al-карбонатні ПШГ тими же методами та умовами. Утворення під час синтезу гідроксосопок Ni^{3+} фіксували візуально по кольору. Кристалічна структура зразків досліджена методом рентгенофазового аналізу, вміст загального Ni та Ni^{3+} – методами трилонометричного та йодометричного титрування. Зразки, синтезовані в присутності гіпохлориту, мають чорний колір, що підтверджує успішне утворення гідроксосопок Ni^{3+} . Всі контрольні зразки є Ni-Al ПШГ. Нікель-гідроксидний зразок, синтезований співсаджанням при високому пересиченні, є β -Ni(OH)₂, з вмістом загального Ni 59,5% та часткою Ni^{3+} 12,2%. Перетворення $Ni^{2+} \rightarrow Ni^{3+}$ відбувалося в поверхневому шарі утворених часток β -Ni(OH)₂ тому що, швидкість окиснення менше швидкості формування гідроксиду. Зразки, синтезовані співсаджанням при постійному рН, мають шарувату структуру, що складається з β -Ni(OH)₂ та Ni^{2+} - Ni^{3+} ПШГ з α -решіткою. Ймовірно швидкість окиснення перевищує швидкість утворення гідроксиду. Таким чином експериментально показана можливість синтезу саме Ni^{2+} - Ni^{3+} -карбонатного ПШГ. В найкращих умовах (рН = 8) частка Ni-Ni ПШГ складає 55,9%. Синтезований Ni^{2+} - Ni^{3+} ПШГ може бути успішно використаний в суперконденсаторах та електрокаталізі за умови визначення в подальших дослідженнях питомих електрохімічних характеристик.

Ключові слова: співсаджання при високому пересиченні, співсаджання при постійному рН, Ni^{2+} - Ni^{3+} ПШГ, гіпохлорит натрію.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352348**ВИЗНАЧЕННЯ ІДЕНТИФІКОВАНOSTI ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ У КОНДУКТОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЯХ (с. 16–24)****В. Л. Чумак, М. Р. Максимюк, А. А. Копаниця**

У роботі на прикладі водного розчину оцтової кислоти досліджена математична модель електропровідності розведених розчинів слабких електролітів.

Для вирішення питання ідентифікації та достовірності визначення параметрів математичної моделі електропровідності розведених розчинів слабких електролітів проведено розрахунок детермінанту інформаційної матриці Фішера.

Виявлені та пояснені проблеми визначення констант асоціації та граничної молярної електропровідності слабких електролітів за різних умов проведення експериментальних дослідів.

Представлені результати математичної обробки кондуктометричних даних для водних розчинів оцтової кислоти.

Встановлено, що для слабких, асоційованих електролітів під час визначення констант асоціації та граничної молярної коефіцієнтів потрібно враховувати наявність кореляції між ними.

Доведено, що за великих значень константи асоціації ($5,58 \cdot 10^4$ mol/L) детермінант інформаційної матриці Фішера близький до нуля і виникає структурна неідентифікованість параметрів математичної моделі електропровідності розведених розчинів слабких електролітів.

Показано, що результати математичної обробки кондуктометричних даних для водних розчинів оцтової кислоти свідчать о наявності структурної неідентифікованості. Це підтверджується величинами детермінанту інформаційної матриці Фішера, який дорівнює $5,5 \cdot 10^{-8}$, та нормованим показником 0,988.

Проведений аналіз форми поверхні функцій цілі дослідженої математичних моделей та вигляд середнього еліпса похибок свідчить про наявність каньйону з майже плоским дном, що ускладнює інтерпретацію та достовірність параметрів математичної моделі електропровідності.

Отримані результати підтверджують можливість наявності виникнення структурної неідентифікованості параметрів математичної моделі електропровідності розведених розчинів слабких електролітів.

Ключові слова: кондуктометрія, матриця Фішера, неідентифікованість параметрів, слабкі електроліти, константа асоціації, електропровідність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352344**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ МОДИФІКАТОРІВ ОЛІЇ ПЛОДІВ СВІЧКОВОГО ДЕРЕВА НА ДИНАМІЧНУ СТІЙКІСТЬ АСФАЛЬТОГРАНУЛЯТУ ЛАВЕЛЕ (с. 25–33)****Lila Khamelda, Sunik**

Асфальт Buton (асбутон) – це альтернативний матеріал для дорожнього покриття з Індонезії. Суміші асбутону гарячого приготування для холодного укладання (СРНМА) – це одна з технологій асбутону, яка має великий потенціал як альтернатива звичайному асфальтовому покриттю; однак вона все ще має кілька обмежень, які залишаються в центрі уваги постійних наукових досліджень.

Проблема, яку вирішує це дослідження, полягає в покращенні характеристик СРНМА зі збільшенням тривалості зберігання суміші, що є контролюючим фактором у звичайних продуктах СРНМА. Результати показують, що використання модифікатора на основі олії плодів свічкового дерева покращує характеристики СРНМА. Дослідження зосереджено на характеристиках СРНМА з варіаціями тривалості зберігання готової суміші.

Це дослідження показує, що найвищий опір у випробуваннях на втому та повзучість був отриманий при тривалості зберігання 21 день. Спостерігалася аномалія у випробуванні на модуль жорсткості, де найвищий опір був отриманий для 7-денного зразка. Однак це значення дещо сумнівне, оскільки два використані зразки дали високе стандартне відхилення. Тому, якщо не враховувати результати цього зразка, зразок з найвищим опором такий самий, як і у випробуваннях на втому та повзучість.

Найбільш відмінною рисою цих результатів є виявлення підвищеної стійкості СРНМА до динамічних навантажень, яка збільшується з тривалістю зберігання. Це суперечить продукту СРНМА, виготовленому заводом.

Щодо сфери практичного використання, результати, отримані в цьому дослідженні, вказують на те, що СРНМА, модифікований олією плодів свічкового дерева, дуже підходить для невеликих обсягів дорожнього покриття, особливо в районах, де немає асфальтозмішувальної установки. За певних умов використання, польове нанесення ідеально проводити в суху погоду, щоб ефективно сприяти випаровуванню легких біомодифікаторів, забезпечуючи досягнення сумішшю бажаної жорсткості, як показано в лабораторних результатах.

Ключові слова: втома, модуль жорсткості, повзучість, асфальтогранулят Лавеле, СРНМА, динамічні навантаження.

DOI: 10.15587/1729-4061.2026.352346**ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ТА ТЕХНОЕКОНОМІЧНОГО ВПЛИВУ ПЕРЕРОБЛЕНИХ ВІДХОДІВ ЗНЕСЕННЯ ЦЕГЛИ У ВИРОБНИЦТВІ БРУКІВКИ (с. 34–42)****Ketut Sugiharto, Marjono, Gatot Ciptadi, Wisnumurti**

Це дослідження зосереджено на композитах з бруківки з використанням дрібного заповнювача з будівельних та знесених відходів цегли (ЗВЦ). Дослідження розглядає дві проблеми, що сприяють надмірному видобутку ресурсів, погіршенню стану навколишнього середовища та зростанню цін на матеріали в міському будівництві: постійно зростаюче виробництво ЗВЦ з цегли та зростаюча залежність від природного піску у виробництві бруківки. Накопичення ЗВЦ з цегли на звалищах та неконтрольоване утилізація ще більше підкреслює необхідність технічно та економічно доцільних альтернативних матеріальних рішень. Результати показують, що перероблені заповнювачі ЗВЦ з цегли можуть бути безперешкодно включені до цементних композитів для бруківки завдяки їх взаємодоповнюючому мінеральному складу. Механічні випробування підтверджують, що бруківка, виготовлена з перероблених ЗВЦ, має помітно вищу міцність на стиск, ніж природний пісок. Це покращення характеристик зумовлене шорсткою поверхнею та кутовою формою частинок ЗВЦ з цегли. Ці елементи покращують механічне зчеплення цементної матриці та заповнювача, створюючи міцнішу структуру композиту. Крім того, порівняльний аналіз показує, що бруківка, виготовлена з перероблених ЗВЦ з цегли, може досягти до двох разів вищої міцності на стиск, одночасно знижуючи виробничі витрати приблизно на 50% порівняно з традиційними комбінаціями. Ці результати свідчать про те, що перероблені заповнювачі з цегли перевершують природний пісок з точки зору вартості та структурної міцності. Ці результати свідчать про те, що перероблені цегляні заповнювачі перевершують природний пісок з точки зору вартості та структурної міцності. Результати дослідження можуть бути використані для підтримки більш ресурсоефективних та екологічно чистих методів будівництва, особливо в міських районах, де відходи знесення цегли легкодоступні.

Ключові слова: цегляні відходи, циркулярна економіка, бруківка, речовинний заповнювач, сталі будівництво.