

MIS VA MOLIBDEN BOYITISH CHIQINDILARINI IKKILAMCHI FLOTATSIYALASHDA OHAKNING (CaO) O‘RNI VA UNING ILMIY-AMALIY MEXANIZMI

MUSURMONQULOVA BAXOR ABDUAZIM QIZI

Olmaliq shahar 1-son Texnikumi

Ishlab chiqarish ta’limi ustasi

Email: baxormusurmonqulova1995@gmail.com

ORCID: 0009-0002-2462-6449

ANNOTATSIYA: Ushbu maqolada mis-molibden rudalarini boyitish jarayonida hosil bo‘ladigan chiqindilarni ikkilamchi flotatsiyalashda ohakning (CaO) tutgan o‘rni ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilingan. Ohak sulfidli minerallar flotatsiyasida muhitning ishqoriyligini boshqarish, piritning (FeS₂) flotatsiyalanishini susaytirish va mis-molibden minerallarini piritdan selektiv ajratish maqsadida keng qo‘llaniladigan reagentlardan biri hisoblanadi. Tahlil davomida CaO ning suvli muhitda Ca²⁺ va OH⁻ ionlari hosil qilishi, pirit yuzasida gidrofil kalsiy va temir gidroksidli qatlamlarning shakllanishi hamda ksantogenatlarning adsorbsiyasiga ta’siri ko‘rib chiqildi. Shu bilan birga, ohakning haddan tashqari qo‘llanilishi molibdenitning (MoS₂) flotatsion faolligini pasaytirishi mumkinligi ko‘rsatildi. Maqolada ikkilamchi flotatsiya uchun CaO ning afzalliklari va cheklovlari, pH boshqaruvining ahamiyati, piritni bostirish mexanizmi hamda reagent sarfini optimallashtirish masalalari muhokama qilinadi. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, ohakni qo‘llashda asosiy vazifa maksimal miqdorda reagent berish emas, balki piritni yetarli darajada bostiradigan va molibdenitning foydali flotatsion xususiyatlarini imkon qadar saqlaydigan ishqoriy muhitni shakllantirishdan iborat.

Kalit so‘zlar: mis-molibden rudasi, boyitish chiqindilari, ikkilamchi flotatsiya, ohak, CaO, pirit, FeS₂, molibdenit, MoS₂, flotatsiya, pH, ksantogenat, depressor.

ABSTRACT: This article analyzes the role of lime (CaO) in secondary flotation of wastes generated during the enrichment of copper-molybdenum ores based on

scientific literature. Lime is one of the widely used reagents in the flotation of sulfide minerals to control the alkalinity of the medium, to inhibit the flotation of pyrite (FeS_2), and to selectively separate copper-molybdenum minerals from pyrite. During the analysis, the formation of Ca^{2+} and OH^- ions in an aqueous medium, the formation of hydrophilic calcium and iron hydroxide layers on the pyrite surface, and the effect on the adsorption of xanthate were considered. At the same time, it was shown that excessive use of lime can reduce the flotation activity of molybdenite (MoS_2) are possible. The article discusses the advantages and limitations of CaO for secondary flotation, the importance of pH control, the mechanism of pyrite suppression, and the optimization of reagent consumption. The results of the analysis show that the main task in the application of lime is not to provide the maximum amount of reagent, but to form an alkaline environment that sufficiently suppresses pyrite and preserves the beneficial flotation properties of molybdenite as much as possible.

Keywords: copper-molybdenum ore, enrichment waste, secondary flotation, lime, CaO , pyrite, FeS_2 , molybdenite, MoS_2 , flotation, pH, xanthate, depressor.

АННОТАЦИЯ: В данной статье на основе научной литературы анализируется роль извести (CaO) во вторичной флотации отходов, образующихся при обогащении медно-молибденовых руд. Известь является одним из широко используемых реагентов при флотации сульфидных минералов для контроля щелочности среды, ингибирования флотации пирита (FeS_2) и селективного отделения медно-молибденовых минералов от пирита. В ходе анализа рассматривались образование ионов Ca^{2+} и OH^- в водной среде, образование гидрофильных слоев гидроксидов кальция и железа на поверхности пирита, а также влияние на адсорбцию ксантата. При этом показано, что чрезмерное использование извести может снизить флотационную активность молибденита (MoS_2). В статье обсуждаются преимущества и ограничения CaO для вторичной флотации, важность контроля pH, механизм подавления пирита и оптимизация расхода реагента. Результаты анализа показывают, что основная задача при применении извести заключается не в обеспечении максимального количества реагента, а в формировании щелочной

среды, которая достаточно подавляет пирит и максимально сохраняет полезные флотационные свойства молибденита.

Ключевые слова: медно-молибденовая руда, отходы обогащения, вторичная флотация, известь, CaO, пирит, FeS₂, молибденит, MoS₂, флотация, pH, ксантогенат, депрессор.

KIRISH. Mis va molibden sanoat uchun muhim strategik metallar qatoriga kiradi. Ularning asosiy minerallari, jumladan xalkopirit (CuFeS₂) va molibdenit (MoS₂), ko‘plab porfirli mis-molibden konlarida birgalikda uchraydi. Bunday rudalarni boyitishda flotatsiya eng muhim texnologik jarayonlardan biri bo‘lib, uning samaradorligi mineral yuzasining fizik-kimyoviy xususiyatlari, muhit pH qiymati, kollektor va depressorlarning turi hamda sarfiga bevosita bog‘liq. O‘zbekistondagi Olmaliq kon-metallurgiya hududida joylashgan Qalmoqqir (Kalmakyr) koni mis, molibden va boshqa qimmatli komponentlarga ega bo‘lgan murakkab porfirli konlardan biridir. Geologik tadqiqotlar Qalmoqqir rudalarida mis-molibden mineralizatsiyasining mavjudligini ko‘rsatadi. Shu sababli bunday xomashyolarni qayta ishlashda asosiy konsentrat bilan birga chiqindilarda qolib ketadigan foydali minerallarni qayta ajratib olish masalasi ham muhim ilmiy-amaliy vazifalardan hisoblanadi.

Boyitish chiqindilarida ma’lum miqdorda mayda zarrachali sulfidli minerallar qolishi mumkin. Ularning yuzasi avvalgi flotatsiya bosqichlarida ishlatilgan reagentlar, oksidlanish mahsulotlari va suvli muhit ionlari bilan o‘zaro ta’sirlashgan bo‘ladi. Shu sababli chiqindilarni qayta flotatsiyalashda dastlabki flotatsiyadan farqli reagent rejimini tanlash talab etilishi mumkin. Ohak flotatsiyada asosan pH regulyatori va pirit depressori sifatida ishlatiladi.

Ilmiy tadqiqotlarda ishqoriy muhitda piritning flotatsion qobiliyati pasayishi, bunda OH⁻ ionlari hamda Ca²⁺ ionlarining mineral yuzasi bilan o‘zaro ta’siri muhim rol o‘ynashi ko‘rsatilgan. Biroq CaO ning ijobiy ta’siri bilan bir qatorda uning texnologik cheklovlari ham mavjud. Xususan, kalsiy ionlarining ortiqcha miqdori molibdenit flotatsiyasini susaytirishi mumkin. Shu sababli ikkilamchi flotatsiyada

ohak miqdorini faqat piritni bostirish nuqtayi nazaridan emas, balki mis va molibden minerallarining saqlanib qolishi nuqtayi nazaridan ham baholash zarur.

Tadqiqotning asosiy maqsadi mis-molibden boyitish chiqindilarini ikkilamchi flotatsiyalash jarayonida ohakning (CaO) pH regulyatori va pirit depressori sifatidagi rolini ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilish, uning ta'sir mexanizmini yoritish hamda texnologik jihatdan maqbul reagent rejimini shakllantirishga oid ilmiy xulosalar ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot obyekti sifatida mis-molibden rudalarini boyitish jarayonida hosil bo'ladigan sulfiddli boyitish chiqindilarini ikkilamchi flotatsiyalash jarayoni qaraldi.

Tadqiqot predmeti — ohak (CaO) ning pirit, xalkopirit va molibdenit minerallarining flotatsion xususiyatlariga ta'siri, muhit pH qiymatining o'zgarishi hamda mineral yuzasida yuz beradigan fizik-kimyoviy jarayonlardir.

Mazkur ishning metodik asosi ilmiy adabiyotlar sharhi va taqqoslovchi tahlildan iborat. Bunda piritning ohak yordamida depressiylanishi, Ca^{2+} va OH^- ionlarining mineral yuzasidagi roli, ksantogenatlarning adsorbsiyasi va Cu–Mo flotatsiyasida ohakning texnologik ta'siri haqidagi ilmiy natijalar tahlil qilindi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, mazkur maqolada muallif tomonidan laboratoriya flotatsion tajribalari o'tkazilmagan. Shuning uchun keltirilgan jadval va diagrammalardagi ma'lumotlar aniq laboratoriya natijalari emas, balki adabiyotlarda aniqlangan qonuniyatlarning ilmiy-taqqoslovchi ifodasidir.

Bu yondashuv maqolada tajriba natijalarini asossiz ravishda muallifga tegishli qilib ko'rsatishning oldini oladi.

Piritning flotatsion xususiyatlari muhit pH qiymatiga kuchli bog'liq. Kislotali va neytral sharoitlarda pirit ksantogenat kollektorlar ishtirokida nisbatan oson flotatsiylanishi mumkin. Ishqoriy muhit kuchayishi bilan esa pirit yuzasida gidrofil gidroksidli birikmalar hosil bo'lib, uning flotatsiylanishi susayadi.

Mu, Peng va Lauten tomonidan olib borilgan keng qamrovli sharhda piritni depressiyalashning noorganik va organik usullari ko'rib chiqilgan. Mualliflar ishqorlar, jumladan ohak, NaOH va Na_2CO_3 kabi reagentlar pirit flotatsiyasini pH ni oshirish orqali kamaytirishi mumkinligini ta'kidlaydi. Bunda CaO ning ta'siri faqat

pH o'zgarishi bilan cheklanmay, Ca^{2+} ionlarining pirit yuzasiga adsorbsiyasi bilan ham bog'liq.

Klassik tadqiqotlarda ham ohakning piritga depressorlik ta'siri NaOH ga nisbatan kuchliroq bo'lishi mumkinligi ko'rsatilgan. Bunda Ca^{2+} ionlarining OH^- bilan birgalikdagi ta'siri mineral yuzasining gidrofilligini oshiradi va ksantogenat bilan bog'liq gidrofob jarayonlarning rivojlanishini cheklaydi.

Ohak bilan depressiyalangan pirit yuzasida $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaSO_4 va $\text{Fe}(\text{OH})_3$ kabi birikmalar mavjudligi sirt-analitik tadqiqotlarda qayd etilgan. Ushbu qatlamlar mineral yuzasining gidrofilligini oshirishi va kollektor adsorbsiyasini cheklashi mumkin. Shu bilan birga, CaO ning Cu–Mo tizimidagi ta'siri ikki tomonlama xarakterga ega. Bir tomondan, u piritni bostirish orqali mis va molibden minerallarining selektiv ajralishiga yordam beradi.

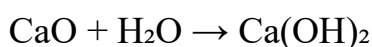
Ikkinchi tomondan, kalsiy ionlarining ortiqcha konsentratsiyasi molibdenitning tabiiy gidrofobligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli ohakning sarfini oshirish har doim ham flotatsiya samaradorligini oshirmaydi.

Qalmoqqir koni bilan bog'liq zamonaviy tadqiqotlarda ham O'zbekiston sharoitida mis-porfir rudalarini boyitish uchun flotatsion texnologiyalarni takomillashtirish masalalari o'rganilmoqda. Xususan, Qalmoqqir, Sari-Cheku va Yoshlik konlari rudalarining mineralogik xususiyatlarini hisobga olgan holda kollektiv flotatsiya va keyingi ajratish sxemalari ko'rib chiqilgan. 2026-yilda chop etilgan mahalliy tadqiqotlarda ham ko'p komponentli rudalarni qayta ishlashda gravitatsion va flotatsion usullarni kombinatsiyalash masalalari o'rganilgan.

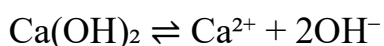
Bu holat O'zbekistonning murakkab mineral xomashyolarini kompleks qayta ishlash yo'nalishining dolzarbligini ko'rsatadi.

OHAKNING FLOTATSIYADAGI ILMIY MEXANIZMI

Ohak suvli muhitga tushirilganda quyidagi umumiy jarayon sodir bo'ladi:

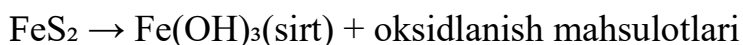


Hosil bo'lgan kalsiy gidroksid eritmada Ca^{2+} va OH^- ionlarining mavjudligini oshiradi.



OH^- ionlari muhitning ishqoriyligini oshiradi. Natijada pirit yuzasida temir gidroksidli gidrofil birikmalar shakllanishi uchun qulay sharoit yuzaga keladi.

Soddalashtirilgan holda:



Hosil bo'luvchi gidrofil temir gidroksidli qatlam mineral yuzasida kollektorning samarali adsorbsiyasini cheklaydi. Piritning gidrofobligi pasaygani sababli uning havo pufakchalariga yopishish ehtimoli ham kamayadi. Bundan tashqari, Ca^{2+} ionlarining mineral yuzasida adsorbsiyalanishi ham muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotlarda Ca^{2+} ionlari pirit yuzasining gidrofilligini oshirishi va piritning flotatsion faolligini kamaytirishi mumkinligi ko'rsatilgan.

1-jadval.

Ohakning mis-molibden flotatsiyasidagi asosiy funksiyalari

Ta'sir yo'nalishi	Asosiy mexanizm	Kutiladigan texnologik ta'sir
pH ni oshirish	OH^- ionlari konsentratsiyasining ortishi	Ishqoriy muhit hosil bo'ladi
Piritni depressiyalash	$\text{Fe}(\text{OH})_3$ va Ca bilan bog'liq gidrofil qatlamlar	Pirit flotatsiyasi kamayadi
Kollektor adsorbsiyasiga ta'sir	Mineral yuzasining gidrofillashishi	Ksantogenat adsorbsiyasi cheklanadi
Selektivlikni oshirish	Piritning flotatsiyadan chiqarilishi	Cu–Mo minerallarini piritdan ajratish yaxshilanadi
Molibdenitga salbiy ta'sir	Ca^{2+} ning MoS_2 yuzasi bilan o'zaro ta'siri	Ortiqcha CaO da Mo recovery kamayishi mumkin
Suv-kimyoviy muhitni boshqarish	$\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{Ca}^{2+}/\text{OH}^-$ tizimi	Flotatsiya sharoiti barqarorlashadi

2-jadval.

Reagent miqdori va flotatsiya selektivligi o'rtasidagi ilmiy bog'liqlik

Ohak qo'llanish holati	Piritga ta'siri	Molibdenitga ehtimoliy ta'siri	Umumiy baho

Past miqdor	Yetarli depressiya bo'lmashligi mumkin	Nisbatan kam ta'sir	Selektivlik cheklanishi mumkin
O'rtacha/ optimallashtirilgan miqdor	Pirit depressiyasi kuchayadi	MoS ₂ ning flotatsiyasi nisbatan saqlanadi	Eng maqbul holat
Yuqori miqdor	Pirit kuchli depressiyalanadi	Molibdenit flotatsiyasi ham pasayishi mumkin	Ortiqcha reagent sarfi
Juda yuqori ishqoriylik	Pirit flotatsiyasi keskin susayadi	Qimmatli sulfidlarning flotatsiyasi ham buzilishi mumkin	Texnologik jihatdan nomaqbul

Ohakning aniq optimal sarfi rudaning mineralogik tarkibi, pH, suvning ion tarkibi, kollektor turi va dastlabki flotatsiya tarixiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun jadvaldagi "o'rtacha/optimallashtirilgan" holatni universal kg/t qiymat sifatida qabul qilish mumkin emas.

IKKILAMCHI FLOTATSIYADA OHAKNING AMALIY AHAMIYATI

Boyitish chiqindilarini ikkilamchi flotatsiyalashda dastlabki jarayonlardan farqli ravishda mineral yuzalarining holati o'zgargan bo'ladi.

Chiqindi tarkibidagi minerallar maydalanish, oksidlanish, kollektor va depressorlar bilan oldingi ta'sir natijasida yangi sirt xususiyatlariga ega bo'lishi mumkin. Shu sababli ikkilamchi flotatsiyada ohakni qo'llashdan oldin quyidagi omillarni hisobga olish maqsadga muvofiq:

1. chiqindining mineralogik tarkibi;
2. pirit miqdori;
3. molibdenitning qoldiq miqdori;
4. pulpaning boshlang'ich pH qiymati;
5. suv tarkibidagi Ca²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺ va boshqa ionlar;
6. avvalgi flotatsiyada ishlatilgan kollektor va depressorlar;
7. zarracha o'lchami;
8. oksidlanish darajasi.

Ayniqsa, qayta flotatsiyada avvalgi jarayondan qolgan kalsiy ionlari mavjud bo'lsa, qo'shimcha CaO berishning ta'siri oddiy birlamchi flotatsiyadagidan farq qilishi mumkin.

OHAKNING AFZALLIKLARI

Ohakning asosiy afzalliklari uning nisbatan arzonligi, sanoatda keng qo'llanilishi, pH ni samarali boshqarishi va piritni depressiyalash xususiyatidir. Shu sababli u sulfidli rudalarni boyitish texnologiyalarida uzoq vaqt davomida muhim reagentlardan biri bo'lib kelmoqda.

Biroq ohakning asosiy kamchiligi — uning faqat pH regulyatori bo'lib qolmasdan, mineral yuzalariga kalsiy ionlari orqali ham ta'sir ko'rsatishidir. Ayniqsa, molibdenitning flotatsiyasi kalsiy ionlari va yuqori ishqoriylikka sezgir bo'lishi mumkin.

Shu sababli zamonaviy tadqiqotlarda piritni pastroq ishqoriylikda yoki selektiv organik reagentlar yordamida depressiyalash imkoniyatlari ham o'rganilmoqda. Masalan, so'nggi tadqiqotlarda ohaksiz yoki past ishqoriy flotatsiya sxemalarini ishlab chiqish, shuningdek, selektiv organik depressorlarni qo'llash yo'nalishlari rivojlanmoqda.

O'ZBEKISTON SHAROITIDA QO'LLASH IMKONIYATLARI

O'zbekiston mis-molibden xomashyosi uchun Qalmoqqir, Sari-Cheku va Yoshlik kabi konlarning mavjudligi mamlakatda mis-molibden minerallarini kompleks qayta ishlash texnologiyalarini takomillashtirishni dolzarb qiladi. Qalmoqqir konining mineralogik-geokimyoviy xususiyatlari bo'yicha tadqiqotlar uning mis, molibden va boshqa foydali komponentlarga boy murakkab porfirli tizim ekanligini ko'rsatadi.

Mahalliy tadqiqotlarda Qalmoqqir va boshqa mis-porfir rudalarini flotatsiya asosida boyitish sxemalari taklif etilayotgani ham ushbu yo'nalishning amaliy ahamiyatini tasdiqlaydi. Shu nuqtayi nazardan, mis-molibden boyitish chiqindilarini ikkilamchi flotatsiyalashda CaO ning rolini o'rganish O'zbekiston sharoitida ham foydali bo'lishi mumkin.

Ayniqsa, chiqindilarda qolib ketgan molibdenit va mis sulfidlari miqdorini kamaytirish, foydali komponentlarning umumiy ajralib chiqish darajasini oshirish hamda chiqindilarning metallurgik qiymatini pasaytirish nuqtayi nazaridan mazkur masala amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, ohakning piritni depressiyalashdagi ta'sirini faqat "pH oshishi" bilan izohlash yetarli emas. Jarayonda bir nechta o'zaro bog'liq mexanizmlar ishtirok etadi: OH^- ionlari ta'sirida mineral yuzasining gidroksillanishi, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ kabi gidrofil birikmalarning shakllanishi, Ca^{2+} ionlarining yuzaga adsorbsiyasi va kollektorning mineral yuzasiga birikish sharoitlarining o'zgarishi. Bundan tashqari, ohak yordamida piritni bostirish va molibdenitni saqlab qolish o'rtasida muvozanat mavjud.

Ohak miqdorini oshirish pirit depressiyasini kuchaytirishi mumkin, biroq kalsiy ionlarining ko'payishi molibdenit flotatsiyasini ham pasaytirishi ehtimolini oshiradi. Shuning uchun ikkilamchi flotatsiyada "ko'proq CaO — yaxshiroq natija" tamoyilidan foydalanish ilmiy jihatdan to'g'ri emas. Aksincha, optimal reagent rejimi mineralogik tarkib va pulpa kimyosiga mos ravishda tanlanishi kerak.

XULOSA

1. Ohak (CaO) mis-molibden sulfiddli rudalari va ularning chiqindilarini flotatsion qayta ishlashda muhim pH regulyatori va pirit depressori hisoblanadi.
2. CaO suv bilan reaksiyaga kirishib $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hosil qiladi va pulpaning ishqoriyligini oshiradi. Natijada pirit yuzasida gidrofil gidroksidli qatlamlarning shakllanishi uchun qulay sharoit yuzaga keladi.
3. Piritning depressiyalanishida OH^- ionlari bilan bir qatorda Ca^{2+} ionlarining mineral yuzasidagi ta'siri ham muhim ahamiyatga ega.
4. Ohak piritni bostirish orqali mis va molibden minerallarining piritdan selektiv ajralishiga yordam berishi mumkin.
5. Shu bilan birga, CaO ning ortiqcha miqdori molibdenit flotatsiyasini pasaytirishi mumkin. Shuning uchun ohak sarfi optimal qiymatda ushlab turilishi kerak.

6. Ikkilamchi flotatsiyada reagent rejimini tanlashda chiqindining mineralogik tarkibi, zarracha o'lchami, boshlang'ich pH, suvning ion tarkibi va avvalgi flotatsiya bosqichlarida ishlatilgan reagentlar hisobga olinishi lozim.

7. O'zbekistonning Qalmoqqir, Sari-Cheku va Yoshlik kabi mis-porfir konlari bilan bog'liq boyitish masalalari ushbu yo'nalishning mamlakat uchun amaliy ahamiyatini oshiradi.

8. Kelgusida mazkur masalani yanada chuqur o'rganish uchun laboratoriya sharoitida turli CaO sarflari, pH qiymatlari va kollektor konsentratsiyalarida flotatsion tajribalar o'tkazish, shuningdek, mineral yuzasini XPS, zeta-potensial va kontakt burchagi usullari yordamida tahlil qilish maqsadga muvofiq.

ADABIYOTLAR

1. Mu Y., Peng Y., Lauten R.A. The depression of pyrite in selective flotation by different reagent systems – A literature review. Minerals Engineering, 2016, Vol. 96–97, pp. 143–156. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.06.018.
2. Alisher Samadov., Abdusamiyeva Lobarxon (2026). QALMOQIR KONI MIS-MOLIBDEN RUDASINING GRANULOMETRIK TARKIBI VA METALLARNING YIRIKLIK SINFLARI BO'YICHA TAQSIMLANISHINI TAHLIL QILISH. «Muhandislik Va Iqtisodiyot» Jurnal, 4(8), 78–82. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21856800>
3. Xiaojun X., Kelebek Ş. Activation of xanthate flotation of pyrite by ammonium salts following its depression by lime. Developments in Mineral Processing, 2000, Vol. 13, pp. C8b-43–C8b-50. DOI: 10.1016/S0167-4528(00)80073-3.
4. Alisher Samadov, & Lobarxon Abdusamiyeva. (2026). QALMOQQIR MIS-MOLIBDEN RUDALARI MINERALLARINING OCHILISH DARAJASINI BAHOLASH VA BOYITISH TEXNOLOGIYASINI ASOSLASH. «Muhandislik Va Iqtisodiyot» Jurnal, 4(8), 174–178. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21883612>
5. Sidikov R.M., Ergashev M.A., Akhmadaliyev A.M., Abdurazakov U.M. Investigation of the efficiency of combined technology for polymetallic ore beneficiation. Digital technologies in industry, 2026. DOI: 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.26.