

## ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 692 : 697.133

### МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ДЛЯ МАЛОЗАГЛИБЛЕНОГО ФУНДАМЕНТУ БУДИНКУ З ДЕРЕВ'ЯНИМ КАРКАСОМ

### HEAT TRANSFER MODELING FOR A SHALLOW FOUNDATION OF A WOOD-FRAME BUILDING

**Боднар Ю.І., к.т.н., доцент,** (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), <https://orcid.org/0000-0002-7196-2157>;

**Горон Л.Я., аспірант,** (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни), <https://orcid.org/0009-0009-0953-0810>

**Bodnar Yu., candidate of technical sciences, associate professor** (Lviv National Environmental University, Dublyany), <https://orcid.org/0000-0002-7196-2157>;

**Horon L., PhD student** (Lviv National Environmental University, Dublyany), <https://orcid.org/0009-0009-0953-0810>

Здійснено методом скінченних елементів у рамках програмного комплексу Agros2D моделювання вузла зовнішня стіна - фундамент - підлога - вимощення для будинку із дерев'яним каркасом та мало-заглибленим фундаментом. Виконано аналіз температури біля фундаменту та тепловтрат для різних варіантів утеплення цоколя, фундаменту, вимощення.

The construction of low-rise residential buildings with a wooden frame is very common abroad. According to information from the international agency Gordon Rock, 90% of private houses in the USA and Canada are built using frame technology. In New Zealand, frame construction of private housing is 85%, in Scandinavia and Japan – 45%. Every year, the share of frame houses among low-rise housing is growing in Ukraine as well.

As a rule, a monolithic reinforced concrete strip foundation is used for low-rise residential buildings. For light houses, in particular houses with a wooden frame, it is rational to arrange shallow strip foundations, the sole of which is within the depth of seasonal soil freezing. Such foundations are profitable, because the costs of materials and labor are reduced, and the construction time is shortened.

For shallow foundations on soils capable of frost heave, it is necessary to reduce or eliminate the effect of heave forces on the building. Sand and crushed stone cushions under the foundation, insulation of the foundation, plinth, paving are used to level the impact of swelling forces.

**Currently, the issue of energy efficiency of residential buildings is extremely relevant. This is related to ecology, exhaustion of energy resources, and their cost. The issue of economy and rational use of energy resources is especially relevant in Ukraine. The energy efficiency of buildings largely depends on the thermal insulation properties of the enclosing structures. In a low-rise building, up to 20% of heat loss can occur on the floor of the ground floor and the basement. Therefore, the issue of reducing these heat losses is urgent.**

**The temperature fields near the shallow foundation of a low-rise residential building with a wooden frame for the climatic conditions of the Lviv region was investigated in the paper. An analysis of the temperature near the foundation was performed for various options for insulating the plinth, foundation, and paving. The effect of thermal insulation on heat flows was also analyzed.**

**To study the temperature fields and heat flows, mathematical modeling of the wall enclosure unit with a wooden frame was performed. The simulation was carried out by the finite element method within the framework of the Agros2D software complex.**

**Ключові слова:** моделювання, малозаглиблений фундамент, дерев'яний каркас, теплоізоляція, температура, тепловий потік  
modeling, shallow foundation, wooden frame, thermal insulation, temperature, heat flow.

**Вступ.** Будівництво малоповерхових житлових будинків із дерев'яним каркасом за кордоном дуже поширене. Згідно з інформацією міжнародного агентства Gordon Rock 90% приватних будинків у США та Канаді споруджують за каркасною технологією. У Новій Зеландії каркасне будівництво приватного житла складає 85%, у Скандинавії та Японії - 45% [1]. З кожним роком частка каркасних будинків серед малоповерхового житла зростає і в Україні.

Під малоповерхові житлові будинки як правило виконують монолітний залізобетонний стрічковий фундамент. Для легких будинків, зокрема будинків з дерев'яним каркасом, раціонально влаштовувати малозаглиблені стрічкові фундаменти, подошва яких знаходиться у межах глибини сезонного промерзання ґрунтів [2]. Такі фундаменти є вигідними, оскільки зменшуються затрати матеріалів та праці, скорочуються терміни будівництва.

При малозаглиблених фундаментах на здатних до морозного здимання ґрунтах необхідно зменшити або виключити вплив сил здимання на будівлю. Для нівелювання впливу сил здимання використовують піщані та щебеневі подушки під фундаментом, утеплення фундаменту, цоколя, вимощення [3].

На даний час є надзвичайно актуальним питання енергоефективності житлових будівель. Це пов'язано з екологією, вичерпністю енергоресурсів, їх вартістю. Особливо актуально питання економії та раціонального

використання енергоресурсів в нашій державі. Для цього необхідно проектувати та будувати енергоефективні будівлі. Енергоефективність будинків у значній мірі залежить від теплоізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій. У малоповерховому житлі до 20% тепловтрат може припадати на підлогу першого поверху та цоколь. Тому актуальним є зменшення цих тепловтрат.

**Аналіз останніх досліджень.** Особливості проектування малозаглиблених фундаментів та їх захисту від промерзання подані у [4, 5]. У працях [6, 7] розглядаються питання тепловтрат через ґрунт. Аналіз температурних полів фундаментної зони, дослідження тепловтрат через підлогу на ґрунті для стрічкових фундаментів із заглибленням нижче глибини промерзання розглядалися у публікаціях [8 - 12]. У статті [8] подано дослідження тепловтрат підлогою на ґрунті, вплив утеплення фундаменту зовнішнім вертикальним поясом. Визначені межі використання тільки вертикального зовнішнього утеплювача. Проведено дослідження варіантів комбінування вертикального і горизонтального зовнішнього утеплення. Запропоновано влаштування утеплювача під кутом до поверхні землі, визначено оптимальне поєднання розмірів вертикальної теплоізоляції з теплоізоляцією під кутом і розраховано значення цього кута. У статті [10] продовжуються дослідження тепловтрат підлогою на ґрунті при влаштуванні утепленого вимощення та при утепленні фундаментної зони (фундаменту і цоколю) вертикальними поясами по периметру будівлі, обґрунтовуються межі використання наведених заходів утеплення. У статті [11] подано дослідження тепловтрат через підлогу на ґрунті в цивільних будівлях зі стрічковим фундаментом, впливу величини заглиблення вертикального утеплювача, розташованого по внутрішньому периметру фундаментної зони, на тепловтрати. У статті [12] продовжено дослідження проблеми зниження тепловтрат через підлогу, яка має за основу ґрунт. Наведені результати дослідження впливу величини заглиблення вертикального утеплювача, розташованого по зовнішньому периметру фундаментної зони цивільних будівель для кліматичних умов II температурної зони України. Автором досліджувались питання тепловтрат житлових будинків з дерев'яним каркасом у роботі [13].

**Постановка мети і задач досліджень.** У роботі досліджуються температурні поля біля малозаглибленого фундаменту, низ якого знаходиться у межах глибини сезонного промерзання ґрунтів, для малоповерхового житлового будинку з дерев'яним каркасом. Виконано аналіз температури біля фундаменту для різних варіантів утеплення цоколя, фундаменту, вимощення. Також проаналізовано вплив теплоізоляції на теплові потоки.

**Методика досліджень та їх результати.** Для дослідження температурних полів та теплових потоків виконано математичне моделювання вузла стінового огороження з дерев'яним каркасом (рис. 1).

Моделювання (рис.2) здійснено методом скінченних елементів у рамках програмного комплексу Agros2D [14]. Шари стіни ззовні від вентиляваного

прошарку при моделюванні не враховуємо. Також умовно не враховуємо вплив бетонної конструкції вимощення.

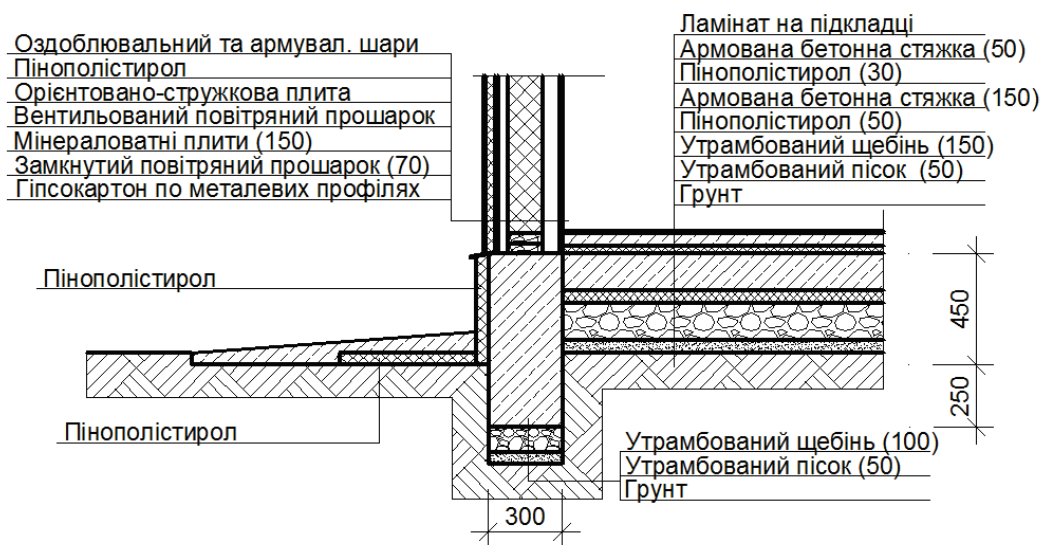


Рис. 1. Вузол опирання зовнішньої стіни на фундамент

Стіна із дерев'яним каркасом та утеплювачем мінераловатними плитами товщиною 150 мм. Будинок безпідвальний. Теплоізоляція цоколя і вимощення виконані екструдованим пінополістиролом.

При моделюванні враховуємо, що згідно досліджень [15] температура ґрунту, починаючи з певної глибини, є стабільною і залежить тільки від глибини. У моделі приймаємо на глибині 10м температуру 10°C. Коефіцієнти теплопровідності матеріалів приймаємо: мінеральна вата - 0,037 Вт/(м·К), пінополістирол - 0,05 Вт/(м·К), армований бетон - 2,04 Вт/(м·К), пісок - 1,3 Вт/(м·К), щебінь - 1,5 Вт/(м·К), ґрунт - 1,3 Вт/(м·К), дерево - 0,18Вт/(м·К), замкнутий повітряний прошарок - 0,48 Вт/(м·К), гіпсокартон - 0,15 Вт/(м·К).

Дослідження із використанням побудованої моделі показали ефективність утеплення цоколя. Так при товщині теплоізоляції цоколя 2.5см середня температура під фундаментом зросла на 37%, а тепловий потік зменшився на 10%, при теплоізоляції 5 см - відповідно на 44% та на 12%. Додаткова теплоізоляція підземної частини фундаменту пінополістиролом товщиною 2.5 см призвела до зростання середньої температури лише на 8% і зменшення теплового потоку лише на 1%. Тобто раціональнішим є збільшення товщини утеплювача цоколя у порівнянні із утепленням підземної частини. Ефективним засобом збільшення температури під фундаментом є утеплення вимощення. Так утеплення поверхні вимощення товщиною 5см, шириною 60см додатково до утеплення цоколя і підземної частини фундаменту товщиною 5 см призводить до зменшення середньої температури під подошвою на 20%. На тепловий потік утеплення вимощення впливає незначно (зменшується на 1,7%). Заглиблення утеплення вимощення несуттєво впливає на досліджувані температуру та тепловий потік.

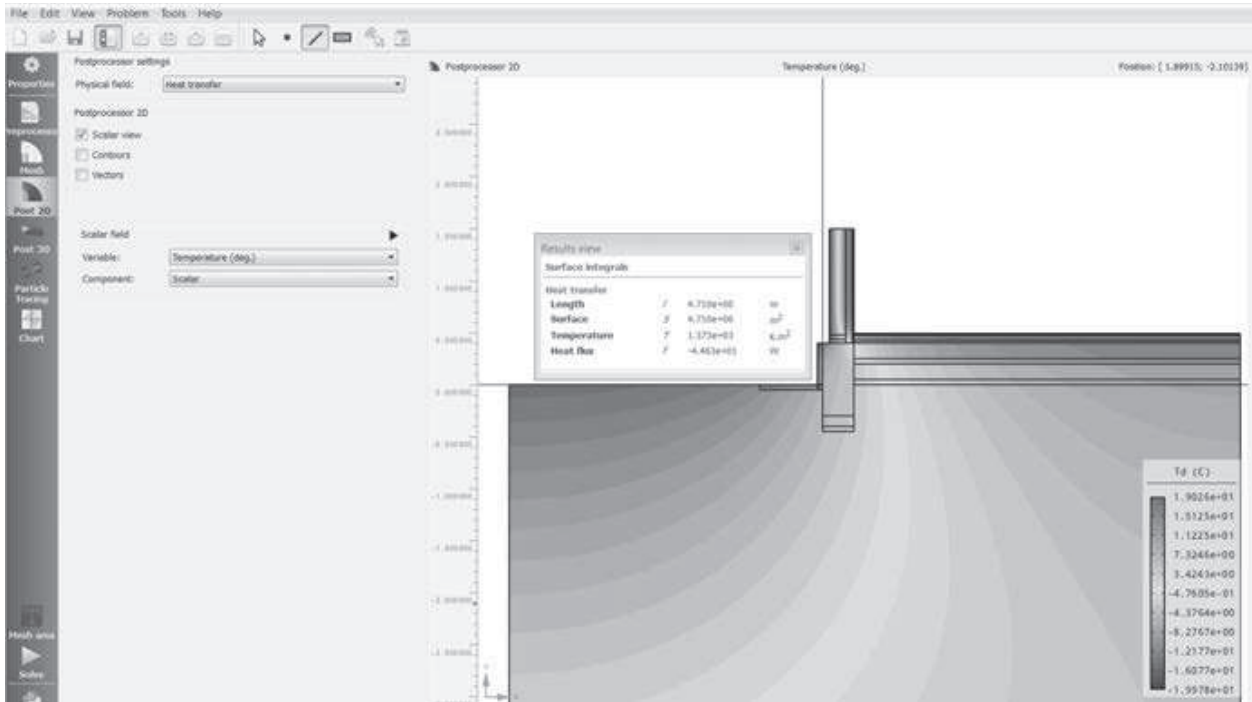


Рис. 2. Моделювання методом скінченних елементів в рамках Agros2D

На основі результатів числового експерименту побудовані графіки залежності середньої температури під подошвою фундаменту (рис. 3) та теплового потоку через стіну та підлогу (рис. 4) від довжини теплоізоляції підземної частини фундаменту при зовнішній температурі найхолоднішої п'ятиденки у регіоні. Суцільні графіки відповідають товщині пінополістирольної плити 2,5см, штрихові - 5см.

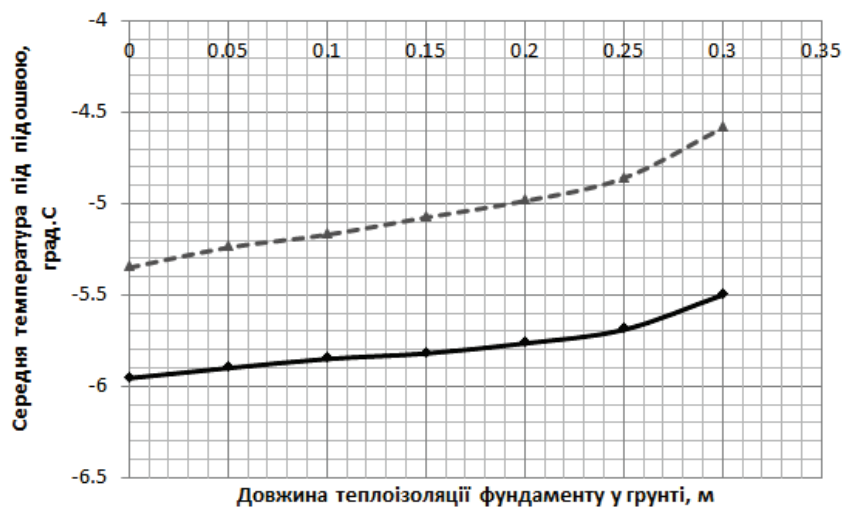


Рис. 3. Залежність температури під фундаментом від теплоізоляції підземної частини фундаменту

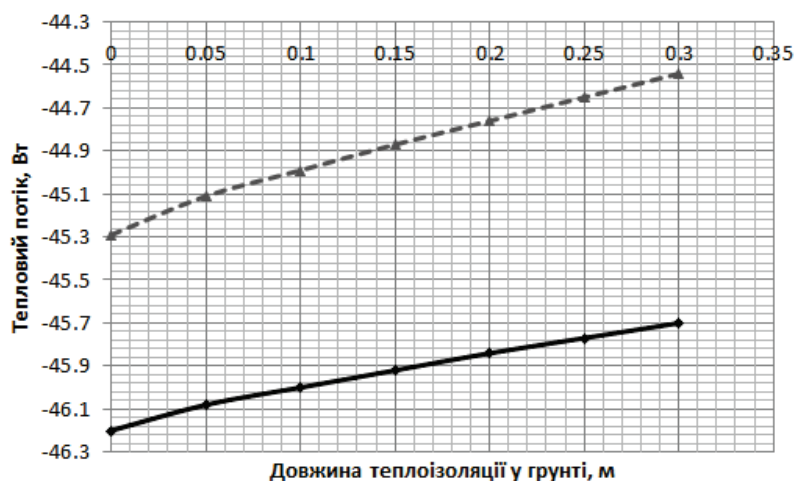


Рис. 4. Залежність теплового потоку від теплоізоляції підземної частини фундаменту

**Висновки.** На основі проведених досліджень температурних полів та теплових потоків для різних вирішень цокольного вузла (без утеплення, з утепленням тільки цоколя, з утепленням цоколя та вимощення) для розглянутого малозаглибленого фундаменту можна констатувати:

1. Для підвищення температури ґрунту під подошвою малозаглибленого фундаменту ефективним є утеплення пінополістирольними плитами цоколя та вимощення.

2. Підвищення енергоефективності каркасного будинку із розглянутим конструктивним вирішенням фундаменту, підлоги та цоколя, зокрема зменшення тепловтрат через цоколь та підлогу, раціональніше здійснювати через утеплення цоколя.

1. Статистика будівництва за каркасною технологією на іноземному ринку. Tk sandart [Електронний ресурс] - режим доступу:

<https://tkstandart.com.ua/novyny/karkasni-budinki-stajut-vse-bilsh-populjarnimi-v-ukraini/>

Statystyka budownictwa za karkasnoiu tekhnolohiui na inozemnomu rynku. Tk sandart [Elektronnyi resurs]

2. Малозаглиблений фундамент. Дерев'яні будинки України [Електронний ресурс] - режим доступу: <https://dom.ukr.bio/ua/house-construction/fundament/4/>

Malozahlyblenyi fundament. Dereviani budynky Ukrainy [Elektronnyi resurs]

3. Design guide for frost-protected shallow foundations / U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research. 1994. 46 p.

4. Revised Builder's Guide to Frost Protected Shallow Foundations, 2004, 40p.

<https://www.homeinnovation.com/~media/Files/Reports/Revised-Builders-Guide-to-Frost-Protected-Shallow-Foundations.pdf>.

5. SEI/ASCE 32-01. ASCE Standard. Design and Construction of Frost-Protected Shallow Foundations/ <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/55537/1/430.pdf>

6. Pogorzelski J. A. Uproszczone obliczanie strat ciepła z budynku przez grunt zgodnie z PN-EN ISO 13370. Prace Instytutu Techniki Budowlanej. Kwartalnik, 2(138). 2006.s.3-14

7. Шовкалюк М. М. Аналіз теплових потоків через підлогу залежно від архітектурних особливостей будівель / М. М. Шовкалюк, І. О. Суходуб, О. О. Войналович // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2016. № 1. С. 62-67.

Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete\\_2016\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2016_1_12)

Shovkaliuk M. M. Analiz teplovykh potokiv cherez pidlohu zalezno vid arkhitekturnykh osoblyvostei budivel / M. M. Shovkaliuk, I. O. Sukhodub, O. O. Voinalovych // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. 2016. № 1. S. 62-67.

**8.** Філоненко О.І. Аналіз зовнішніх засобів зменшення тепловтрат підлогою на ґрунті // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып.47. Днепропетровск: ПГАСА, 2008. С.677-684.

Filonenko O.I. Analiz zovnishnikh zasobiv zmeshennia teplovtrat pidlohoiu na gruntі // Stroitelstvo, materyalovedenye, mashynostroenye: Sb. nauch. trudov. Vyp.47. Dnepropetrovsk: PHASA, 2008. – S.677-684.

**9.** Семко О.В. Аналіз внутрішніх засобів зменшення тепловтрат підлогою на ґрунті / О. В. Семко, О. І. Філоненко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Вип.21. Полтава: ПолтНТУ, 2008. С.100-105.

Semko O.V. Analiz vnutrishnikh zasobiv zmeshennia teplovtrat pidlohoiu na gruntі / O. V. Semko, O. I. Filonenko // Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo). Vyp.21. Poltava: PoltNTU, 2008. S.100-105.

**10.** Семко О. В. Вплив теплозахисних заходів на тепловий режим фундаментів та підлоги на ґрунті / О. В. Семко, В. В. Чернявський, О. І. Філоненко // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. трудов. – X. : ХНАГХ, 2009. Вип. №86. С. 19 – 22.

Semko O. V. Vplyv teplozakhysnykh zakhodiv na teplovyi rezhym fundamentiv ta pidlohy na gruntі / O. V. Semko, V. V. Cherniavskiy, O. I. Filonenko // Kommunalnoe khoziaistvo horodov: nauch.-tekhn. sb. trudov. Kh.: KhNANKh, 2009. Vyp. №86. S.19–22.

**11.** Філоненко О.І. Аналіз внутрішнього утеплення фундаментної зони цивільних будинків для зменшення тепловтрат підлогою на ґрунті / О.І. Філоненко // Комунальне господарство міст: наук.-техн. збірник. Вип. № 97. Харків: ХНАГХ, 2011. С. 73 – 77.

Filonenko O.I. Analiz vnutrishnoho uteplennia fundamentnoi zony tsyvilnykh budynkiv dlia zmeshennia teplovtrat pidlohoiu na gruntі / O.I. Filonenko // Komunalne hospodarstvo mist: nauk.-tekhn. zbirnyk. Vyp. № 97. Kharkiv: KhNANKh, 2011. S. 73 – 77.

**12.** Філоненко О. І. Геометричні параметри зовнішньої теплоізоляції фундаментної зони для кліматичних умов II температурної зони / О. І. Філоненко // Містобудування та територіальне планування. 2011. Вип. 40(2). С. 492-497.

Filonenko O. I. Neometrychni parametry zovnishnoi teploizoliatsii fundamentnoi zony dlia klimatychnykh umov II temperaturnoi zony / O. I. Filonenko // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2011. Vyp. 40(2). S. 492-497.

**13.** Боднар Ю., Буханец Д. Тепловтрати через стіни малоповерхових житлових будинків з дерев'яним каркасом. Вісник Львівського національного аграрного університету. Львів, 2019. №20 . С.5-8.

Bodnar Yu., Bukhaniets D. Teplovtraty cherez stiny malopoverkhovykh zhytlovykh budynkiv z derev'ianym karkasom. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Lviv, 2019. №20 . S.5-8.

**14.** Agros Suite. A multiplatform application for the solution of physical problems. <https://www.agros2d.org/>

**15.** О. В. Зур'ян і Г. О. Четверик. Експериментальні дослідження та моделювання розподілу температури ґрунту на глибині вище нейтрального шару, Вісник ВПІ, 2023, вип. 3, с. 34–46.

O. V. Zur'ian i H. O. Chetveryk. Eksperymentalni doslidzhennia ta modeliuвання rozpodilu temperatury hruntu na hlybyni vyshche neitralnoho sharu, Visnyk VPI, 2023, vyp. 3, s. 34–46.