

**БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ**DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2025.74.455-467>

УДК: 697.1:620.9

**Головатюк Костянтин Якович,**  
*кандидат фізико-математичних наук,  
директор проєктно-будівельної фірми «Ардіс», Київ*  
[ardisconn@ukr.net](mailto:ardisconn@ukr.net)  
<https://orcid.org/0009-0000-4259-3025>

**ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ЛІНІЙНОГО ТЕПЛОВОГО МІСТКА  
ДЛЯ МАСОВОГО СТВОРЕННЯ БУДИНКІВ  
СТАНДАРТУ «PASSIVHAUS» В УКРАЇНІ**

Анотація: підкреслена гостра необхідність для масового створення будинків стандарту «Passivhaus» в Україні із місцевих будівельних матеріалів. Розкритий один із основних критеріїв стандарту «Passivhaus», а саме: проєктування без теплових містків. Подана інформація з чисельного методу розрахунку коефіцієнта теплопередачі лінійного теплового містка (в 2D постановці). Наведено приклад розрахунку коефіцієнта теплопередачі лінійного теплового містка методом двовимірного температурного поля в програмі Therm. Надаються рекомендації для зменшення значення коефіцієнта теплопередачі лінійного містка до  $\Psi \leq 0,01 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , що відповідає критерію стандарту «Passivhaus» – проєктування без теплових містків.

Ключові слова: енергоефективність; стандарт «Passivhaus»; теплопровідність; коефіцієнт теплопередачі; тепловий потік; програма розрахунку двовимірних теплових містків.

**Постановка проблеми.** Віроломна війна росії проти України призвела до того, що велика кількість українців втратили своє житло. Після війни Україна, при потужній матеріальній підтримці Заходу, має швидко побудувати значну кількість нового енергоефективного житла та відновити пошкоджене за новими європейськими нормами. Разом з тим, країна-агресор вже давно підсадила на енергетичну голку багато країн світу, продаючи викопне паливо, що тільки її підсилює. Європа та весь цивілізований світ за останні десятиліття прийняли радикальні міри для зменшення такої залежності, розробивши Директиви енергоспоживання житла [1; 2] та стратегії економії теплової та іншої енергії, зменшення викидів  $\text{CO}_2$ , серед яких стандарт «Passivhaus» [3] є кращим.

Таким чином, Україна, як центр Європи, не може залишатися осторонь теми енергоефективності і в короткі терміни має гармонізувати всі свої будівельні норми з європейськими нормами для масового спорудження житла та інших будівель за стандартом «Passivhaus» та близьких до нього. Це прискорює стрімке опанування критеріїв будівництва за цією стратегією якомога більшим числом проєктувальників та будівельників. Одним із самих незрозумілих критеріїв стандарту «Passivhaus» є проєктування без теплових містків, а також правильний їх розрахунок в спеціальних чисельних програмах. Представлена стаття є продовженням попередньої та розкриває питання розуміння та розрахунку коефіцієнта теплопередачі лінійних теплових містків в 2D програмі Therm [4], і тому є надзвичайно актуальною.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** З питаннями розрахунку теплових містків стикаються всі сертифіковані проєктувальники будинків за стандартом «Passivhaus». Методи та питання розрахунку теплових містків високо енергоефективних будівель детально описані в будівельних нормах Європи, а саме: ISO 10211:2017 [5], ISO 14683 [6], DIN 4108 [7], DIN4108-6 [8], ISO13370:2017 [9], ISO13789[10]. Окремі питання розрахунку тепловтрат в вузлах звичайних утеплених будівель висвітлювалися в статтях зарубіжних та деяких вітчизняних вчених Семко О. та інших [11], Alhawari A. та інших [12], Kolesnyk I. [13], Pelss M. та інших [14].

Але на жаль, вітчизняними нормами питання проєктування будинків за стандартом «Passivhaus» та розрахунку теплових містків для них практично не торкаються і не розкриваються. Деякі значення теплових містків та інформація, що наведені в попередньому та в діючому ДБН В.2.6-31:2021 [15], можливо підійдуть для інших будинків, але не для такого класу енергоефективних споруд. Таким чином, інформації про конструкцію та інженерні системи «Passivhaus», а також розрахунків теплових містків для них в нашій країні сьогодні край недостатньо. Актуальність поданої статті обумовлена необхідністю демонстрації методики числових розрахунків теплових містків, як однієї з критеріїв стратегії будівництва «Passivhaus».

**Метою публікації** є нагадування критеріїв стандарту «Passivhaus», основних його цифрових характеристик; визначення поняття «теплових містків» та їх видів; розкриття методики числового розрахунку коефіцієнта теплопередачі двовимірного теплового містка з використанням методу температурних полів; виконання розрахунку коефіцієнта теплопередачі двовимірного лінійного теплового містка конкретного вузла будинку за стандартом «Passivhaus», аналіз його теплофізичних характеристик.

**Основна частина.** Ключові критерії створення будинків за стандартом «Passivhaus», які також підходять для помірного клімату України, наведені В. Файстом в його книзі [3]:

- нерозривна та суцільна теплова ізоляція будівель (коефіцієнт теплопередачі  $U < 0,1$  для даху та  $U < 0,15$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) – для інших огорожувальних конструкцій);
- використання спеціальних вікон з 2-х камерними склопакетами, приведеним коефіцієнтом теплопередачі вікна  $U_w \leq 0,8$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);
- контрольована механічна вентиляція з рекуперацією тепла з  $\text{ККД} \geq 0,75$ ;
- суцільна герметизація всіх площин зсередини будівлі;
- проєктування будинків без теплових містків ( $\Psi < 0,01$  Вт/(м·К)).

Дотримання всіх цих критеріїв повинно привести до надзвичайно високих характеристик енергоефективності будинку за стандартом «Passivhaus», а саме основних із них:

- потреба на опалення (охолодження) будинку має бути  $\leq 15$  кВт·год./м<sup>2</sup> в рік (для звичайного будинку це значення становить 120-150 кВт·год./м<sup>2</sup> в рік);
- питома потреба на опалення будинку має бути  $< 10$  Вт/м<sup>2</sup> (для звичайного будинку в Україні сьогодні становить 80-100 Вт/м<sup>2</sup>);
- затрати первинної енергії мають бути  $\leq 120$  кВт·год./м<sup>2</sup> на рік;
- повітронепроникність при 50 Па має бути  $< 0,6$  л/год.

Чим більш енергоефективною є будівля, тим більший відсоток в загальні теплові втрати вносять теплові містки. Якщо для звичайного будинку з тепловтратами 120-150 кВт·год./м<sup>2</sup> в рік втрата тепла через теплові містки є біля 3-5%, то для «Passivhaus» – може досягати 20-30%. Ось чому теплові містки потрібно ліквідувати в енергоефективних будинках.

Основна причина нерозуміння чисельних значень теплових містків полягає в абсолютній відсутності в будівельному законодавстві України доступної інформації та прикладів для їх розрахунків і їх впливу на тепловитрати будинку. Є тільки більш-менш ясне формулювання визначення «теплого містка», як геометричної або конструктивної неоднорідності в тепловій оболонці будинку [15]. Європейські норми EN ISO 10211 [5], ISO 14683 [6] та DIN 4108 [7] дають абсолютно вичерпну інформацію про теплові містки та методи їх розрахунку.

ISO 14683 [6] докладно дає методику розрахунку питомих трансмісійних тепловитрат, які розраховуються за формулою:

$$H = H_d + H_g + H_u, \quad (1)$$

де  $H_d$  – додаткові питомі трансмісійні тепловитрати через оболонку будівлі;

$H_g$  – додаткові питомі трансмісійні тепловтрати через огорожувальні конструкції, які контактують з ґрунтом, відповідно до ISO 13370 [9];

$H_u$  – додаткові питомі трансмісійні тепловтрати через неопалювальні приміщення, розраховуються у відповідності з ISO 13789 [10].

Додаткові питомі трансмісійні тепловтрати через оболонку будівлі в загальному вигляді розраховуються за формулою:

$$H_d = \sum A_i U_i + \sum l_k \Psi_k + \sum \chi_j, \quad (2)$$

де  $A_i$  – площа  $i$ -того елементу огорожувальних конструкцій,  $m^2$ ;

$U_i$  – коефіцієнт теплопередачі  $i$ -того елементу огорожувальних конструкцій будівлі,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$l_k$  – довжина лінійного теплового моста,  $m$ ;

$\Psi_k$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі  $k$ -того лінійного теплового містка,  $W/(m \cdot K)$ ;

$\chi_j$  – точковий коефіцієнт теплопередачі  $j$ -того точкового теплового містка,  $W/K$ .

DIN 4108-6 [8] дає методику визначення питомих трансмісійних тепловитрат для умов Німеччини (також це підходить і для кліматичних умов України [16]), які розраховуються за формулою:

$$H_d = \sum A_i U_i F_{xi} + H_{wb} + \Delta H_{t, fh}, \quad (3)$$

де  $A_i$  – площа  $i$ -того елементу огорожувальних конструкцій,  $m^2$ ;

$U_i$  – коефіцієнт теплопередачі  $i$ -того елементу огорожувальних конструкцій будівлі,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$F_{xi}$  – температурний коефіцієнт положення, який враховує положення огорожувальної конструкції;

$H_{wb}$  – додаткові питомі трансмісійні тепловитрати від теплових містків, які повинні бути враховані у відповідності до DIN 4108-6 [8]: конкретними додатковими величинами ( $0,05-0,1 W/(m^2 \cdot K)$ ), каталожними даними тепловитрат теплових містків, або їх точними розрахунками в чисельних програмах;

$\Delta H_{t, fh}$  – додаткові питомі трансмісійні тепловитрати через конструкції з інтегрованими нагрівальними поверхнями (в підлогах, перекриттях та вертикальних будівельних конструкціях).

Розглянемо саму точну методику – розрахунок коефіцієнта теплопередачі лінійних теплових містків з використанням методу температурних полів.

**Основні формули для розрахунку двовимірних температурних лінійних теплових містків.** Методика розрахунку коефіцієнта теплопередачі лінійного теплового містка  $\Psi_k$  визначається в ISO 10211 [5], та приведена на Рис.1.

Спочатку тепловий потік через вузол, чи коефіцієнт теплового зв'язку  $L_{2d}$  визначається за допомогою програми моделювання теплових полів – Therm, і далі від нього віднімається легко обчислювана величина:

$$L_0 = \sum U_i l_i, \quad (4)$$

де  $U_i$  – коефіцієнт теплопередачі  $i$ -того елементу огорожувальних конструкцій будівлі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$l_i$  – довжина лінійного теплового моста, м.

Тобто  $\Psi$  визначається, як різниця між безперервним ( $L_{2d}$ ) та термічно розімкнутим ( $L_0$ ) компонентами вузла.

Де  $\Phi_{2d}$  – тепловий потік (Вт) через нерозімкнутий вузол, отримується із чисельної симуляції в програмі Therm;

$\Delta\theta$  – різниця зовнішньої та внутрішньої температури, °С.

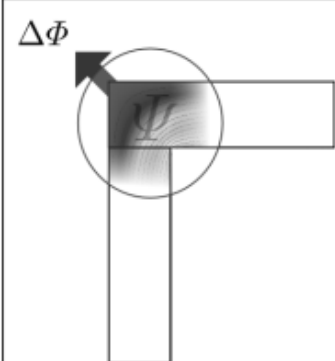
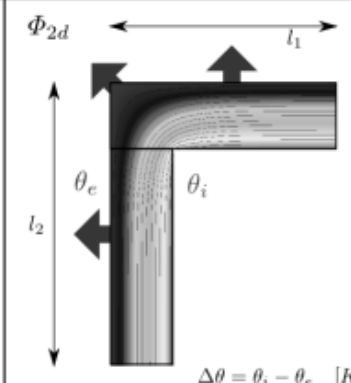
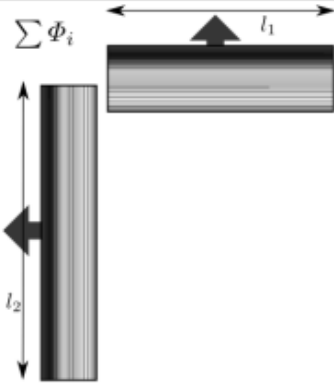
| Differenz / Störung<br>Difference / disturbance                                                                                  | Wärmestrom Simulation (2d)<br>Heat flow simulation (2d)                             | U-Wert Berechnung (1d)<br>U-value calculation (1d)                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               |  |  |
| $\Delta\Phi = \Phi_{2d} - \sum \Phi_i \quad [W/m]$                                                                               | $\Phi_{2d}$                                                                         | $\sum \Phi_i = \sum (U_i \cdot l_i \cdot \Delta\theta)$                              |
| $\Psi = L_{2d} - L_0 = \frac{\Delta\Phi_{2d}}{\Delta\theta} \quad [W/(mK)]$                                                      | $L_{2d} = \frac{\Phi_{2d}}{\Delta\theta}$                                           | $L_0 = \sum (U_i \cdot l_i)$                                                         |
| $\Psi = \underbrace{L_{2d}}_{\text{2d-Simulation}} - \underbrace{\sum (U_i \cdot l_i)}_{L_0 \text{ aus U-Werte}} \quad [W/(mK)]$ |                                                                                     |                                                                                      |

Рис.1 Методика визначення  $\Psi$ [5]

Для розрахунку в програмі Therm також необхідно задати граничні умови, тобто значення температури зовні ( $\theta_e$ ) та всередині ( $\theta_i$ ), а також передавальні

термальні опори на зовнішніх ( $R_{se}$ ) та внутрішніх ( $R_{si}$ ) поверхнях, які також залежать від напрямку теплового потоку через будівельний елемент (Таблиця 1). Параметри  $R_{se}$ ,  $R_{si}$  є стандартними і детально описані В. Файстом [3].

Для визначення мінімальної внутрішньої температури поверхні вугла  $\Theta_{min}$  та гігієнічного критерія  $fr_{si}$ , який обмежує  $\Theta_{min}$  на рівні  $12,6^{\circ}\text{C}$  при температурах  $\Theta_e = -10^{\circ}\text{C}$ ,  $\Theta_i = 20^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості 50%, та повинен бути  $>0,75$  для нашої кліматичної зони, щоб не було конденсату, задаються граничні умови за Таблицею 2.

Таблиця 1.

Значення термічного опору на поверхнях  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$  (для розрахунків значень  $\Psi$ )

|               | Термічний опір $R_{si}$ ,<br>$\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ | Термічний опір $R_{se}$ ,<br>$\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Вгору         | 0,10                                                                 | 0,04                                                                 |
| Горизонтально | 0,13                                                                 | 0,04                                                                 |
| Вниз          | 0,17                                                                 | 0,04                                                                 |

Таблиця 2.

Значення термічного опору на поверхнях  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$   
(для розрахунків  $\Theta_{min}$  та  $fr_{si}$ )

|               | Термічний опір $R_{si}$ ,<br>$\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ | Термічний опір $R_{se}$ ,<br>$\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ |
|---------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Вгору         | 0,25                                                                 | 0,04                                                                 |
| Горизонтально | 0,25                                                                 | 0,04                                                                 |
| Вниз          | 0,25                                                                 | 0,04                                                                 |

Наведемо приклад розрахунку лінійного теплового містка вузла з'єднання стіни з плоскою покрівлею в 2D програмі моделювання температурних полів Therm (Рис.2). Виписуємо граничні умови, геометричні та теплові характеристики матеріалів вузла (Таблиці 3; 4), дані подано для клімату центру Німеччини, який будемо вважати аналогічним клімату центру України [16].

Таблиця 3.

Граничні умови

|                   | Температура<br>$\Theta, ^{\circ}\text{C}$ | Тепловий потік $q$ ,<br>$\text{Вт} / \text{м}^2$ | Термічний опір<br>$R_{se}, R_{si}, \text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ |
|-------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Ззовні            | -10                                       |                                                  | 0,04                                                                      |
| Всередині, гор-но | 20                                        |                                                  | 0,13                                                                      |
| Всередині, вгору  | 20                                        |                                                  | 0,10                                                                      |
| Торці             |                                           | 0                                                |                                                                           |

Таблиця 4.

Геометричні та теплові характеристики матеріалів вузла

| Тон                                                                               | Назва матеріалу            | Товщина,<br>мм | Коеф. теплопровідності<br>$\lambda$ , Вт/м·К |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------|----------------------------------------------|
| Продовження Таблиці 4.                                                            |                            |                |                                              |
|  | Цегляна кладка             | 250            | 0,81                                         |
|  | Полістирол Неорор,стіна    | 200            | 0,034                                        |
|  | Полістирол Неорор,покриття | 300            | 0,034                                        |
|  | Залізобетон В20            | 150            | 2,04                                         |
|  | Полістиролбетон D800       | 100            | 0,21                                         |

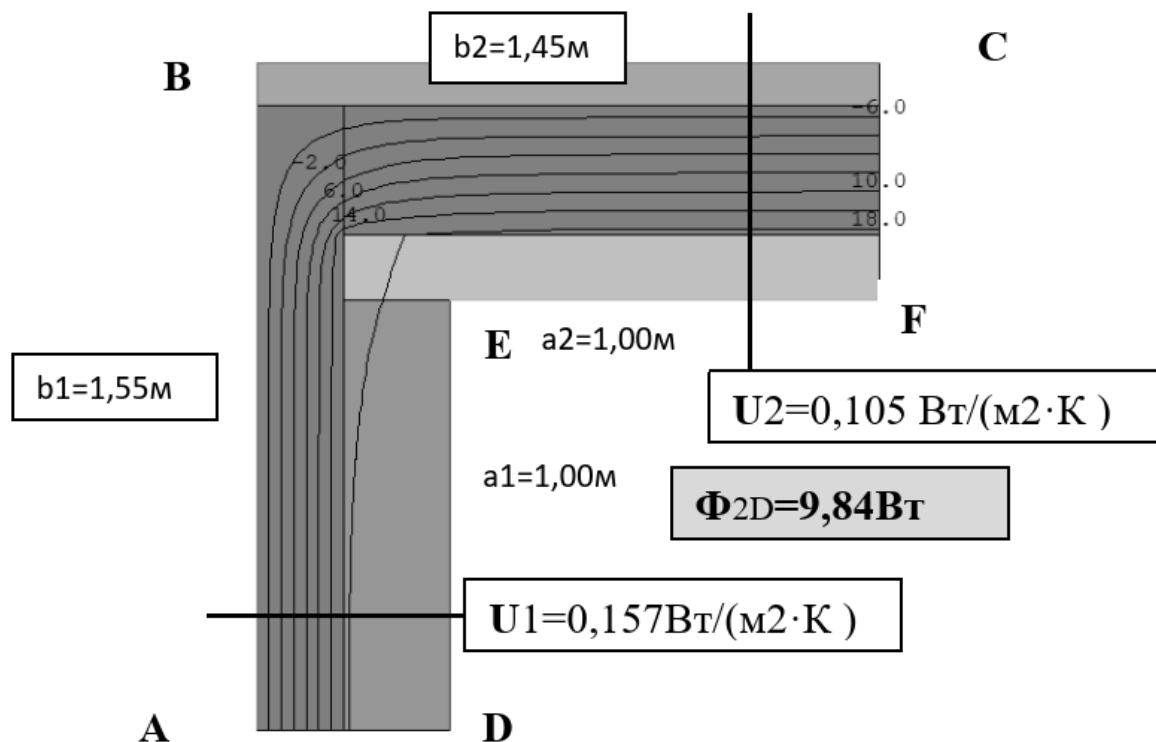


Рис.2. Конструкції та геометрія вузла, лінії ізотерм. (автор Головатюк К.)

Коефіцієнти теплопередачі елементів конструкції, стіни та покрівлі, знайдемо через суму коефіцієнтів теплопередачі окремих шарів конструкції та термічного опору на поверхні, а саме:

стіна  $U1 = 1/(R_{si} + R_{se} + 0,25/0,81 + 0,2/0,034) = 1/(0,13 + 0,04 + 0,308 + 5,88) = 0,157 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

покрівля  $U2 = 1/(R_{si} + R_{se} + 0,15/2,04 + 0,3/0,034 + 0,1/0,21) = 1/(0,10 + 0,04 + 0,07 + 8,82 + 0,48) = 0,105 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Зовнішній коефіцієнт теплопередачі лінійного містка (використовується в стандарті «Passivhaus»):

$\Psi_{ABC} = \Phi_{2D} / \Delta\Theta - U_1 \times b_1 - U_2 \times b_2 = 9,84 / 30^\circ\text{C} - 0,157 \times 1,55 - 0,105 \times 1,45 = 0,328 - 0,243 - 0,152 = -0,067 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) < 0,01 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Відповідає критерію проєктування без теплових містків для стандарту «Passivhaus», де  $\Psi \leq 0,01 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Внутрішній коефіцієнт теплопередачі лінійного містка:

$\Psi_{DEF} = \Phi_{2D} / \Delta\Theta - U_1 \times a_1 - U_2 \times a_2 = 9,84 / 30^\circ\text{C} - 0,157 \times 1,00 - 0,105 \times 1,00 = 0,328 - 0,157 - 0,105 = 0,066 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , який використовують, коли розрахунки тепловитрат ведуться зсередини будівлі (не в «Passivhaus»).

Визначаємо гігієнічний фактор  $f_{RSI}$  (можливість конденсації вологи в куті вузла) при нижченаведених граничних умовах (Таблиця 5). Значення  $\Phi_{2D}$ ,  $\Theta_{min}$  в куті вузла одержимо в програмі Therm разом з малюнком температурного поля (Рис.3).

Таблиця 5.

Граничні умови для визначення можливості конденсату в вузлі

|                       | Температура<br>$\Theta, ^\circ\text{C}$ | Тепловий потік<br>$q, \text{Вт}/\text{м}^2$ | Термічний опір<br>$R_{se}, R_{si}, \text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ |
|-----------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Ззовні                | -10                                     |                                             | 0,04                                                                      |
| Всередині, гор-но(DE) | 20                                      |                                             | 0,25                                                                      |
| Всередині, вгору(EF)  | 20                                      |                                             | 0,25                                                                      |
| Торці (AD,FC)         |                                         | 0                                           |                                                                           |

$\Theta_{min} = 18^\circ\text{C}$ , тоді

$$f_{RSI} = (\Theta_{min} - \Theta_e) / (\Theta_i - \Theta_e) = (18^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C})) / 30^\circ\text{C} = 0,933 > 0,75$$

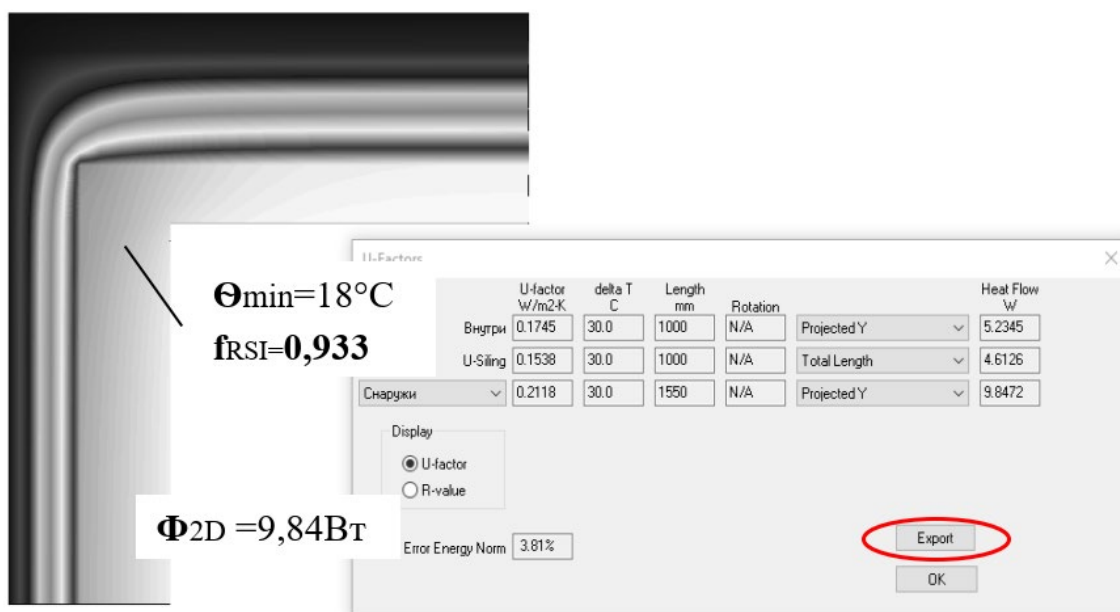


Рис.3. Малюнок температурного поля вузла, значення  $\Phi_{2D}$ ,  $\Theta_{min}$ . (автор Головатюк К.)

Так як  $f_{rsi} > 0,75$  для клімату України, то конденсат в куті вузла не випадає.

Таким чином, очевидно, що для виконання критерію «Passivhaus» проєктування без теплових містків, будинок повинен мати дуже потужну, безперервну теплоізоляцію всіх огорожувальних конструкцій, особливо вузлів.

**Висновки.** Підсумовуючи усе вищевикладене, зазначено, що правильний розрахунок лінійних теплових містків є важливим етапом в задачі масового спорудження комфортного та енергоефективного житла за будівельним стандартом «Passivhaus» в Україні. Спорудження такого житла дозволить суттєво зменшити тепловтрати будівель (на 80-90%), підвищити їх комфорт, екологічність та економічну привабливість, назавжди відірватися від кабальної економічної залежності від росії.

Відмічено, що це все вплине на різкий зріст обізнаності всієї громади проєктувальників, будівельників та замовників в питаннях спорудження сучасного інноваційного житла.

Підкреслена гостра необхідність масового створення будівель за стандартом «Passivhaus» в Україні. Прописані основні критерії створення «Passivhaus» та його основні цифрові характеристики для умов України. Подана інформація з чисельного методу розрахунку коефіцієнта лінійного теплового містка (в 2D постановці) за допомогою програми Therm.

Приведено приклад розрахунку коефіцієнта теплопередачі лінійного теплового містка вузла з'єднання стіни з плоскою покрівлею в запроектованій будівлі за стандартом «Passivhaus» методом двовимірного температурного поля за європейськими будівельними нормами. Виконано аналіз на відповідність значення коефіцієнта теплопередачі лінійного теплового містка критерію стандарту «Passivhaus» проєктування без теплових містків  $\Psi \leq 0,01 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  та виконання вимоги гігієни  $f_{rsi} > 0,75$ , яка унеможливорює появу конденсату та плісняви в кутку вузла.

#### Список літератури

1. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings // Official Journal of the European Communities. 2003. L 1, 4.1.2003. P. 65–71. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32002L0091> (дата звернення: 08.08.2025).
2. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) // Official Journal of the European Union. 2010. L 153, 18.6.2010. P. 13–35. URL: <https://eur->

[lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0031](http://lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0031) (дата звернення: 08.08.2025).

3. Feist W. Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2001. 143 s.

4. THERM: Program documentation. Windows & Daylighting, Lawrence Berkeley National Laboratory. URL: <https://windows.lbl.gov/documentation-therm> (дата звернення: 08.08.2025).

5. ISO 10211:2017. Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations. Geneva: International Organization for Standardization, 2017. 55 p. URL: <https://www.iso.org/standard/65710.html> (дата звернення: 08.08.2025).

6. ISO 14683:2017. Thermal bridges in building construction — Linear thermal transmittance — Simplified methods and default values. Geneva: International Organization for Standardization, 2017. 25 p. URL: <https://www.iso.org/standard/65706.html> (дата звернення: 08.08.2025).

7. DIN 4108 Beiblatt 2:2004. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Wärmebrücken — Planungs- und Ausführungsbeispiele. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2004. 86 S. URL: <https://www.construction21.org/data/sources/users/9404/2-3-2-din.pdf> (дата звернення: 08.08.2025).

8. DIN V 4108-6:2003. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresenergiebedarfs. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2003. 110 S. (Vornorm; withdrawn).

9. ISO 13370:2017. Thermal performance of buildings — Heat transfer via the ground — Calculation methods. Geneva: International Organization for Standardization, 2017. 49 p. URL: <https://www.iso.org/standard/65716.html> (дата звернення: 08.08.2025).

10. ISO 13789:2017. Thermal performance of buildings — Transmission and ventilation heat transfer coefficients — Calculation method. Geneva: International Organization for Standardization, 2017. 24 p. URL: <https://www.iso.org/standard/65713.html> (дата звернення: 08.08.2025).

11. Семко О.В., Філоненко О.І., Юрін О.І., Магас Н.М. Лінійні теплопровідні включення в будівельних конструкціях: навч. посібник. Полтава: Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2023. 175 с. URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/14676>

12. Alhawari A., Mukhopadhyaya P. Thermal bridges in building envelopes – An overview of impacts and solutions. International Review of Applied Sciences and Engineering. 2018. Vol.9, Issue 1. P. 31–40. DOI: <https://doi.org/10.1556/1848.2018.9.1.5>

13. Kolesnyk I. Determination of linear and point thermal transmittance of the most usual thermal bridges in external walls. Budownictwo o Z optymalizowanym Potencjale Energetycznym. 2013. № 2 (12). S. 47–54. URL: <https://bibliotekanauki.pl/articles/2065213>
14. Pelss M., Blumberga A., Kamenders A. Thermal bridge impact on the heating demand in a low-energy house. Environmental and Climate Technologies. 2010. Vol. 4, No. 1. P. 76–81. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10145-010-0021-8>
15. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Чинна редакція від 20.04.2023. Київ. URL: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3075196638495507996](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075196638495507996) (дата звернення: 08.08.2025).
16. Головатюк К. Невідкладність масового будівництва «пасивних будинків» в Україні. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2023. № 66. С. 290–299. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.290-299>

#### References

1. European Parliament & Council of the European Union. (2002). Directive 2002/91/EC of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Communities, L 1, 65–71. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32002L0091> (in English).
2. European Parliament & Council of the European Union. (2010). Directive 2010/31/EU of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union, L 153, 13–35. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0031> (in English).
3. Feist, W. (2001). Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser. Darmstadt. (in German).
4. Lawrence Berkeley National Laboratory. (n.d.). THERM: Program documentation. <https://windows.lbl.gov/documentation-therm> (Accessed: August 08, 2025) (in English).
5. International Organization for Standardization. (2017). ISO 10211:2017 Thermal bridges in building construction—Heat flows and surface temperatures—Detailed calculations. <https://www.iso.org/standard/65710.html> (in English).
6. International Organization for Standardization. (2017). ISO 14683:2017 Thermal bridges in building construction—Linear thermal transmittance—Simplified methods and default values. <https://www.iso.org/standard/65706.html> (in English).
7. Deutsches Institut für Normung. (2004). DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden—Wärmebrücken—Planungs- und Ausführungsbeispiele. <https://www.construction21.org/data/sources/users/9404/2-3-2-din.pdf> (in Germany).

8. Deutsches Institut für Normung. (2003). DIN V 4108-6: Thermal protection and energy economy in buildings—Part 6: Calculation of annual heat and energy use (Vornorm). Berlin: DIN. (in Germany).

9. International Organization for Standardization. (2017). ISO 13370:2017 Thermal performance of buildings—Heat transfer via the ground—Calculation methods. <https://www.iso.org/standard/65716.html> (in English).

10. International Organization for Standardization. (2017). ISO 13789:2017 Thermal performance of buildings—Transmission and ventilation heat transfer coefficients—Calculation method. <https://www.iso.org/standard/65713.html> (in English).

11. Semko, O. V., Filonenko, O. I., Yurin, O. I., & Mahas, N. M. (2023). Linear thermal bridge inclusions in building structures [Textbook]. Yuri Kondratyuk National University. <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/14676> (in Ukrainian).

12. Alhawari, A., & Mukhopadhyaya, P. (2018). Thermal bridges in building envelopes: An overview of impacts and solutions. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 9(1), 31–40. <https://doi.org/10.1556/1848.2018.9.1.5> (in English).

13. Kolesnyk, I. (2013). Determination of linear and point thermal transmittance of the most usual thermal bridges in external walls. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, (2(12)), 47–54. <https://bibliotekanauki.pl/articles/2065213> (in English).

14. Pelss, M., Blumberga, A., & Kamenders, A. (2010). Thermal bridge impact on the heating demand in a low-energy house. *Environmental and Climate Technologies*, 4(1), 76–81. <https://doi.org/10.2478/v10145-010-0021-8> (in English).

15. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. (2023). DBN V.2.6-31:2021 Thermal insulation and energy efficiency of buildings (current version as of April 20, 2023). [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3075196638495507996](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075196638495507996) (in Ukrainian).

16. Holovatyuk, K. (2023). The urgent task of mass construction of “passive houses” in Ukraine. *Current Problems of Architecture and Urban Planning*, (66), 290–299. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.66.290-299> (in Ukrainian).

#### Abstract

**Kostyantyn Holovatyuk**, Candidate of physical and mathematical sciences, Director of the Design and Construction Firm “Ardis”, Kyiv.

#### **Example of calculation of linear thermal bridge for mass production of houses of the “Passivhaus” standard in Ukraine**

The article defines the main goal in the reconstruction of Ukraine after the war, namely the harmonization of building codes with European standards for mass design

and construction of energy-efficient housing and other buildings from local materials according to the “Passivhaus” standard and similar ones. The mechanism of understanding and correct calculation of the heat transfer coefficient of linear "thermal bridges" in the 2D Therm program is disclosed, as one of the main criteria of the “Passivhaus” standard - “design without thermal bridges”. An example of calculating the heat transfer coefficient of a linear thermal bridge of the junction of a wall with a flat roof in a designed building in the climatic conditions of Ukraine according to the “Passivhaus” standard using the two-dimensional temperature field method according to European building codes is given. An analysis was performed to determine the compliance of the heat transfer coefficient of the linear thermal bridge  $\Psi$  with the criterion of the “Passivhaus” standard “design without thermal bridges” and the hygiene factor, which prevents the appearance of condensate and mold in the designed nodes. It was emphasized that only with careful design and technical supervision of the creation of the building, in particular the installation of powerful, continuous thermal insulation of all enclosing structures, especially nodes, is it possible to mass-produce housing according to “Passivhaus” standards, which is so necessary for Ukraine.

Keywords: energy efficiency; “Passivhaus” standard; thermal conductivity; heat transfer coefficient; heat flow; two-dimensional thermal bridge calculation program.