

Навчання енергоаудиторів та проєктувальників





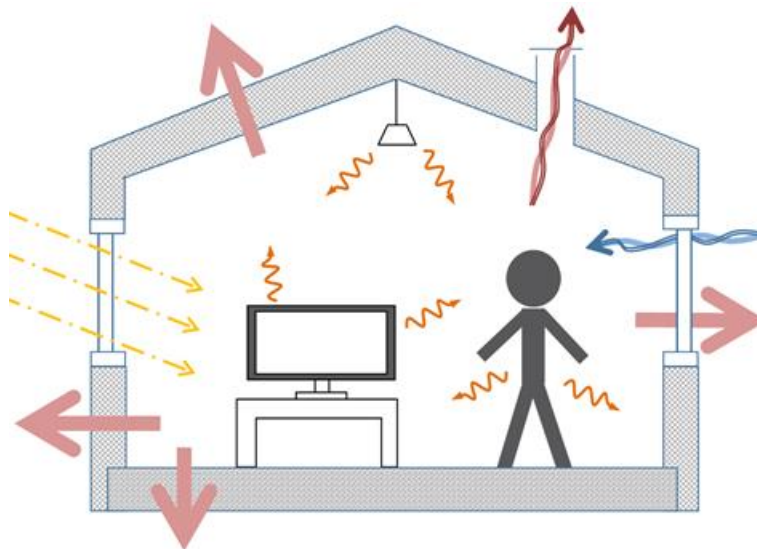
НАВЧАННЯ ЕНЕРГОАУДИТОРІВ
ТА ПРОЄКТУВАЛЬНИКІВ

Алгоритм розрахунку.

Огороджувальні конструкції
будівель.

Огороджувальні конструкції

Дах
Стіни
Вікна
Двері
Підлога



Нормативні вимоги до огорожувальних конструкцій

- 1. Стан будівлі задовільний, основи, фундаменти, конструкції спроможні нести існуючі навантаження, та навантаження від утеплення (візуально);
- 2. $R_{\Sigma пр} \geq R_{q \min.}$; (таблиця 1 ДБН В.2.6-31:2021)
- 3. $\Delta \theta_{int-si} \leq \Delta \theta_{int-si, max.}$; (таблиця 3 ДБН В.2.6-31:2021)
- 4. $\theta_{tb, si, min} > \theta_{si, min.}$ ($\theta_{si, min.} = 20 - 9,3 = 10,7^{\circ}C$)

Нормативні значення приведенного опору теплопередачі, $R_{пр}$.

Огороджувальні конструкції будівлі

Опір теплопередачі для температурної зони, $m^2 \cdot K / Wt$

		I	II
1	Зовнішні стіни	4.0	3.5
2	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7.0	6.0
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ	6.0	5.5
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	5.0	4.0
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0.9	0.7
6	Зенітні ліхтарі	0.8	0.7
7	Зовнішні двері	0.7	0.6



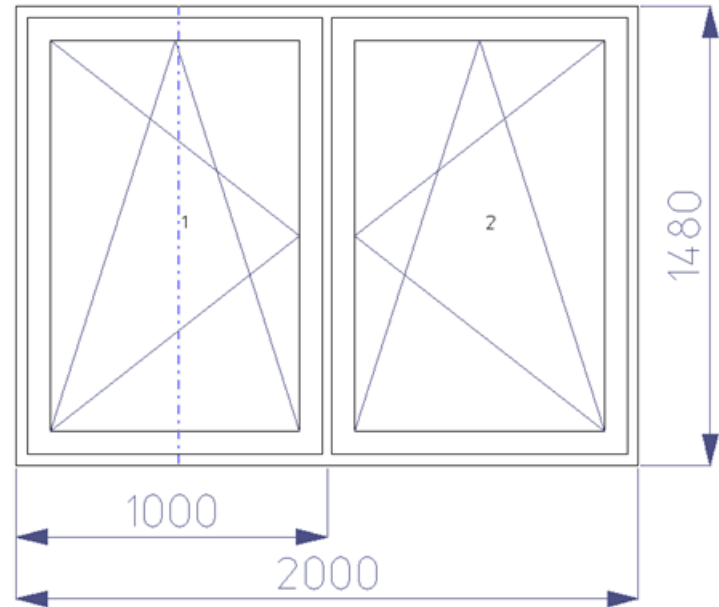
D_d – кількість градусо-днів опалювального періоду

I зона – більше ніж 3501 градусо-днів

II зона – менше ніж 3500 градусо-днів

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі вікон

$$U_w = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$



Розрахунок коефіцієнта теплопередачі вікон

Розмір вікна 1480x2000мм.

Формула слоблоку 4і-10-4-10-4і

Рама металопластикова товщиною 70м.

$$U_w = \frac{0,94 \cdot 1,163 + 2,02 \cdot 1,075 + 8,2 \cdot 0,08}{0,94 + 2,02} = 1,32 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$R_{пр} = \frac{1}{U_w} = \frac{1}{1,32} = 0,76 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

U_w - приведений коефецієнт теплопередачі;

A_f – загальна площа профільних елементів із ПВХ (рам віконних блоків, стулок, імпостів)- 0,94 м.2;

A_g – загальна площа склопакетів – 2,02 м.2;

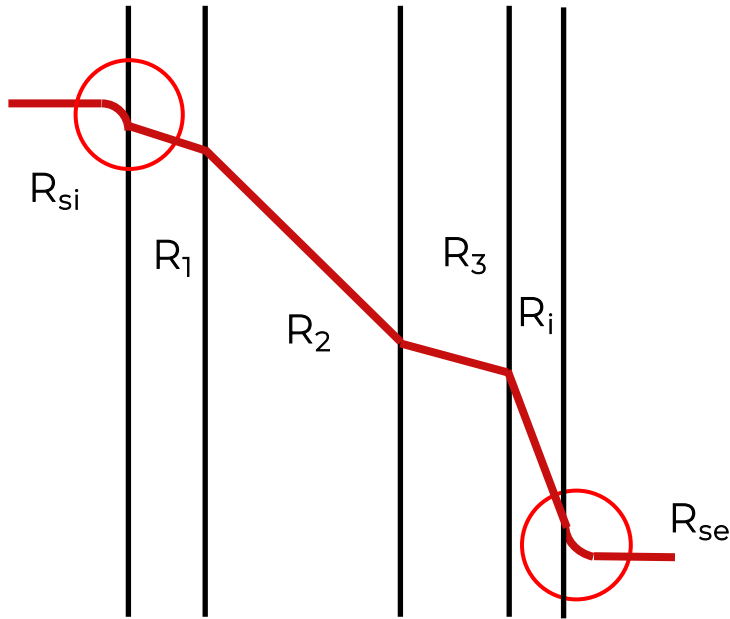
L_g - лінійні теплопровідні включення в зоні примикання склопакету до рами із сталі – 8,2 м;

Ψ_g - лінійний коефецієнт теплопередачі дистанційнох рамки, 0,08 Вт/(м·К) табл.Е1 ДСТУ Б EN ISO 10077-1:2016

U_f – коефіцієнт теплопередачі профільних елементів із ПВХ (рам віконних блоків, стулок, імпостів) - 1,163Вт/(м2·К)

U_g – коефіцієнт теплопередачі склопакетів – 1,075Вт/(м2·К)

Опір теплопередачі конструкції



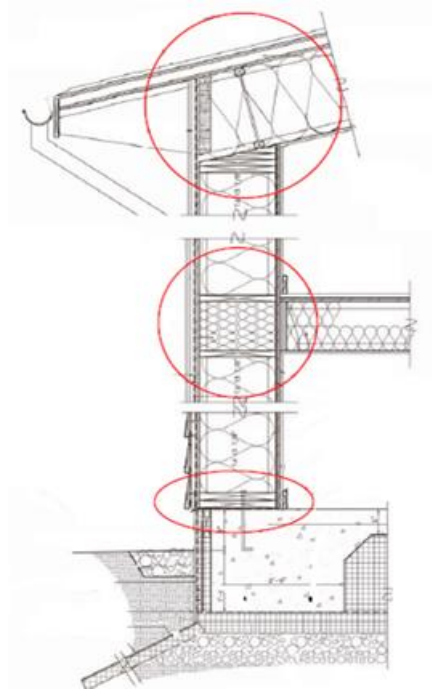
$$R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{\text{ізоляція}} + R_{se}$$

$$R_{si} = \frac{1}{h_{si}}$$

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}}$$

$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}}$$

Опір теплопередачі конструкції



$$R_{\Sigma пр, кон} = \frac{\sum_i A_i + \sum_i A_{i, ук}}{\sum_i (A_i / R_{\Sigma i}) + \sum_k (l_k \cdot \Psi_k) + \sum_j (N_{j, i} \cdot \chi_j)},$$

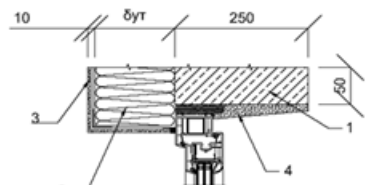
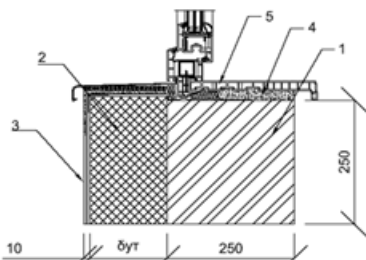
Спрощений метод розрахунку

$$U_{op} = 1/R_{\Sigma}$$

$$U_i = U_{op} + \Delta U_{tb},$$

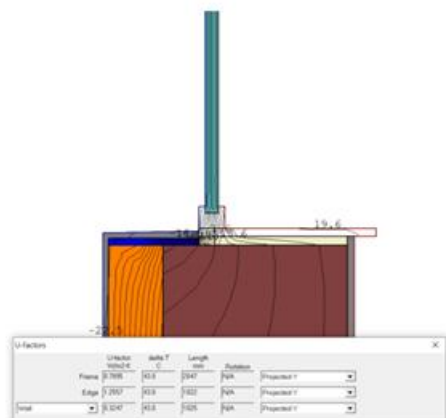
Теплопровідні вclusions

Типові теплопровідні вclusions наведені в ДСТУ 9191:2022 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.

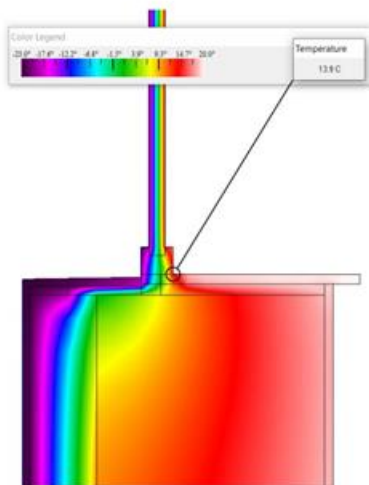
1	2	3	4	5	6
14	Вузол примикання віконної конструкції до зовнішніх стін з цегли з опорядженням штукатуркою в зоні перемички				
	 1 – залізобетон, $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$; 2 – шар теплоізоляції; 3 – опоряджувальна штукатурка, $\rho = 1300 \text{ кг/м}^3$; 4 – розчин цементно-піщаний, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$.	0,045±0,005	120 мм	150 мм	180 мм
15	Вузол примикання віконної конструкції до зовнішніх стін з цегли з опорядженням штукатуркою в зоні підвіконня				
	 1 – цегляна кладка, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$; 2 – шар теплоізоляції; 3 – опоряджувальна штукатурка, $\rho = 1300 \text{ кг/м}^3$; 4 – розчин цементно-піщаний, $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$; 5 – ПВХ підвіконня.	0,045±0,005	120 мм	150 мм	180 мм

Теплопровідні включення

Теплопровідне включення примикання зовнішніх стін до віконного відкосу в зоні підвіконня



$$\begin{aligned}U_{\text{wall}} &= 0,243, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); \\h_{0,\text{wall}} &= 1,025 \text{ м}; \\U_{\text{edge}} &= 1,224, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); \\h_{0,\text{edge}} &= 1,022 \text{ м}; \\q &= 0,7895, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); \\L &= 2,047, \text{ м}; \\k &= q \cdot L - (U_{\text{wall}} \cdot h_{0,\text{wall}} + U_{\text{edge}} \cdot h_{0,\text{edge}}) = 0,116, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).\end{aligned}$$



Нестандартні теплопровідні включення потрібно моделювати за двовірними температурними полями.

Частину нестандартних лінійних теплових включень наведено в проектах повторного використання.

Завдання №1 з самотійним опрацюванням

Розрахувати опір теплопередачі однорідної конструкції стіни R

	Товщина матеріалу, $\delta_i, \text{м}$	Теплопровідність, $\lambda_i, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	Опір теплопередачі, $R_i = \delta_i / \lambda_i, \text{м}^2\cdot\text{К/Вт}$
Шари конструкції стіни			
Розчин вапняно-піщаний (густиною $\rho_0=1600\text{кг/м}^3$)	0,02	0,81	
Керамзитобетон на керамзитовому піску (густиною $\rho_0=1200\text{кг/м}^3$)	0,38	0,52	
Вироби зі спіненого пінополістиролу (густиною $\rho_0=25\text{кг/м}^3$)	0,12	0,053	
$R = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{\text{ізоляція}} + R_{se}$			

$$R_{si} = 1/8,7 = 0,115 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}, R_{se} = 1/23 = 0,043 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$$

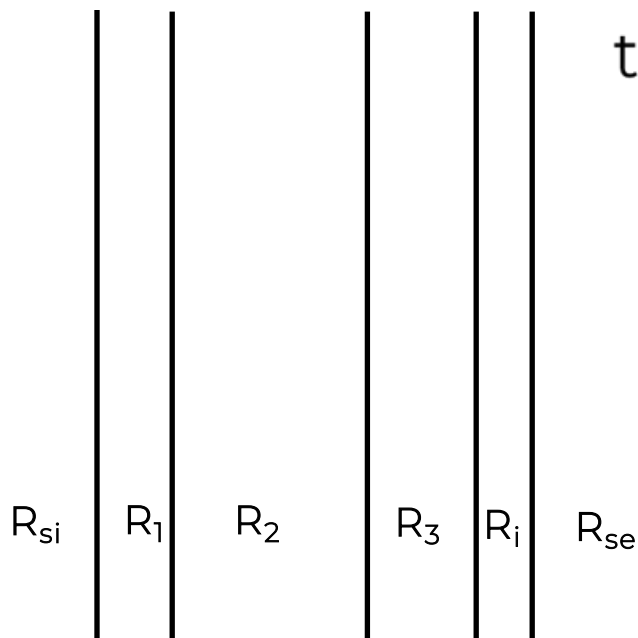
Завдання №2 (початкові дані в завданні №1) з самостійним опрацюванням

Розрахувати приведений опір теплопередачі стіни з лінійними тепловими включеннями та порівняти з спрощеним розрахунком.

Вид теплового включення	l_k	Ψ_k
Вузол примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні перемички	919,80	0,0810
Вузол примикання віконної конструкції до зовнішніх стін зоні підвіконня	919,8	0,0590
Вузол примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні рядового сполучення	2377,2	0,0680
Вузол кутового сполучення зовнішніх стін з цегли з опорядженням штукатуркою	112,4	0,1420
Вузол примикання зовнішніх стін з опорядженням штукатуркою до міжповерхового перекриття	2 358	0,0870
Вузол влаштування дюбеля для кріплення теплоізоляційного шару в фасадній системі	36988	0,0015

$$\Sigma A_i + \Sigma A_{i,yk} = 6165 \text{ м}^2, A_i = 5532 \text{ м}^2.$$

Розподіл температур по товщині конструкції

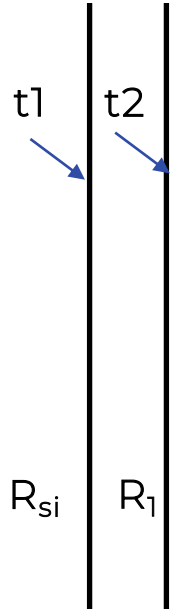


$$t(x) = t_B - \frac{t_B - t_3}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{h_{si}} + R_x \right); \quad R_{si} = \frac{1}{h_{si}}$$

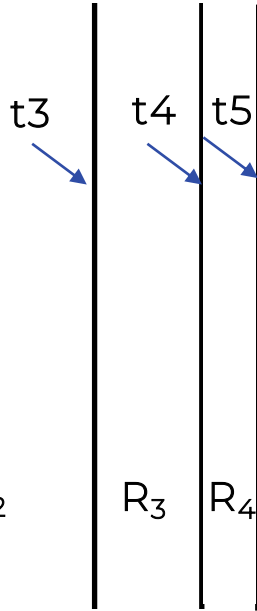


Завдання №3 з подальшим самостійним опрацюванням

$t_B = 20^\circ\text{C}$



$t_3 = -19^\circ\text{C}$



R_{se}

Визначити температури на поверхнях шарів t_3, t_4, t_5 , якщо:

$$R_{si} = 1/8,7 = 0,115 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}, R_1 = 0,025 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}, R_2 = 0,731 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}, R_3 = 2,264 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}, R_4 = 0,006 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}, R_{se} = 1/23 = 0,043 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$$

Приклад розрахунку t_1, t_2

$$t_1 = 20 - \frac{20 - (-19)}{3,19} * \left(\frac{1}{8,7_i}\right) = 18,59^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 20 - \frac{20 - (-19)}{3,19} * \left(\frac{1}{8,7_i} + 0,025\right) = 18,29^\circ\text{C}$$

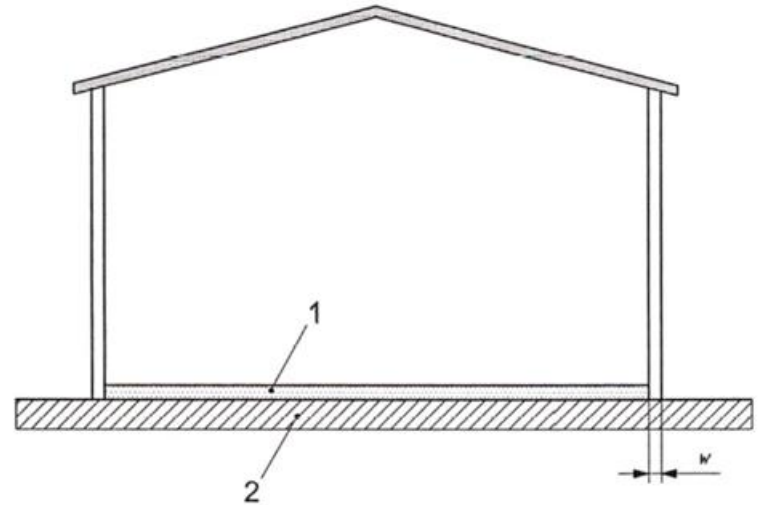
Теплопередача до ґрунту. Плита на ґрунті.

d_t – еквівалентна товщина підлоги

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}),$$

B' – характерний розмір підлоги

$$B' = \frac{A}{0,5P},$$



Теплопередача до ґрунту

Таблиця Б.1 – Теплопровідність ґрунту

Категорія	Опис	λ , Вт/(м·К)
1	Глина або мул	1,5
2	Пісок або гравій	2,0
3	Скельний або напівскельний	3,5

Таблиця Б.2 – Тепловий опір навколишнього середовища

Тип середовища й огорожувальної конструкції	Тепловий опір
Внутрішнє, для вертикальних огорожувальних конструкцій	$R_{si} = 0,115 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$
Внутрішнє, для горизонтальних огорожувальних конструкцій (тепловий потік зверху вниз)	$R_{si} = 0,17 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$
Внутрішнє, для горизонтальних огорожувальних конструкцій (тепловий потік знизу вверх)	$R_{si} = 0,10 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$
Усі зовнішні середовища	$R_{se} = 0,043 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$

Теплопередача до ґрунту

• якщо $d_t < B'$ (неізолювана або посередньо ізолювана підлога):

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right),$$

якщо $d_t \geq B'$ (добре ізолювана підлога):

$$U = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t},$$

Теплопередача до ґрунту

узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_g \quad ,$$

Теплопередача до ґрунту. Опалювальний підвал.

d_w – еквівалентна сумарна товщина стін,
що контактують з ґрунтом

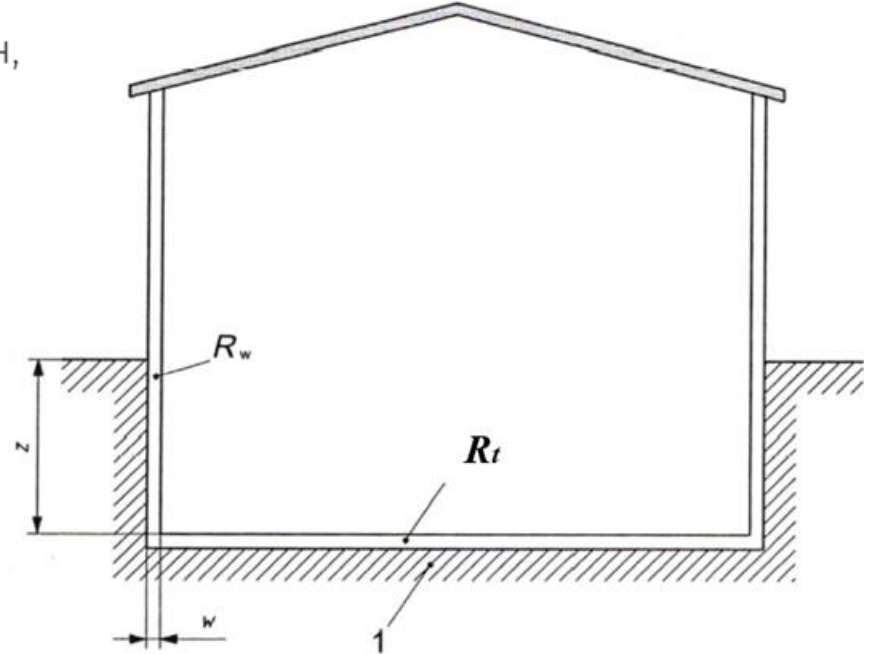
$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}),$$

B' – характерний розмір підлоги

$$B' = \frac{A}{0,5P},$$

d_t – еквівалентна товщина підлоги

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}),$$



Теплопередача до ґрунту. Опалювальний підвал.

Коефіцієнт теплопередачі підлоги на ґрунті у підвалі:

якщо $d_t + 0,5z < B'$ (неізолювана та посередньо теплоізолювана підлога підвалу):

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right),$$

якщо $d_t + 0,5z \geq B'$ (добре теплоізолювана підлога підвалу):

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t + 0,5z},$$

Теплопередача до ґрунту. Опалювальний підвал.

Коефіцієнт теплопередачі стін, що контактують з ґрунтом:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi Z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right),$$

Формула (Б.14) містить обидва значення d_w та d_t та є справедливою для випадку $d_w \geq d_t$. Якщо $d_w < d_t$, тоді d_t у формулі (Б.14) замінюють на d_w .

Теплопередача до ґрунту. Опалювальний підвал.

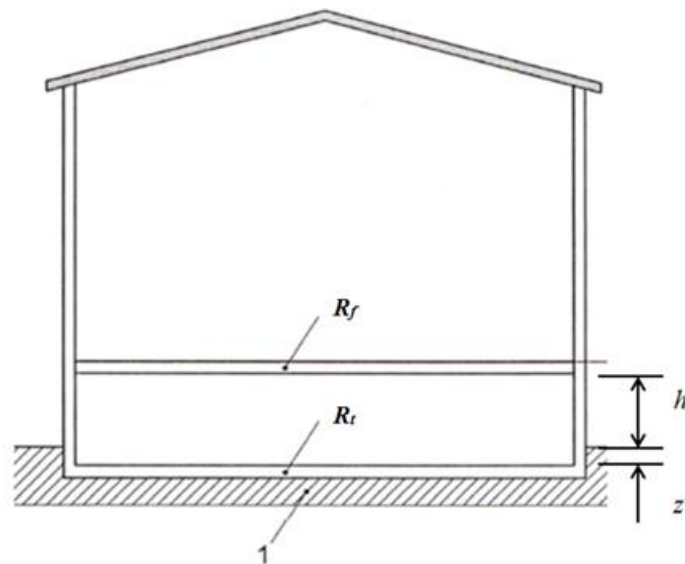
Стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту:

$$H_g = A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g,$$

Технічне підпілля

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x};$$

$$U_f = 1/(R_{si} + R_f + R_{se}) + P \cdot \Psi_{\text{пер}}$$



Технічне підпілля

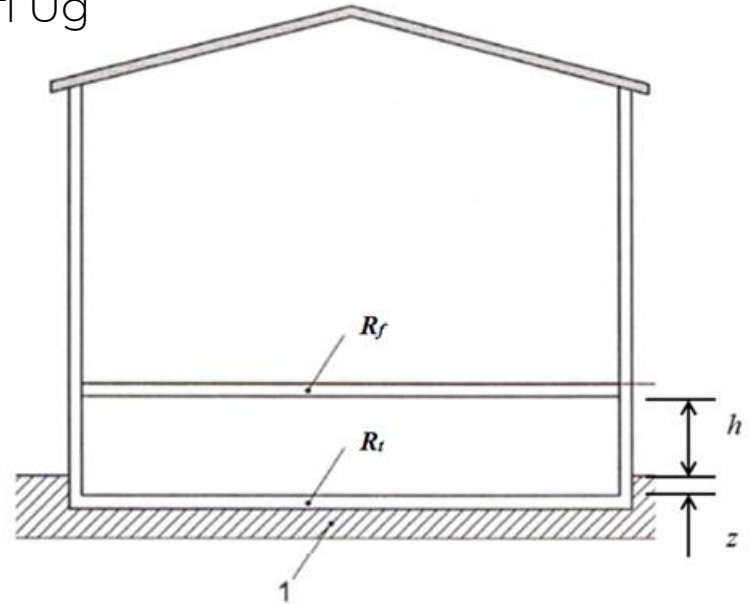
Коефіцієнт теплопередачі підлоги на ґрунті U_g
визначають:
при $z \leq 0,5$ м

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_g + R_{se}),$$

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_g} + 1 \right),$$

при $z > 0,5$ м

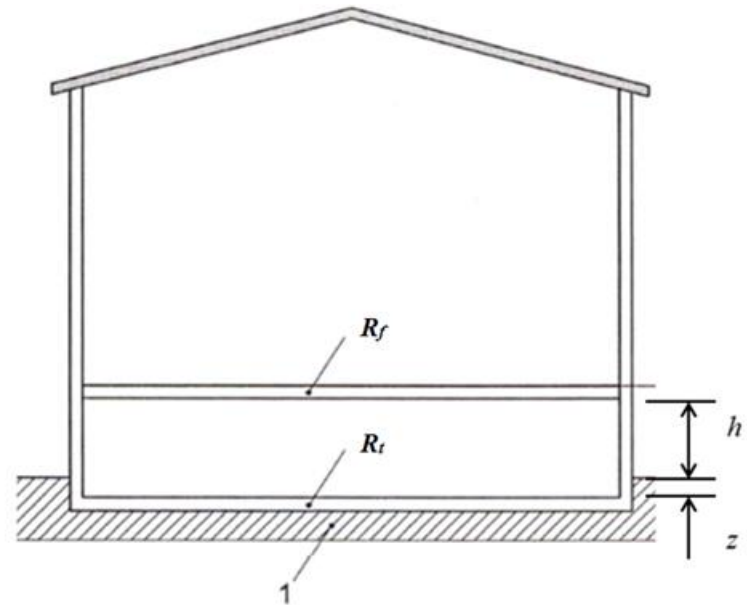
$$U_g = U_{bf} + \frac{z \cdot P \cdot U_{bw}}{A},$$



Технічне підпілля

Еквівалентний коефіцієнт теплопередачі між простором технічного підпілля та зовнішнім середовищем U_x визначають за формулою:

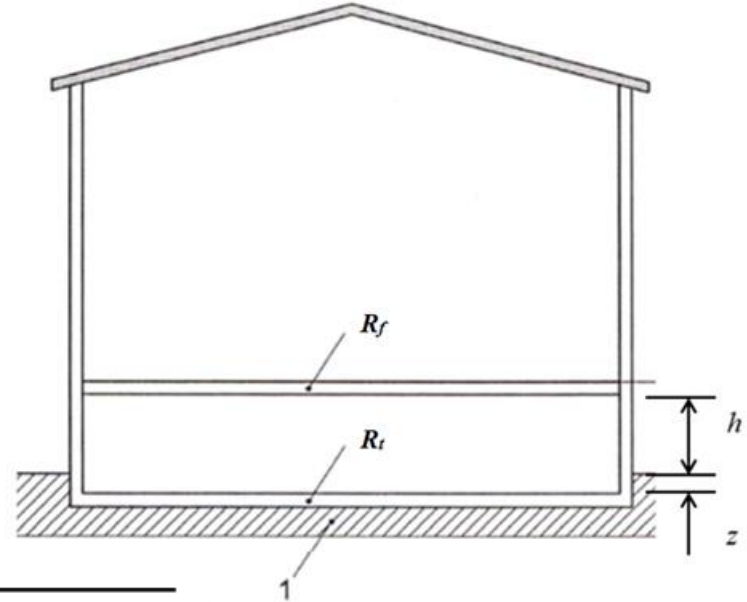
$$U_x = 2 \cdot \frac{h \cdot U_w}{B'} + 1450 \cdot \frac{\varepsilon \cdot \nu \cdot f_w}{B'}$$



Неопалювальний підвал

Коефіцієнт теплопередачі до ґрунту через систему огорожувальних конструкцій неопалювального підвалу, що вентилюється зовнішнім повітрям, U , Вт/(м²·К), визначають з формули:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (h \cdot P \cdot U_w) + (0,33 \cdot n \cdot V_{\text{під}})},$$



Узагальнені коефіцієнти теплопередачі трансмісією

до зовнішнього
середовища

через
некондиціоновані
об'єми

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A,$$

до ґрунту

до суміжних будівель

$$H_{x=b} = H_{tr,x} \sum A_i U_i$$

Поправочний коефіцієнт b_u

$$b_U = \frac{\theta_i - \theta_u}{\theta_i - \theta_e},$$

Поправочний коефіцієнт b_u

Тип некондиціонованого об'єму	b_u для опалювального періоду	b_u для періоду охолодження
Технічне підпілля	0,3	0,3
Технічне (тепле) горище	0,7	0
Холодне горище багатопверхових будівель	0,9	0
Холодне горище односімейних будівель	1,0	0
Неопалювана сходові клітка всередині будівлі	0,4	0
Неопалюване приміщення з трьома зовнішніми стінами (наприклад, зовнішні сходи)	0,8	0
Неопалюване приміщення з двома зовнішніми стінами та дверима (наприклад, тамбур, хол, гараж)	0,6	0
Неопалюване приміщення з двома зовнішніми стінами без дверей	0,5	0
Неопалюване приміщення з однією зовнішньою стіною	0,4	0
Засклений балкон/лоджія існуючих будівель (нового проєктування)	0,6/0,5	1,0
Засклена лоджія наявних будівель (задовільний стан/незадовільний стан)	0,7 / 0,85	1,0
Засклений балкон наявних будівель (задовільний стан/незадовільний стан)	0,8 / 0,9	1,0



Литвин Вадим
Експерт з
енергоаудиту
будівель. Інженерні
системи



Рафаль Станек
тім-лідер проєкту

Наскальний Сергій
Експерт з
енергоаудиту
будівель. Оболонка
будівель



Шамілов Петро
Архітектор. Експерт
з імплементації
nZEB в Україні



Маріо Бродем
Архітектор.
Міжнародний
експерт з nZEB



Довбенко Володимир
Конструктор, к.т.н.
Енергоаудитор



Шишка Катерина
Ключовий експерт команди з
енергоаудиту будівель

Комков Ігор
Експерт з
енергоаудиту будівель.
Енергоменеджмент та
комунікації



Трейс Андрієвські
Експерт з
впровадження проєктів
з енергоефективності.



Шанталь Ванден Боше
Ключовий експерт команди-
гендерні питання і комунікація



Маріо Бродем
Архітектор.
Міжнародний
експерт з
nZEB



Контакти:

