



НАВЧАННЯ ЕНЕРГОАУДИТОРІВ
ТА ПРОЄКТУВАЛЬНИКІВ



ПРОЕКТ ФІНАНСУЄТЬСЯ ЄВРОПЕЙСЬКИМ СОЮЗОМ

Навчання

Енергоефективність для проєктувальників

www.uatead.eu



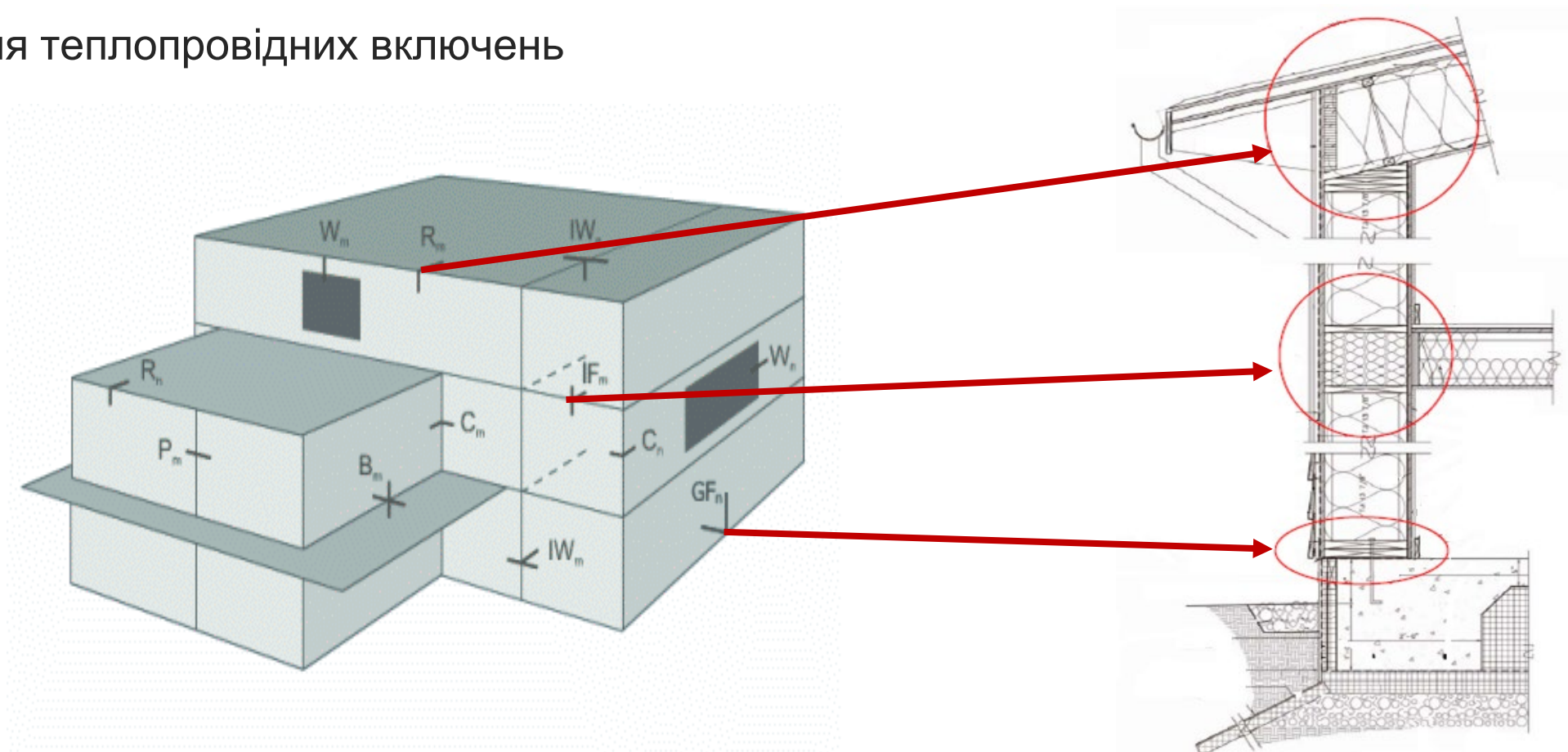


НАВЧАННЯ ЕНЕРГОАУДИТОРІВ
ТА ПРОЄКТУВАЛЬНИКІВ

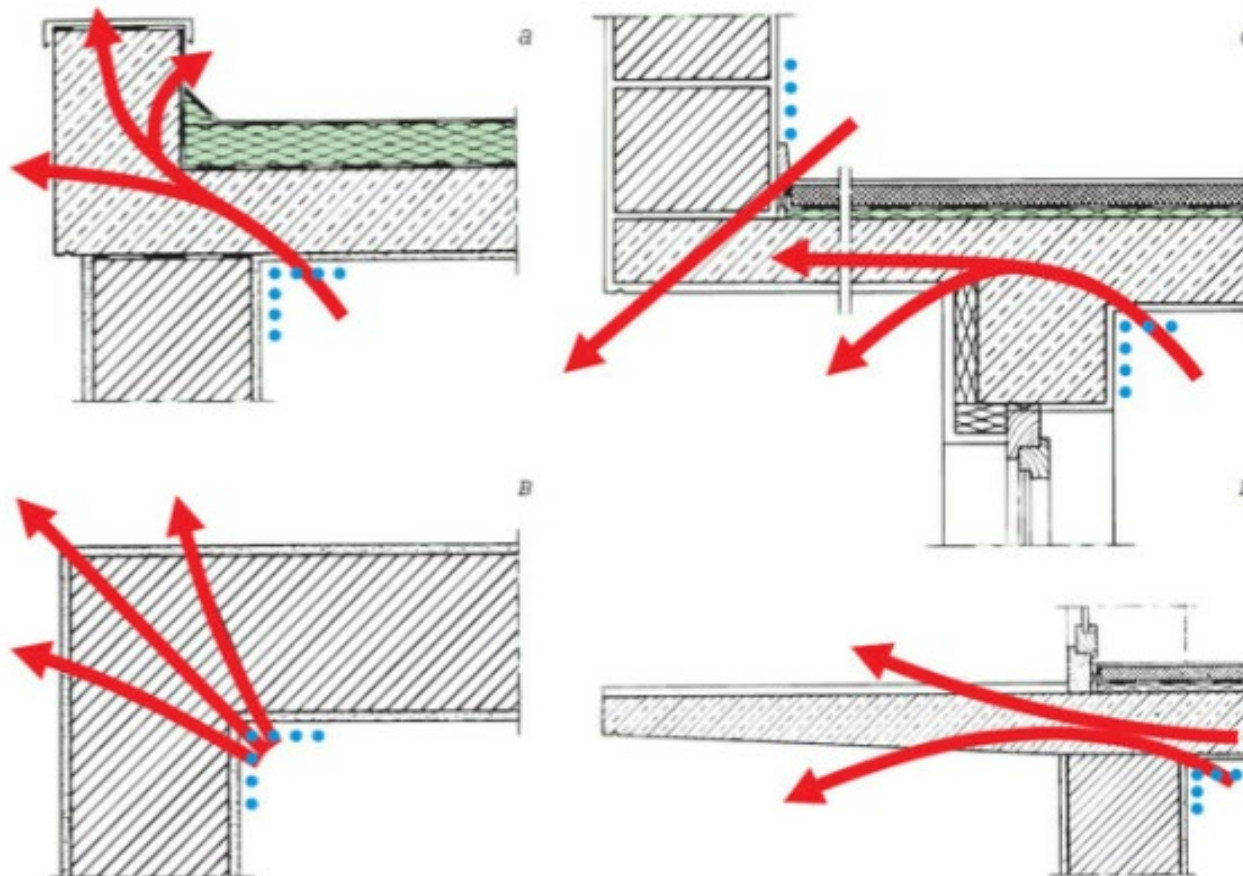
Аналіз теплопровідних включень

Теплопровідні включення

Розташування теплопровідних включень

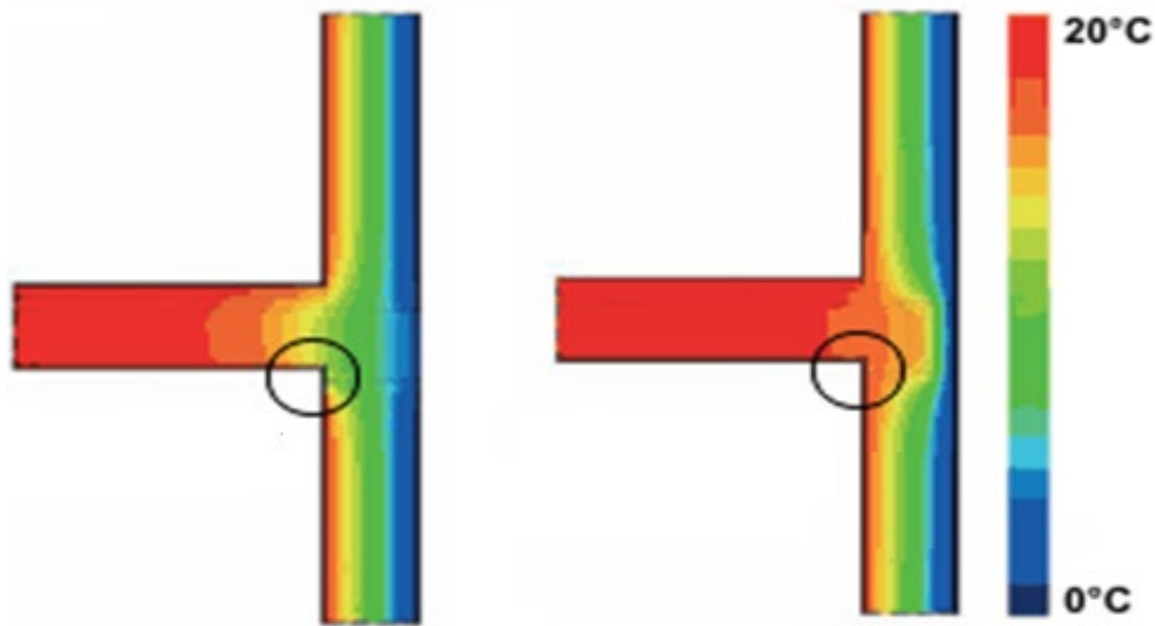


Аналіз конструктивних вузлів будівель на наявність містків холоду

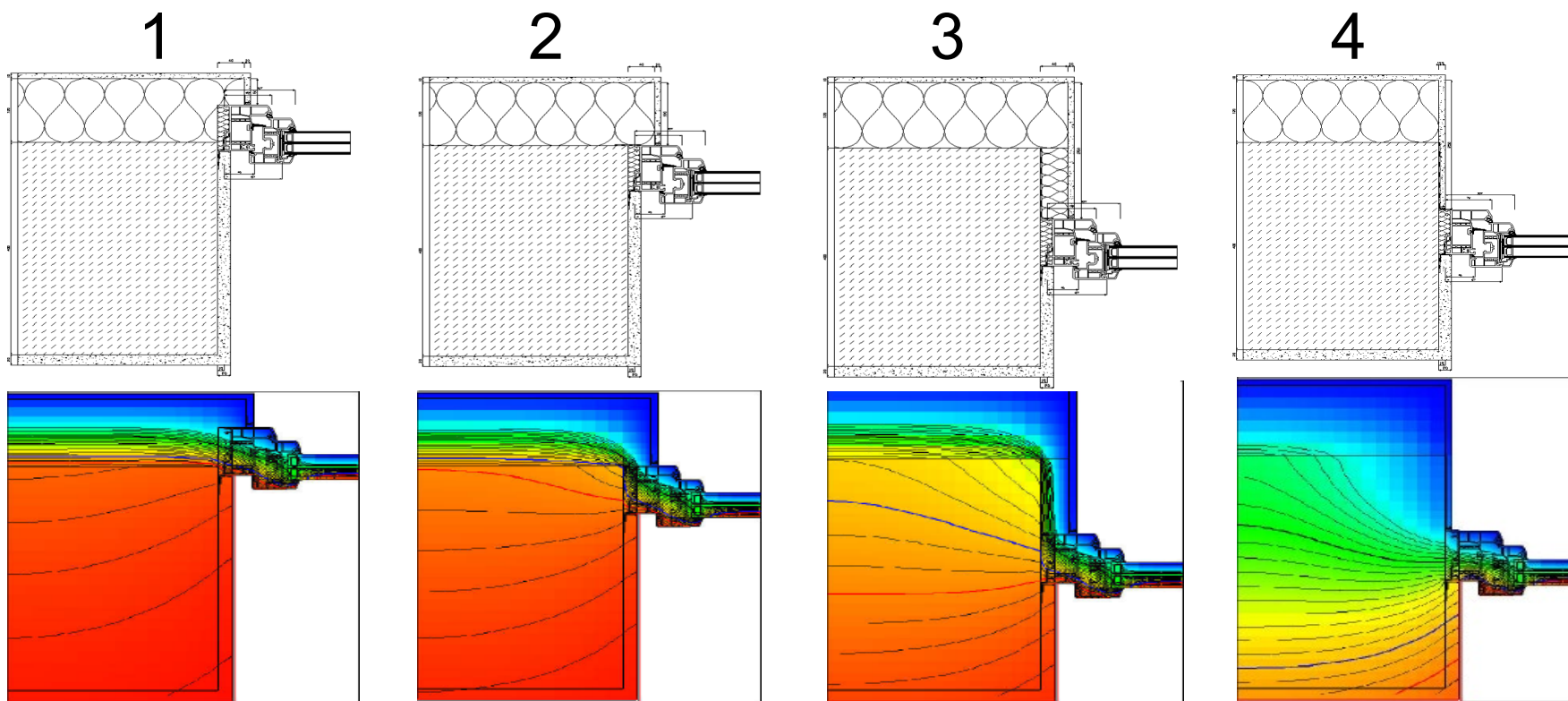


Теплопровідні включення

Температура поверхні повинна бути вищою за точку роси, для запобігання виникненню конденсату та грибка.

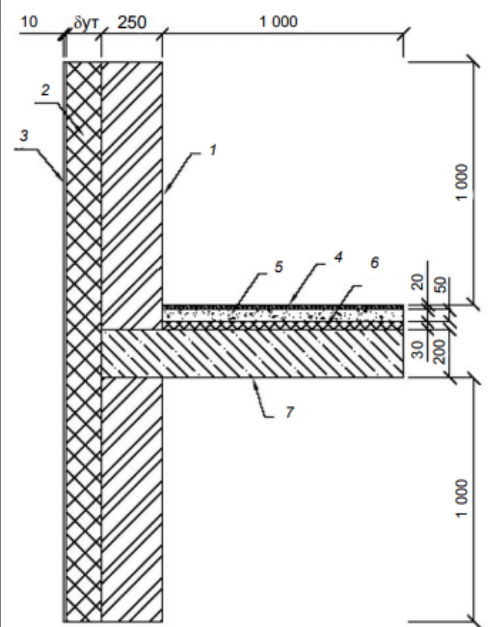


Теплопровідні включення віконних укосів



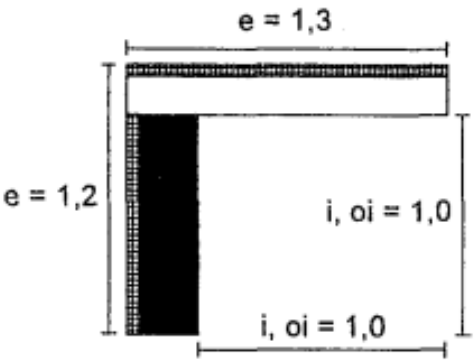
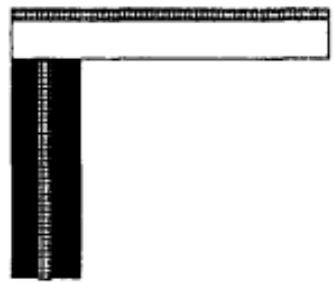
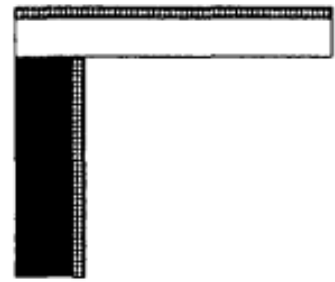
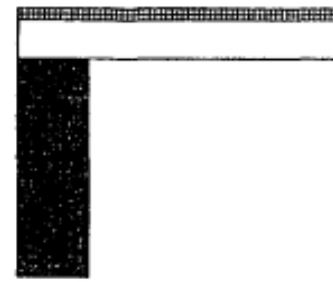
Типові теплопровідні включення

Таблиця Г 1
ДСТУ 9191:2022

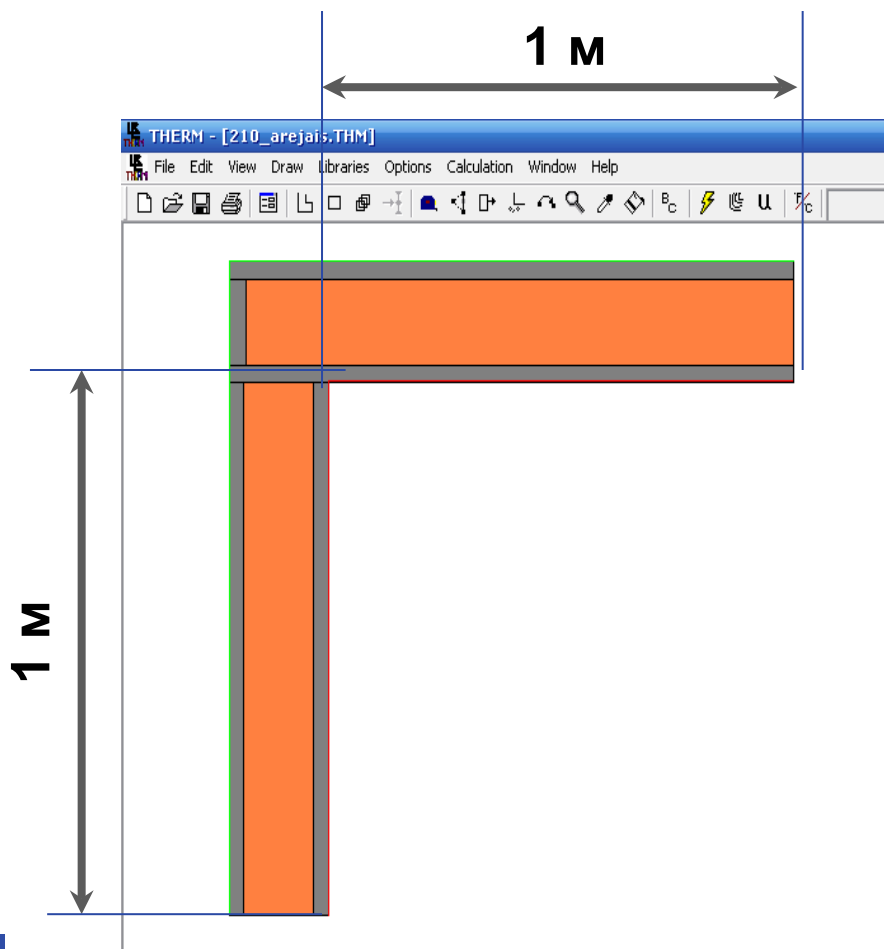
Ч.ч.	Тип теплопровідного включення, його характеристики	Лінійний коефіцієнт теплопередачі, Ψ_m , Вт/(м · К), залежно від параметрів теплоізоляційного шару			
		розрахункова теплопровідність, λ , Вт/(м · К)	товщина теплоізоляції, $d_{ут}$		
1	2	3	4	5	6
1	Вузол примикання зовнішніх стін з цегли з опорядженням штукатуркою до міжповерхового перекриття				
					
	Умовні позначки: 1 — цегляна кладка, $\rho = 1\,800\text{ кг/м}^3$; 2 — утеплювач мінераловатний; 3 — опоряджувальна штукатурка, $\rho = 1\,300\text{ кг/м}^3$; 4 — дерев'яне покриття підлоги, $\rho = 700\text{ кг/м}^3$; 5 — розчин цементно-піщаний, $\rho = 1\,800\text{ кг/м}^3$; 6 — мінераловатна плита, $\rho = 100\text{ кг/м}^3$; 7 — залізобетон, $\rho = 2\,500\text{ кг/м}^3$.				
		0,040	120 мм	150 мм	180 мм
		0,045	0,080	0,073	0,062
		0,045	0,087	0,082	0,069
		0,050	0,094	0,090	0,076

Типові теплопровідні включення

Таблиця 2 ДСТУ ISO 14683

Дахи			
 $R1$ $L^{2D} = 1,42$ $\Psi_e = 0,55$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,70$	 $R2$ $L^{2D} = 1,38$ $\Psi_e = 0,50$ $\Psi_{oi} = 0,65$ $\Psi_i = 0,65$	 $R3$ $L^{2D} = 1,28$ $\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,55$ $\Psi_i = 0,55$	 $R4$ $L^{2D} = 1,25$ $\Psi_e = 0,30$ $\Psi_{oi} = 0,50$ $\Psi_i = 0,50$

ДСТУ ISO 14683



Лінійний коефіцієнт теплопередачі:

$$\psi = L^{2D} - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2$$

$$L^{2D} = H = \frac{\Phi}{\sum U A + \sum \psi l} = \frac{\Phi}{(\theta_i - \theta_e)}$$

Φ – тепловий потік, що проходить крізь оболонку, Вт;

H – коефіцієнт трансмісійних тепловтрат, Вт/м·К;

" θ_i, θ_e " – температури внутрішнього та зовнішнього повітря відповідно, °С;

" L^{2D} " – лінійний коефіцієнт теплового зв'язку, отриманий із двовимірного розрахунку елемента, який розділяє два середовища, що розглядають, Вт/м·К;

U_i – коефіцієнт теплопередавання i -го одновимірного елемента, який розділяє два середовища, що розглядають, Вт/К;

l_i – довжина за двовимірною моделлю, для якої застосовують значення U_i , м.

Системи розрахунку температурних полів

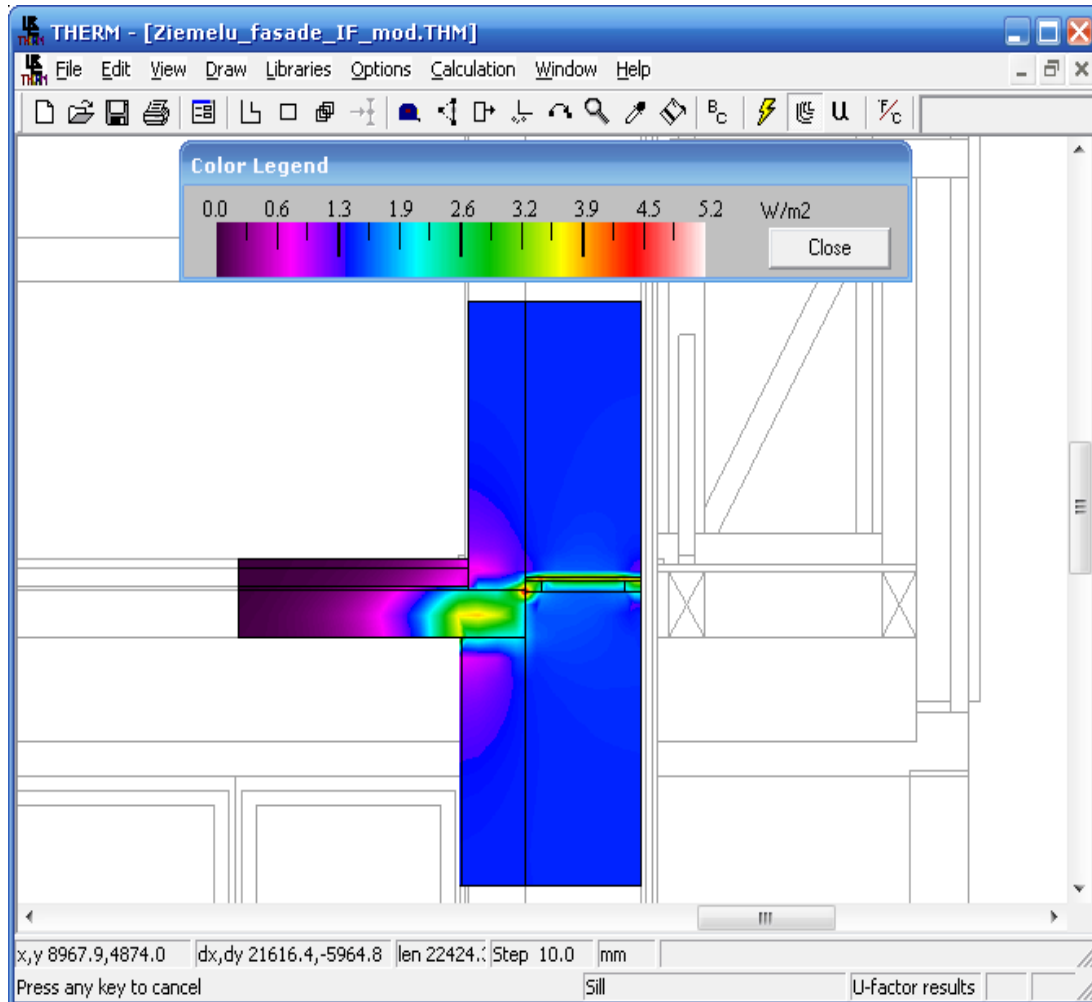
Близько 20 різних програм: **ANSYS, SolidWorks, Cosmos/DesignSTAR, THERM, BISCO, KOBRA** та ін.

THERM – сучасна комп'ютерна програма, розроблена в Лоуренс Берклі Лабораторії (LBNL) Каліфорнійського університету (США) для моделювання процесу теплопередачі. Функціонує під управлінням операційної системи Microsoft Windows. Базується на методі скінченних елементів. **Дозволяє моделювати двовимірну теплопередачу** в компонентах будівлі, таких як вікна, стіни, підлоги, дахи і двері. **Є безкоштовною.**

Аналіз теплопередачі з THERM дозволяє оцінити енергетичну ефективність та локальні температури зразка, що дозволяє вирішувати питання, пов'язані з конденсацією, вологістю матеріалу та герметичністю.

THERM – це самостійний модуль програми **WINDOW**. Результати розрахунку за програмою THERM можуть використовуватися з оптичними і теплотехнічними характеристиками центральної частини скління, що розраховується за програмою WINDOW, щоб визначити загальний коефіцієнт теплопередачі вікна (*U-фактор*) і коефіцієнт пропускання сонячної радіації (*g-фактор*).

Системи розрахунку температурних полів



THERM – визнана на міжнародному рівні, використовується науковими установами, організаціями (наприклад, SINTEFF, PHI, AECB)

Легко навчитися, легко використовувати

<https://windows.lbl.gov/therm-software-downloads>

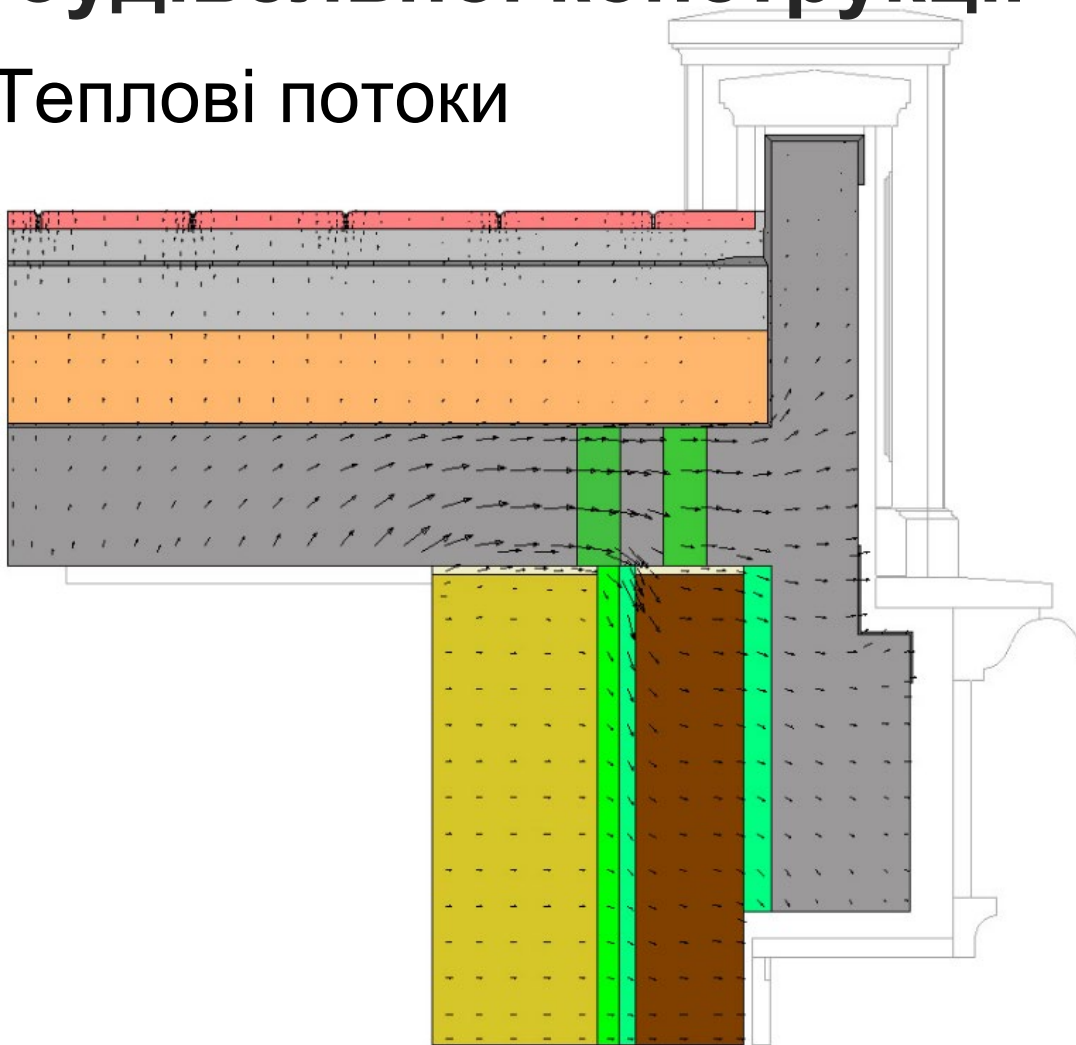
Моделювання температурного поля у вузлі будівельної конструкції

Термограма

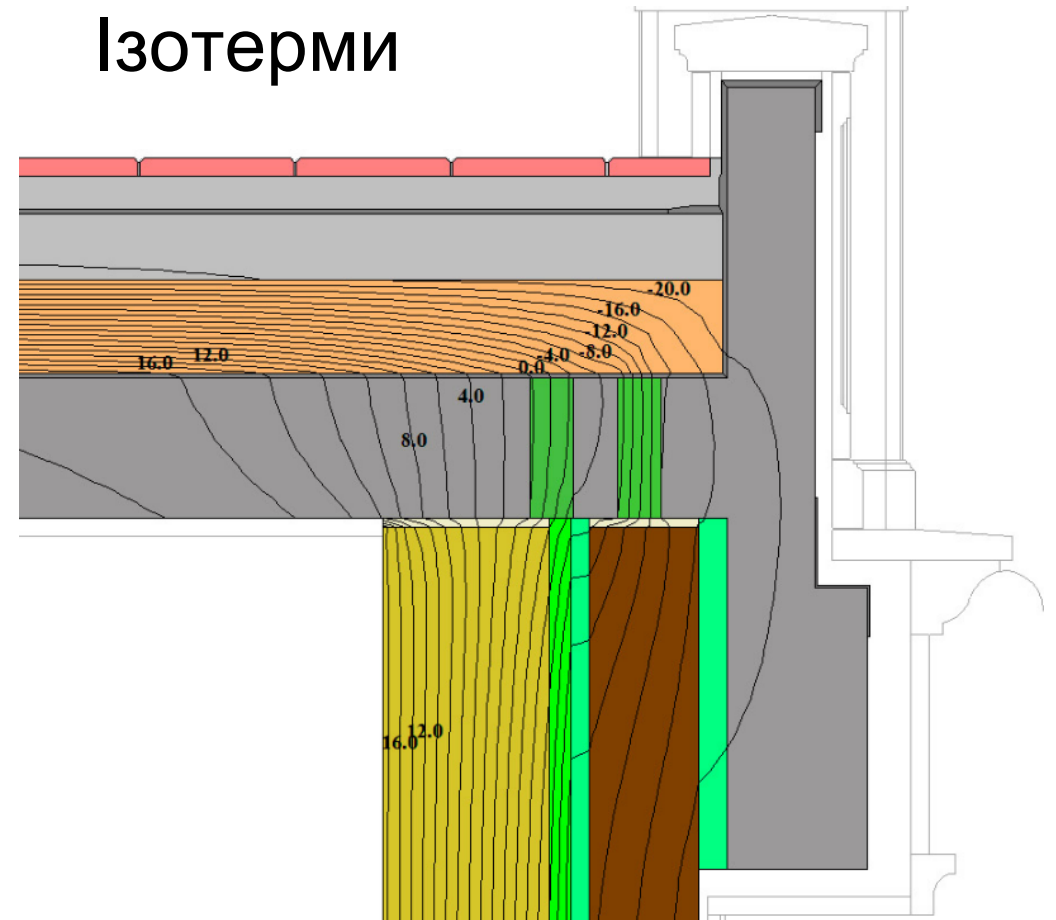


Моделювання температурного поля у вузлі будівельної конструкції

Теплові потоки



Ізотерми



Алгоритм розрахунку температурного поля за програмою THERM

1. У САПР, наприклад AutoCAD, будується переріз вузла конструкції з теплопровідним включенням.

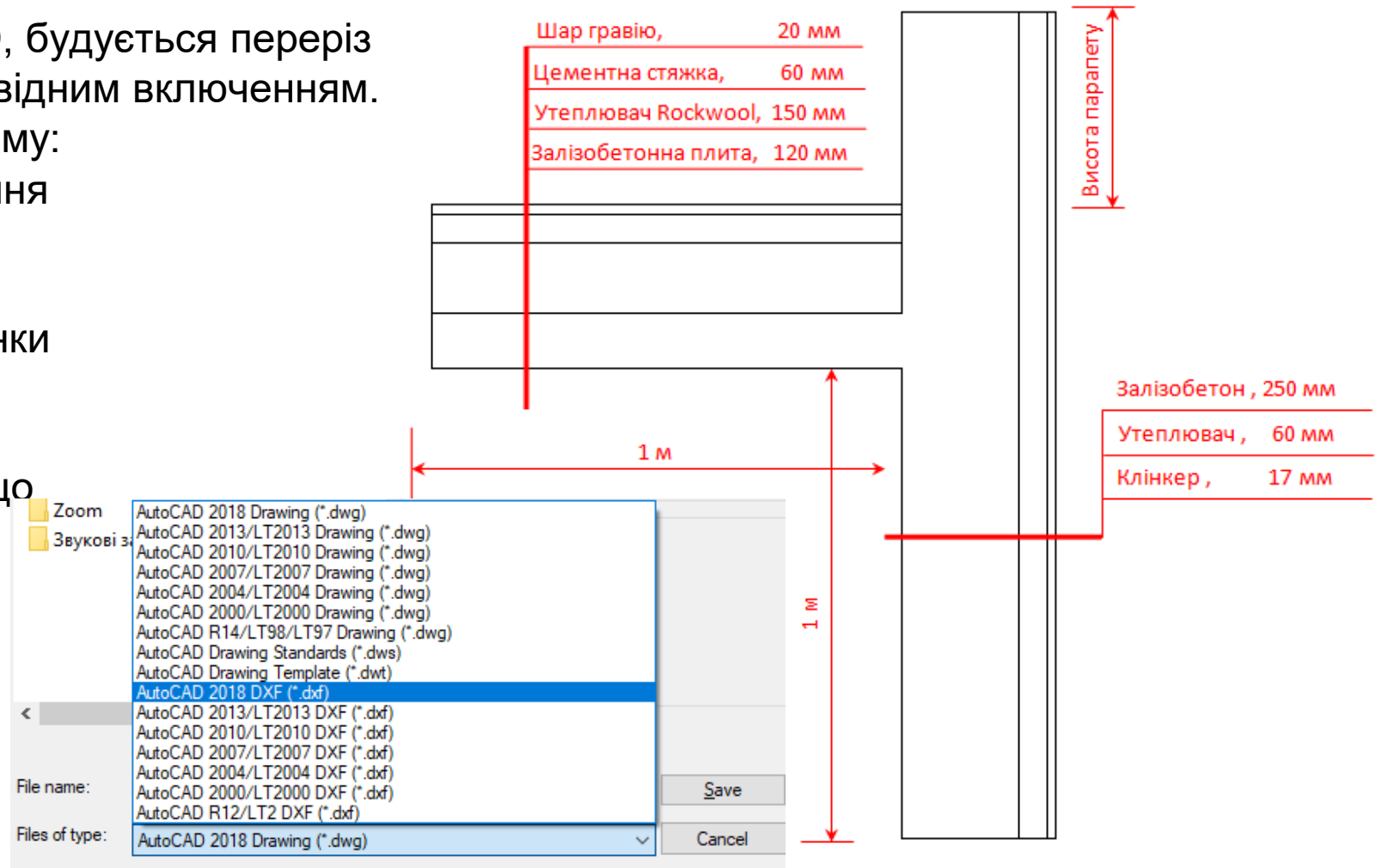
Усі розміри – в мм! При цьому:

1.1. Від теплопровідного включення по всім напрямкам розташування конструкцій, що до нього примикають, відкладаються ділянки довжиною по **1 м**. Розміри не проставляються.

1.2. Кожен елемент конструкції, що складається з одного матеріалу, повинен мати замкнений контур (оптимально через команду **BOUNDARY**).

1.3. Креслення зберігається як файл ***dxf**.

1.4. AutoCAD закривається.

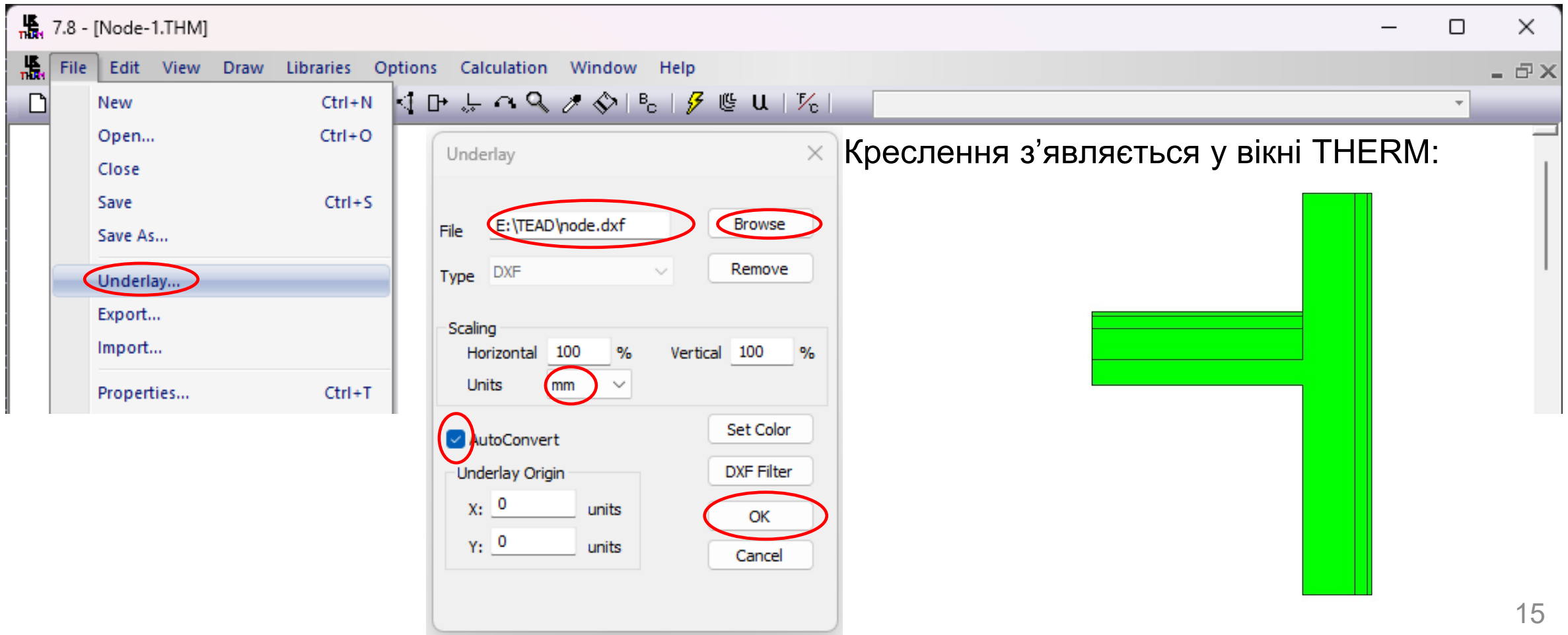


Вузол примикання плити перекриття до стіни сходової клітки

Алгоритм розрахунку температурного поля за програмою THERM

2. Відкривається THERM.

3. File → Underlay → Browse → відкрити файл креслення (node.dxf) → AutoConvert → OK.

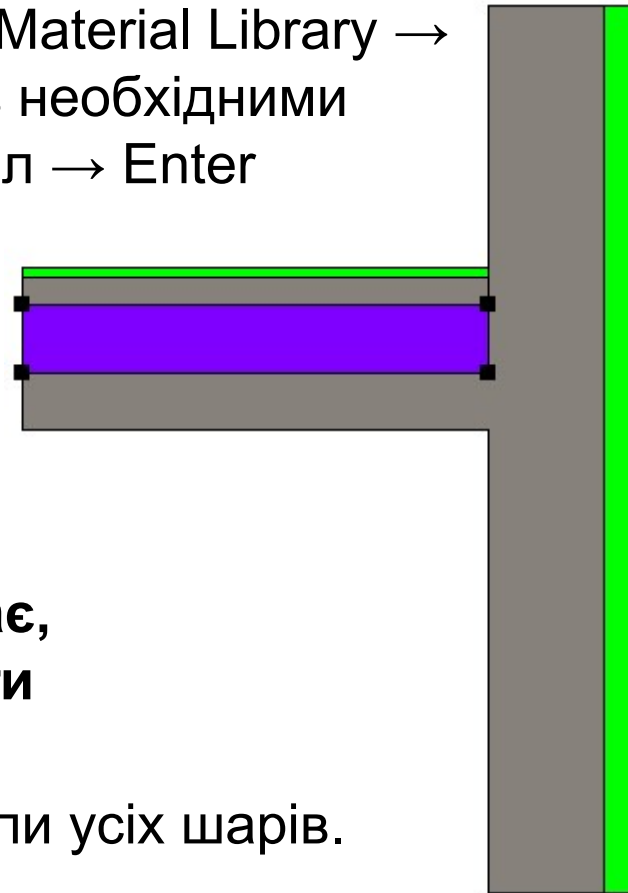
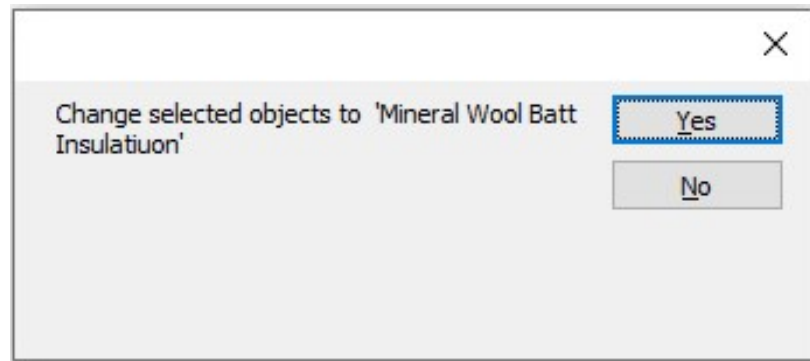


Алгоритм розрахунку температурного поля за програмою THERM

4. Задаються матеріали кожного шару.

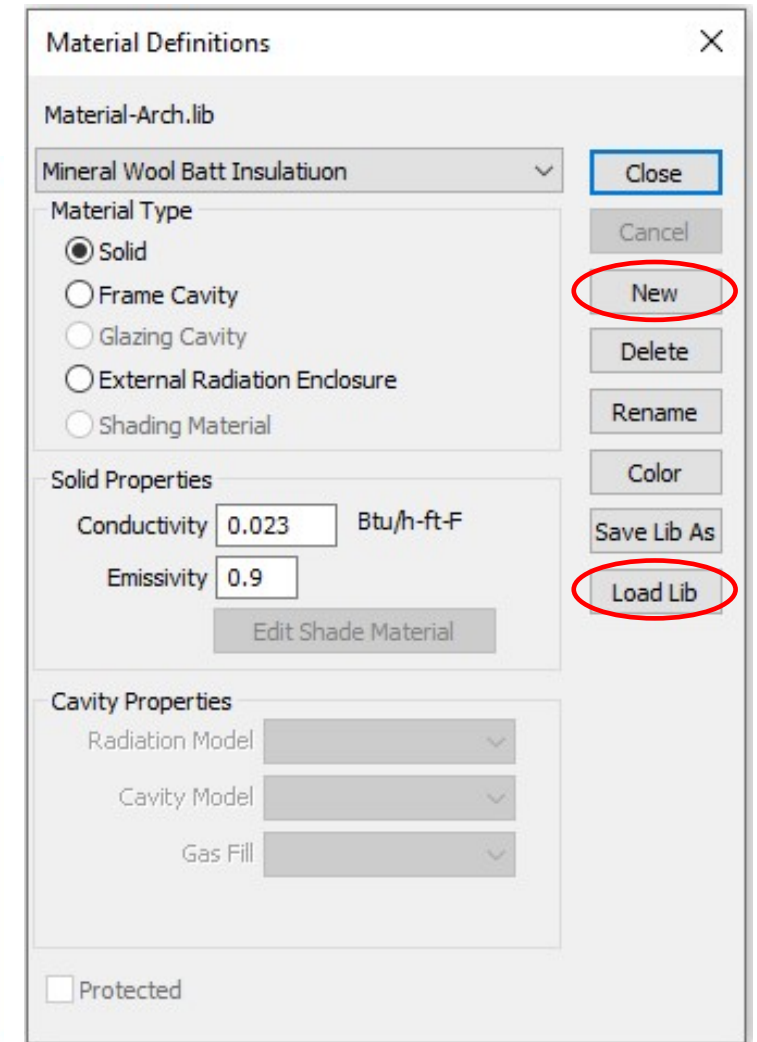
4.1. Клік по шару

4.2. На панелі THERM: Libraries → Material Library → Load Lib → обирається бібліотека з необхідними матеріалами → обирається матеріал → Enter



Якщо потрібного матеріалу немає, то його можна створити та задати його характеристики через NEW!

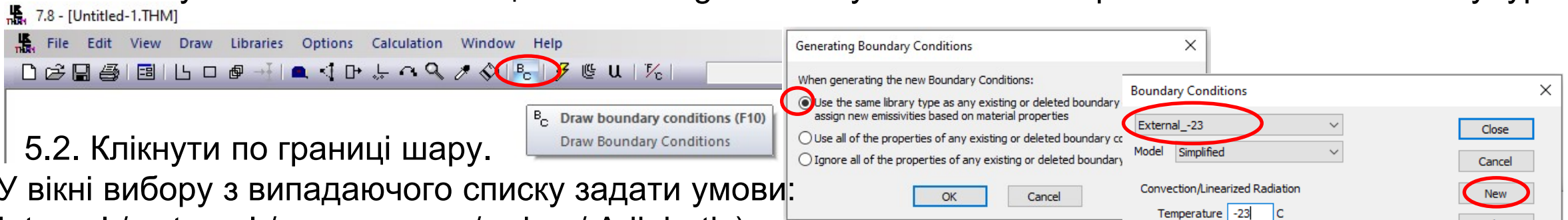
4.3. Аналогічно задаються матеріали усіх шарів.



Алгоритм розрахунку температурного поля за програмою THERM

5. Задаємо граничні умови – температури повітря та коефіцієнти тепловіддачі. Для чого:

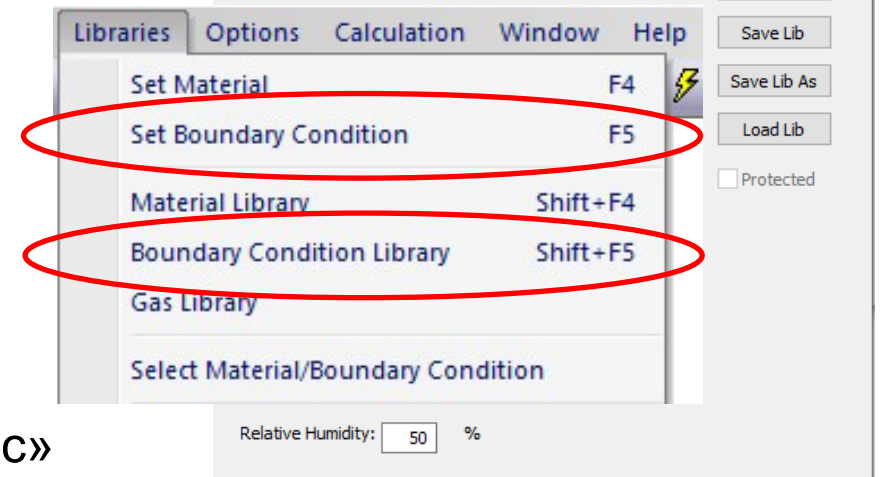
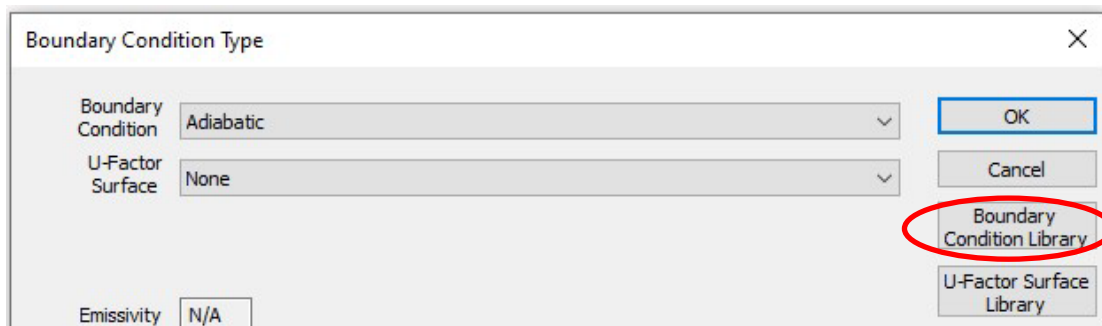
5.1. Клікнути по “BC”. У таблиці “Generating Boundary Conditions” обрати Use the same library type.



5.2. Клікнути по границі шару.

У вікні вибору з випадаючого списку задати умови: Internal / external / перекриття / стіни / Adiabatic).

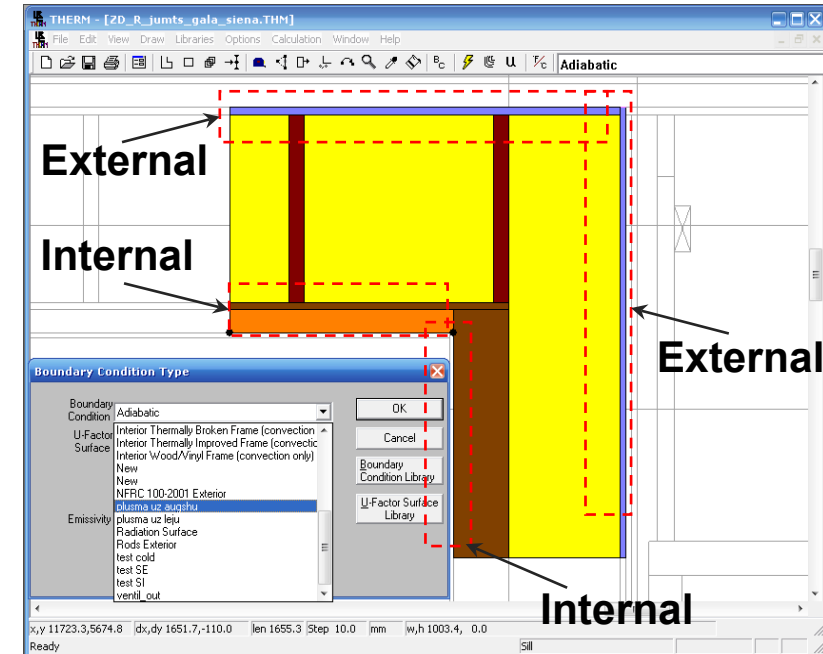
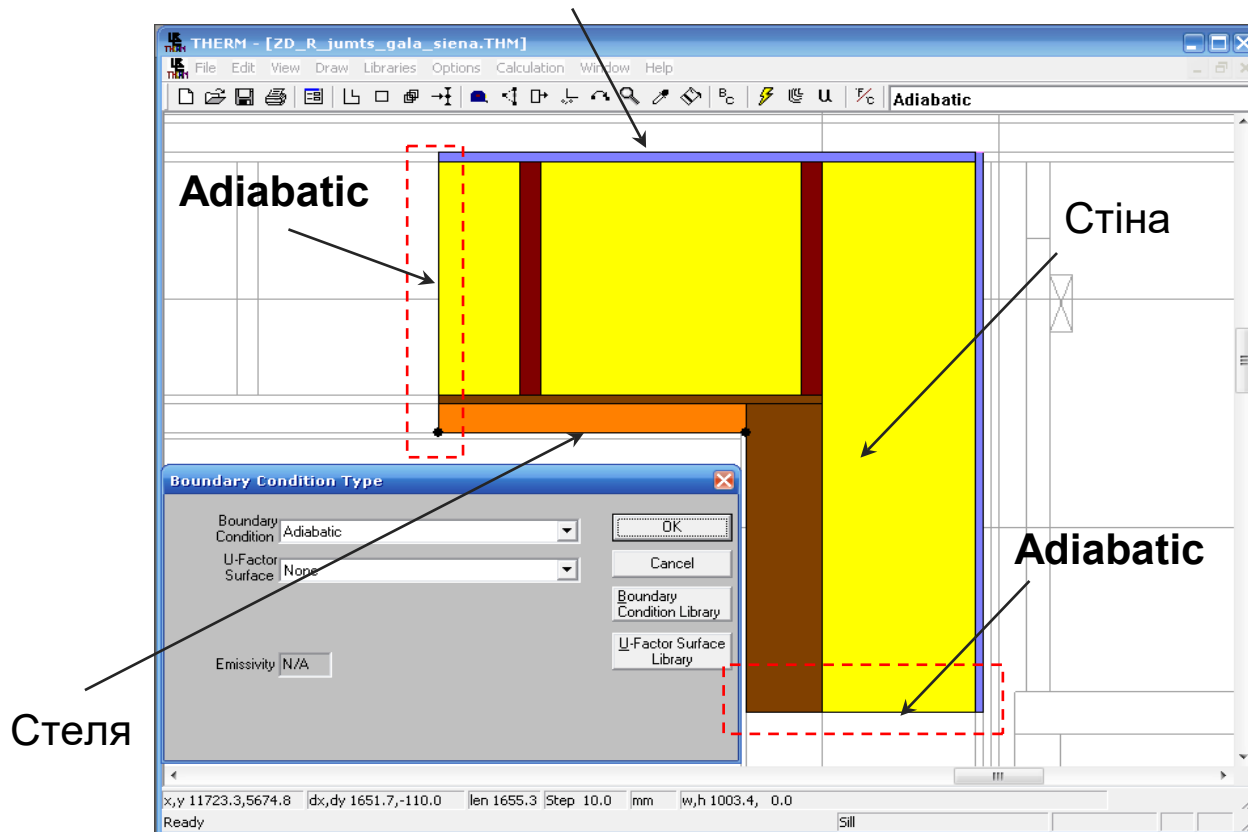
Якщо потрібних умов немає, то їх необхідно задати через NEW!



5.3. Так зробити на всіх границях шарів. При цьому там, де матеріал продовжується, треба поставити умови «Adiabatic»

Визначення граничних умов у двовимірній моделі

Атмосферне повітря



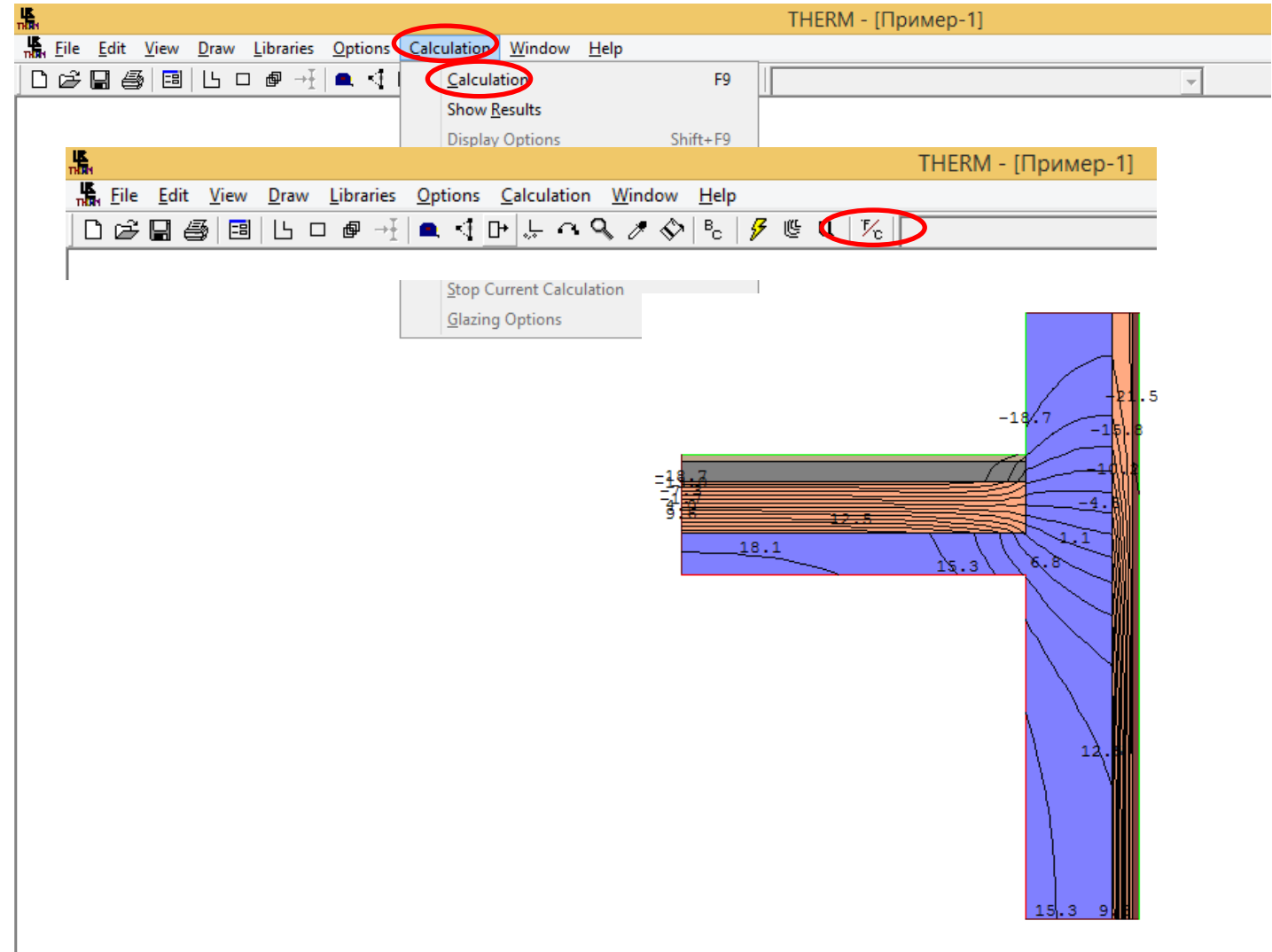
Важливо:

- *адіабатичні умови* – там, де елемент будівлі продовжується
- *адіабатична межа* – там, де тепло не проходить

Алгоритм розрахунку температурного поля за програмою THERM

5.4. Будуємо температурне поле.

Натискаємо “Calculation” і знову “Calculation”.
За допомогою кнопки “F/C” переключаємо на шкалу Цельсія.

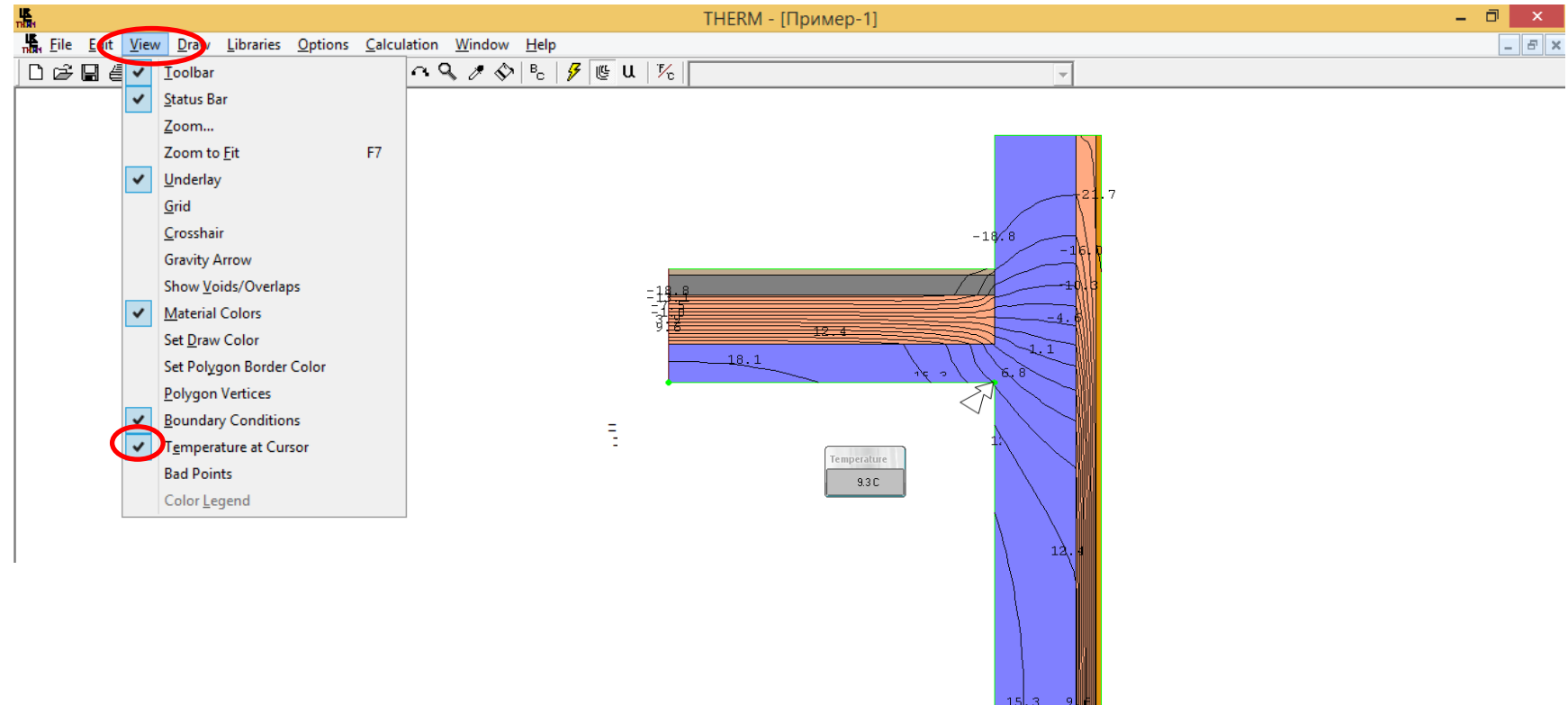


Алгоритм розрахунку температурного поля за програмою THERM

Визначення мінімальної температури внутрішньої поверхні

1. На панелі клікнути по “View” та поставити «галочку» напроти “Temperature at Cursor”.
2. З’явиться вікно “Temperature”.
3. Підвести курсор у точку поверхні, де необхідно визначити температуру.

У вікні відобразиться значення температури.



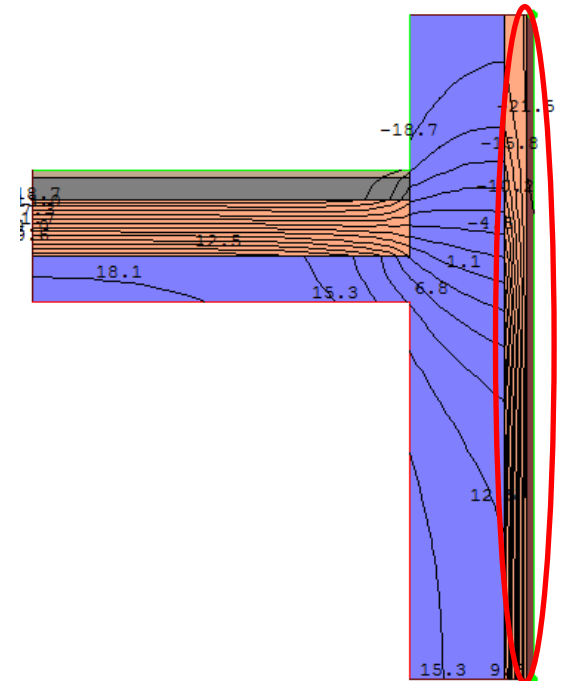
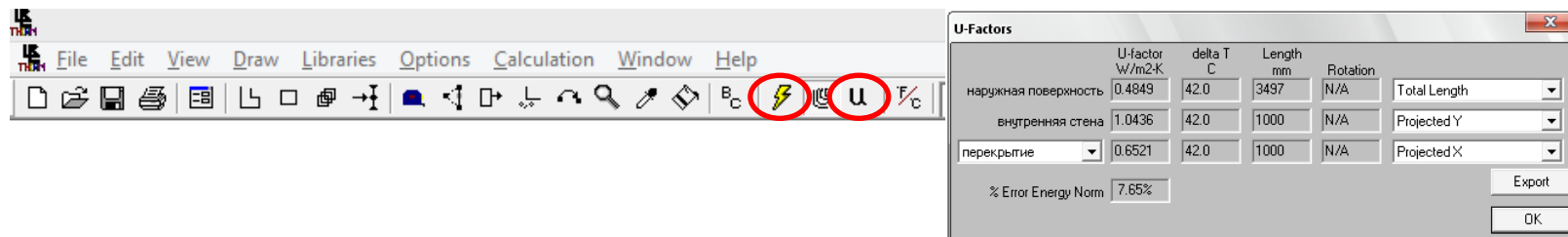
Алгоритм розрахунку температурного поля за програмою THERM

Розрахунок опору теплопередачі у конструкціях,
що примикають до теплопровідного включення:

Опір теплопередачі R - величина, зворотна до U -factor: $R = 1/U$.

Коефіцієнт теплопередачі U визначається наступним чином:

- Після натискання на «BC» задаються назви поверхонь, температури та коефіцієнти тепловіддачі:
 - Клік послідовно по всім ділянкам поверхонь, що контактують із зовнішнім повітрям, і для кожної ділянки у вікні "U-Factor Surface" обирається «External».
 - Клік по внутрішній поверхні перекриття.
Обирається відповідна назва «Internal ceiling».
 - Клік по внутрішній поверхні стіни.
Обирається назва «Internal wall».
- Нажати на кнопку з «блискавкою». Знову отримаємо температурне поле.
- Нажати на кнопку з "U". Отримаємо наступну таблицю:



Алгоритм розрахунку температурного поля за програмою THERM

Розрахунок опору теплопередачі у конструкціях, що примикають до теплопровідного включення

3. Натиснути на кнопку з “U”. Отримаємо таблицю:

U-Factors					
	U-factor W/m ² ·K	delta T C	Length mm	Rotation	
наружная поверхность	0.4849	42.0	3497	N/A	Total Length
внутренняя стена	1.0436	42.0	1000	N/A	Projected Y
перекрытие	0.6521	42.0	1000	N/A	Projected X
% Error Energy Norm		7.65%			
					Export
					OK

4. Проаналізуємо її.

4.1. Загальна кількість теплоти, що пройде крізь вузол складе: $0,4849 \cdot 3,497 \cdot 42 = 71,219$ Вт.

4.2. Через внутрішню стіну пройде: $1,0436 \cdot 1 \cdot 42 = 43,831$ Вт.

4.3. Через перекриття пройде: $0,6521 \cdot 1 \cdot 42 = 27,388$ Вт.

4.4. Таким чином: $43,831 + 27,388 = 71,219$ Вт

4.9. Приведені опори теплопередачі крайових ділянок будуть: $R'_{ст} = 1/1,0436 = 0,958$ м²·К/Вт,
 $R'_{пер} = 1/0,6521 = 1,53$ м²·К/Вт.

5. Лінійний коефіцієнт теплопередачі.

5.1. Опір теплопередачі однорідних ділянок $R_{ст} = 1,39$ м²·К/Вт, $R_{пок} = 3,28$ м²·К/Вт; $\rightarrow U_{ст} = 0,718$ Вт/(м²·К),
 $U_{пок} = 0,305$ Вт/(м²·К).

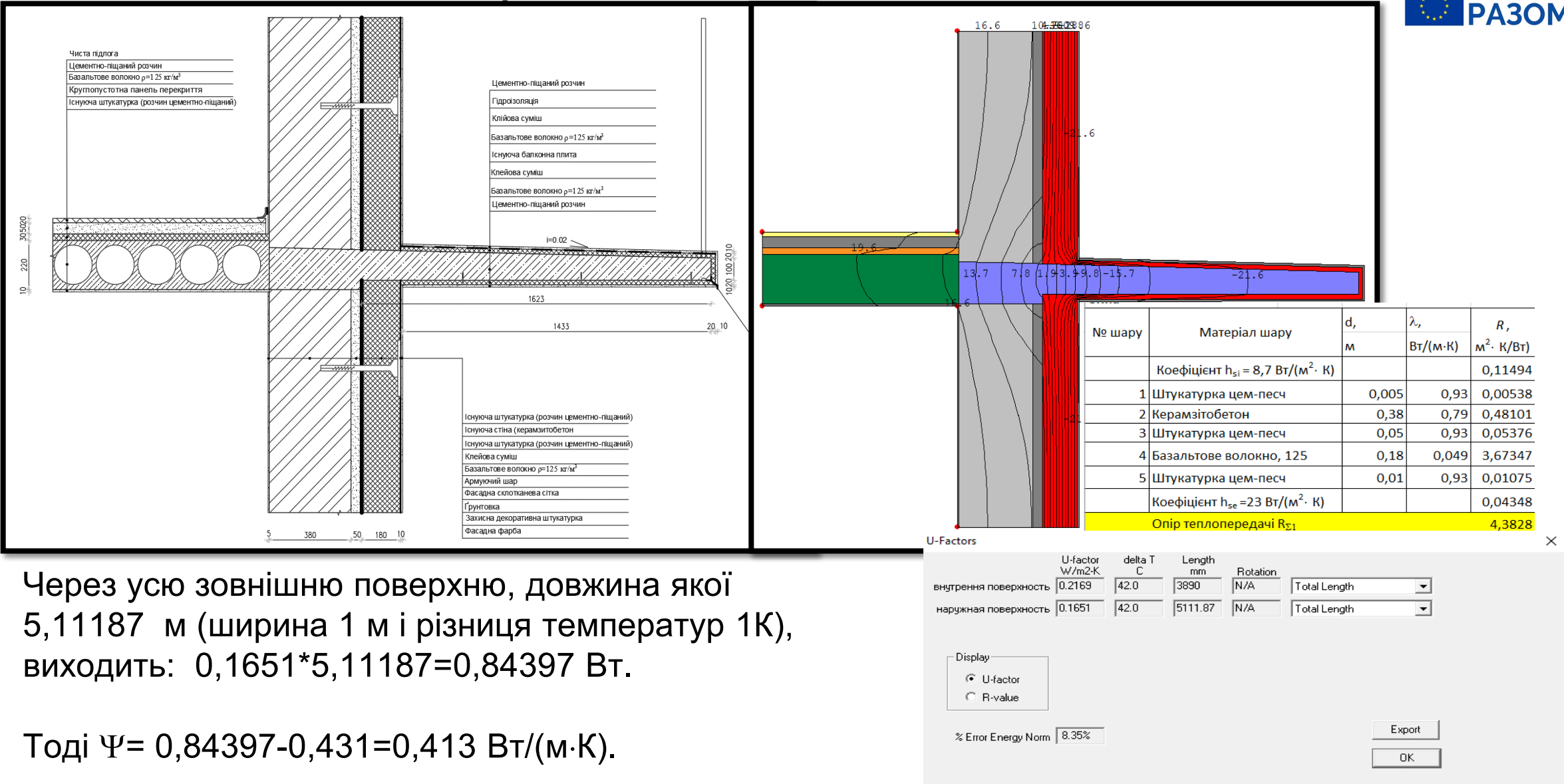
5.2. Усього ввійшло через однорідні ділянки: $U_{ст} \cdot 1 + U_{пок} \cdot 1 = 1,023$ Вт/К.

Вийшло: $0,4849 \cdot 3,497 = 1,696$ Вт/К.

5.3. Отже, лінійний коефіцієнт теплопередачі: $\Psi = 1,696 - 1,023 = 0,67$ Вт/(м·К).

Приклад 1

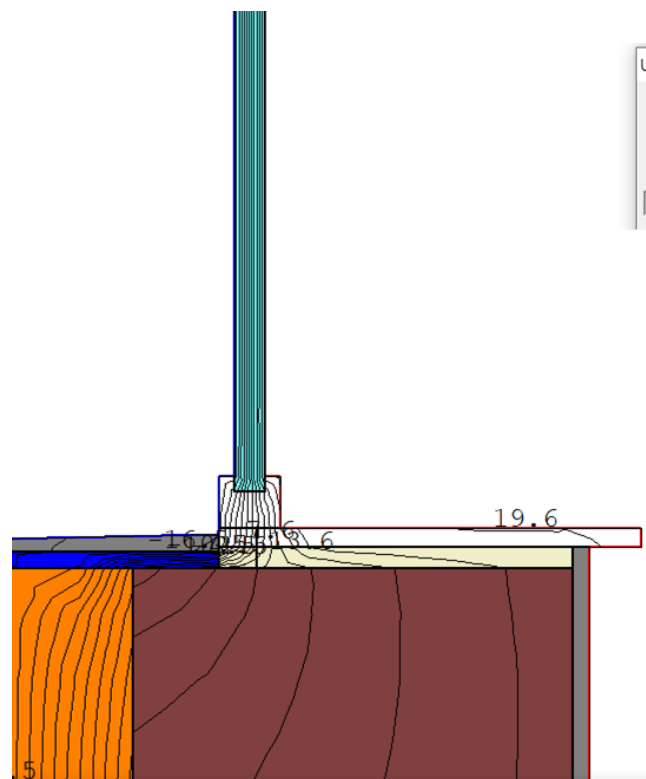
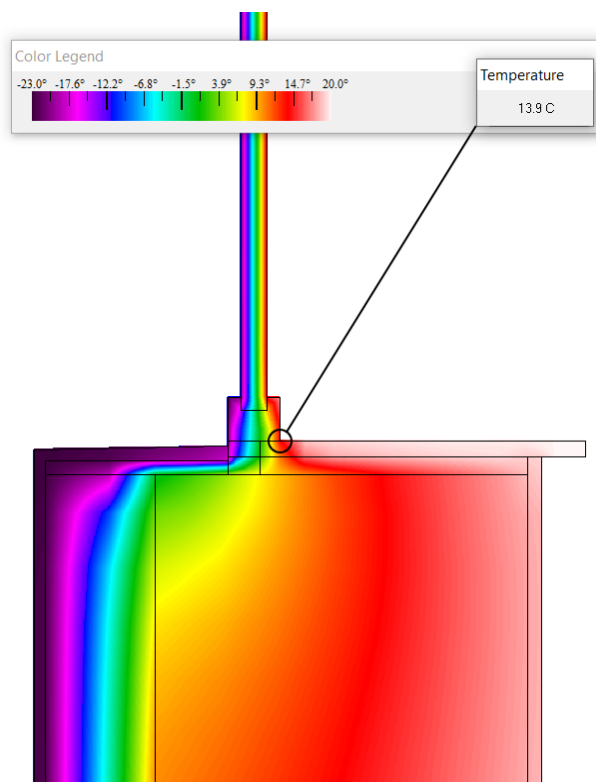
Вузол примикання балконної плити та міжповерхового перекриття до зовнішньої



Через усю зовнішню поверхню, довжина якої 5,11187 м (ширина 1 м і різниця температур 1К), виходить: $0,1651 \cdot 5,11187 = 0,84397 \text{ Вт}$.

Тоді $\Psi = 0,84397 - 0,431 = 0,413 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Приклад 2



	U-factor W/m ² ·K	delta T C	Length mm	Rotation	
Frame	0.7895	43.0	2047	N/A	Projected Y
Edge	1.2557	43.0	1022	N/A	Projected Y
Wall	0.3247	43.0	1025	N/A	Projected Y

$$U_{wall} = 0,243, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,wall} = 1,025 \text{ м};$$

$$U_{edge} = 1,224, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,edge} = 1,022 \text{ м};$$

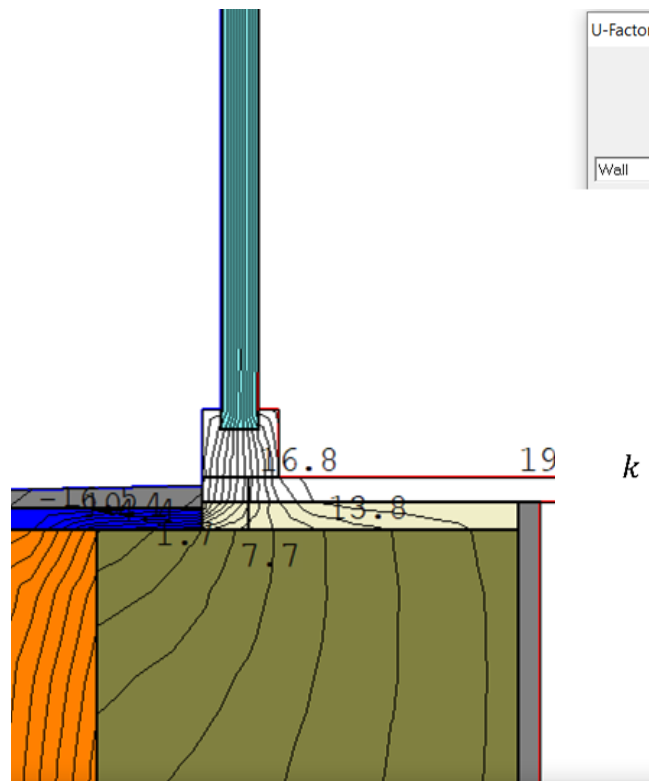
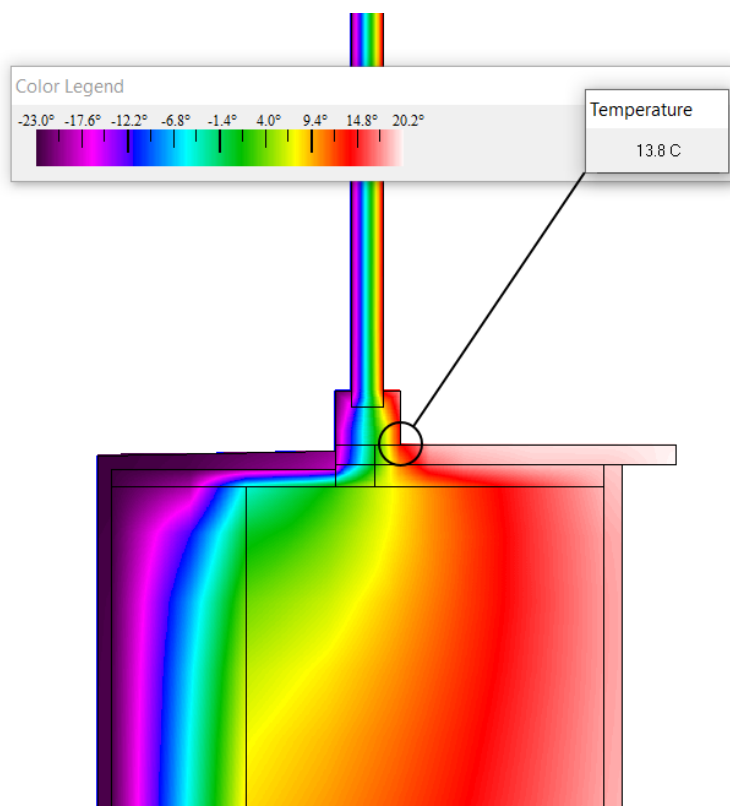
$$q = 0,7895, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$L = 2,047, \text{м};$$

$$k = q \cdot L - (U_{wall} \cdot h_{0,wall} + U_{edge} \cdot h_{0,edge}) = 0,116, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Теплопровідне включення примикання зовнішніх стін з силікатної цегли (500мм) та з мінераловатним утепленням (150 мм) до віконного укусу в зоні підвіконня

Приклад 3



U-Factors					
	U-factor W/m ² ·K	delta T C	Length mm	Rotation	
Frame	0.7728	43.0	2047	N/A	Projected Y
Edge	1.2485	43.0	1022	N/A	Projected Y
Wall	0.2984	43.0	1025	N/A	Projected Y

$$U_{wall} = 0,232, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,wall} = 1,025 \text{ м};$$

$$U_{edge} = 1,224, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,edge} = 1,022 \text{ м};$$

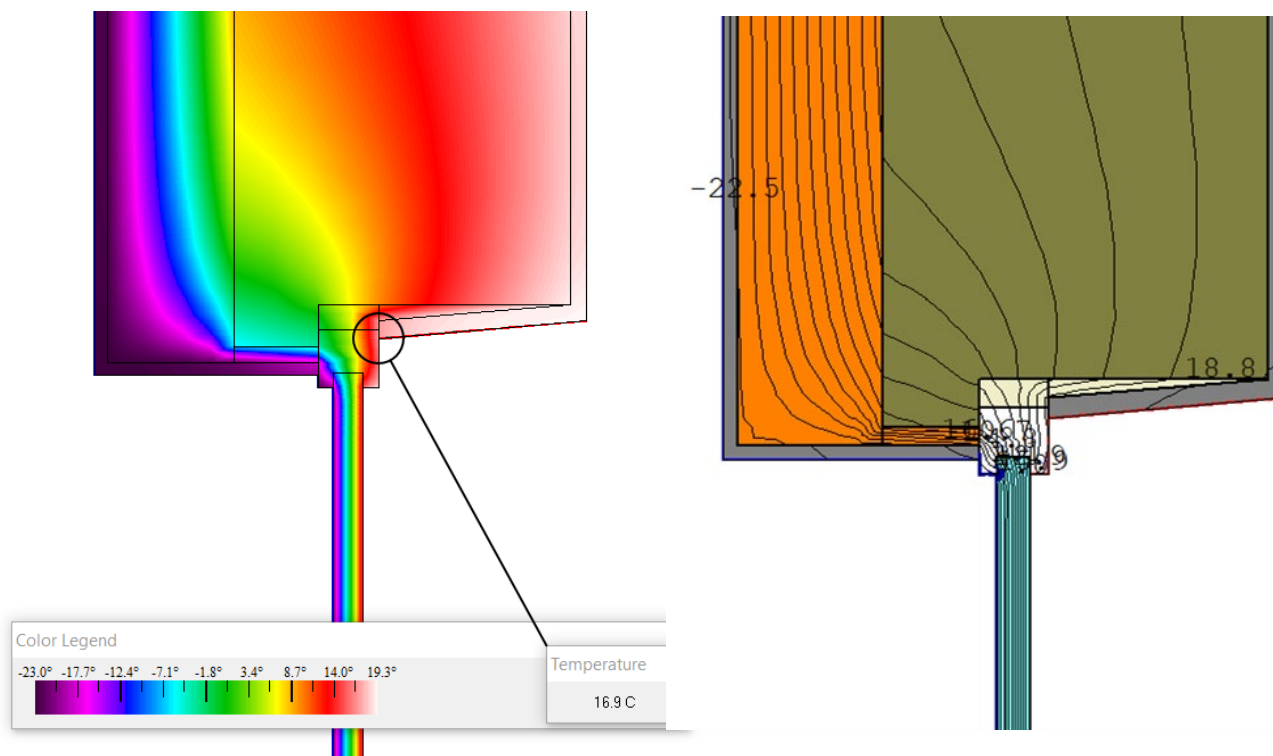
$$q = 0,7728, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$L = 2,047, \text{ м};$$

$$k = q \cdot L - (U_{wall} \cdot h_{0,wall} + U_{edge} \cdot h_{0,edge}) = 0,093, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Теплопровідне включення примикання зовнішніх керамзитобетонних стін (300мм) та з мінераловатним утепленням (150 мм) до віконного укосу в зоні підвіконня

Приклад 4



	U-factor W/m ² ·K	delta.T C	Length mm	Rotation	
Frame	0.7640	43.0	2030	N/A	Projected Y
Edge	1.2493	43.0	1010	N/A	Projected Y
	0.2836	43.0	1020	N/A	Projected Y

$$U_{wall} = 0,232, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,wall} = 1,02 \text{ м};$$

$$U_{edge} = 1,224, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,edge} = 1,01 \text{ м};$$

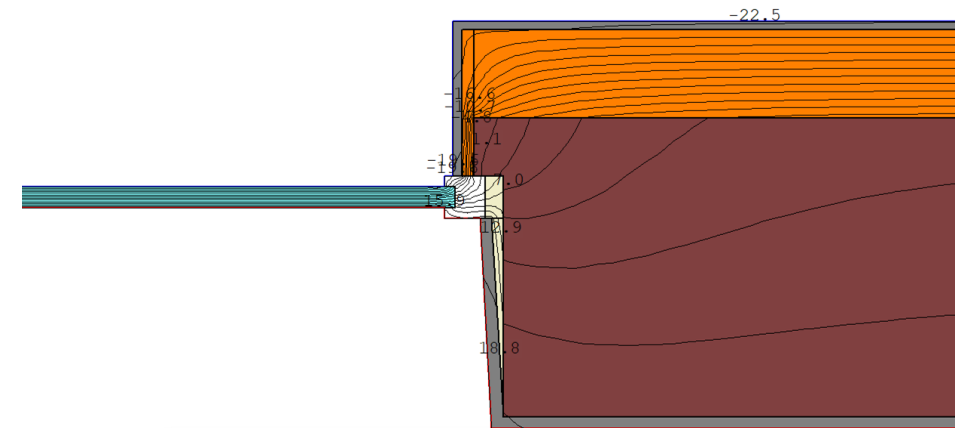
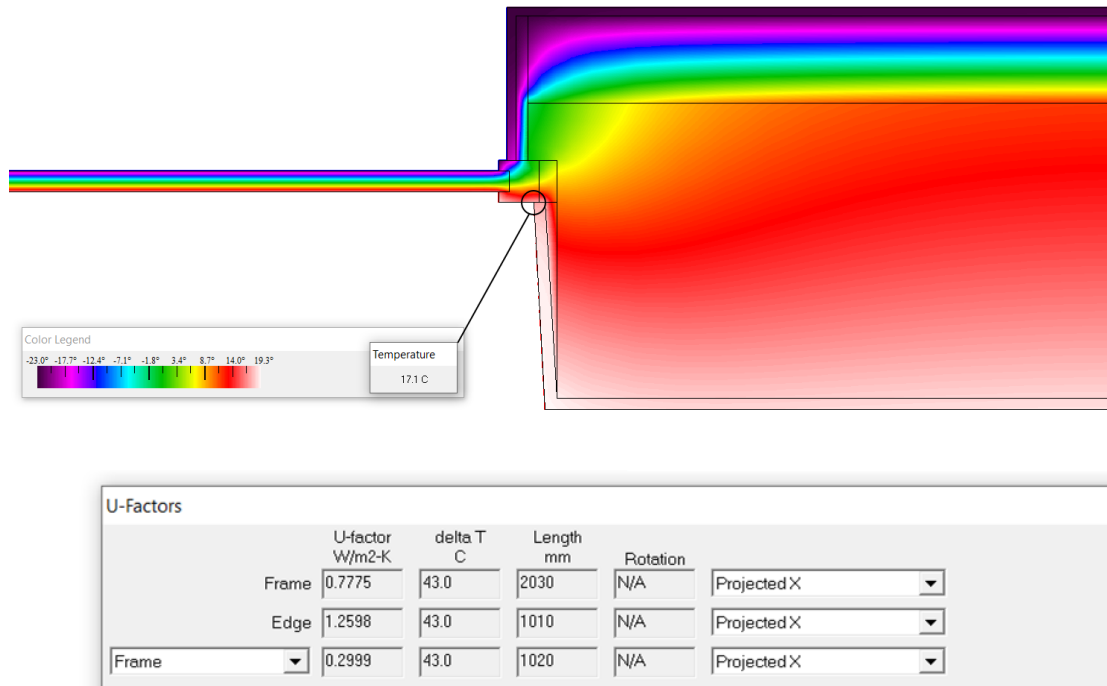
$$q = 0,7640, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$L = 2,03, \text{ м};$$

$$= q \cdot L - (U_{wall} \cdot h_{0,wall} + U_{edge} \cdot h_{0,edge}) = 0,078, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Теплопровідне включення примикання зовнішніх керамзитобетонних стін (300мм) та з мінераловатним утепленням (150 мм) до віконного укусу в зоні перемички

Приклад 5



$$U_{wall} = 0,243, \text{BT}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$h_{0,wall} = 1,02 \text{ м};$$

$$U_{edge} = 1,224, \text{BT}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$h_{0,edge} = 1,01 \text{ м};$$

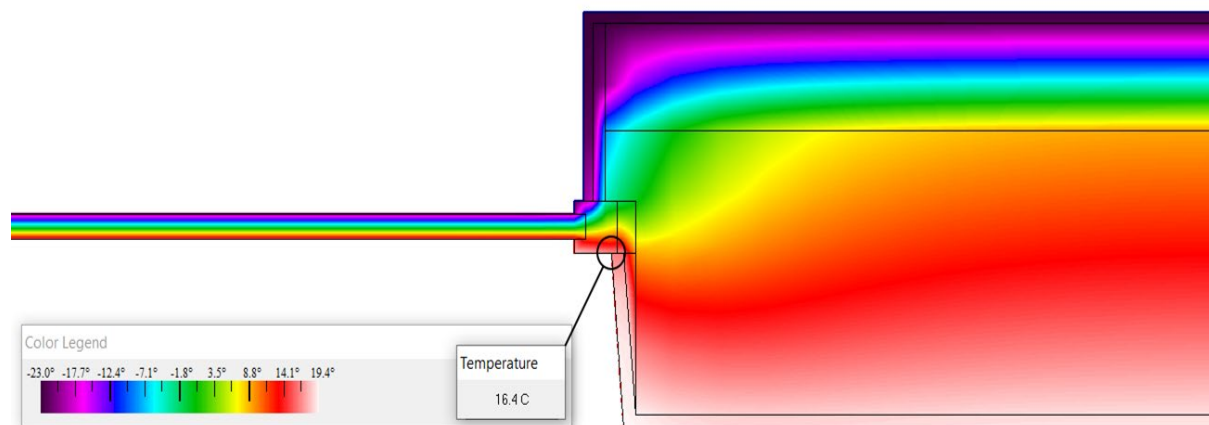
$$q = 0,7775, \text{BT}/(\text{m}^2 \cdot \text{K});$$

$$L = 2,03, \text{м};$$

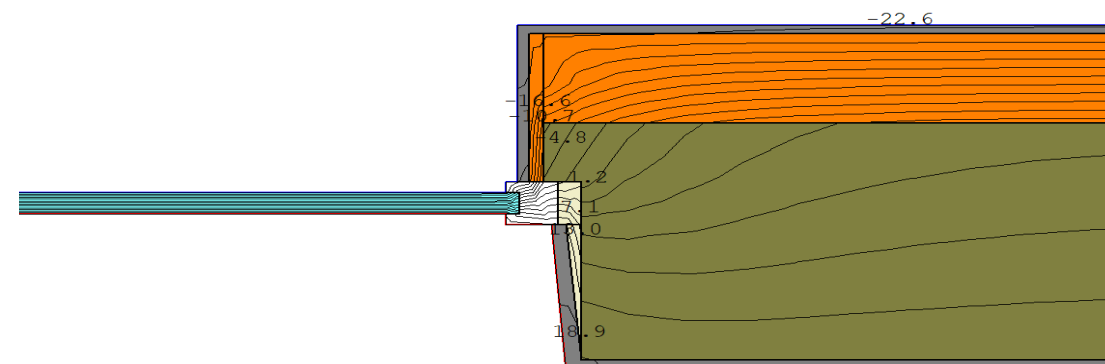
$$k = q \cdot L - (U_{wall} \cdot h_{0,wall} + U_{edge} \cdot h_{0,edge}) = 0,094, \text{BT}/(\text{m} \cdot \text{K}).$$

Теплопровідне включення примикання зовнішніх стін з силікатної цегли (500мм) та з мінераловатним утепленням (150 мм) до віконного укосу в зоні рядового примикання

Приклад 6



U-Factors					
	U-factor W/m ² ·K	delta T C	Length mm	Rotation	
Frame	0.7638	43.0	2030	N/A	Projected X
Edge	1.2477	43.0	1010	N/A	Projected X
Wall	0.2846	43.0	1020	N/A	Projected X



$$U_{wall} = 0,232, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,wall} = 1,02 \text{ м};$$

$$U_{edge} = 1,224, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,edge} = 1,01 \text{ м};$$

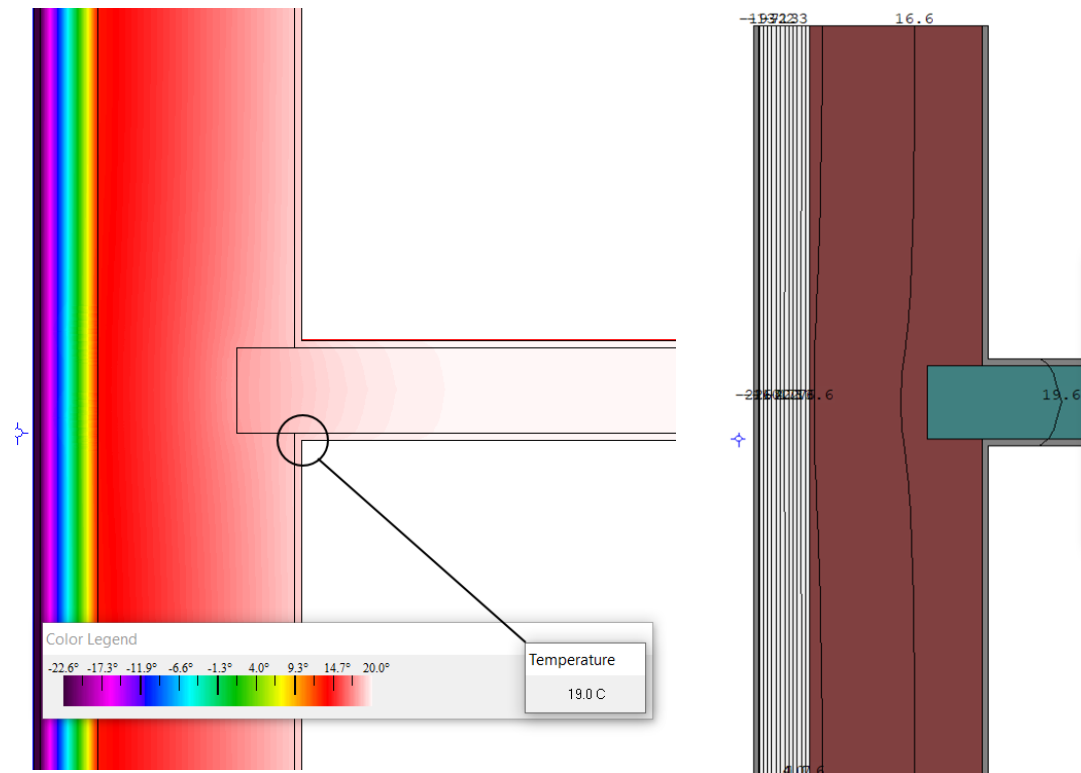
$$q = 0,7638, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$L = 2,03, \text{ м};$$

$$k = q \cdot L - (U_{wall} \cdot h_{0,wall} + U_{edge} \cdot h_{0,edge}) = 0,078, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Теплопровідне включення примикання зовнішніх керамзитобетонних стін (300мм) та з мінераловатним утепленням (150 мм) до віконного укусу в зоні рядового примикання

Приклад 7

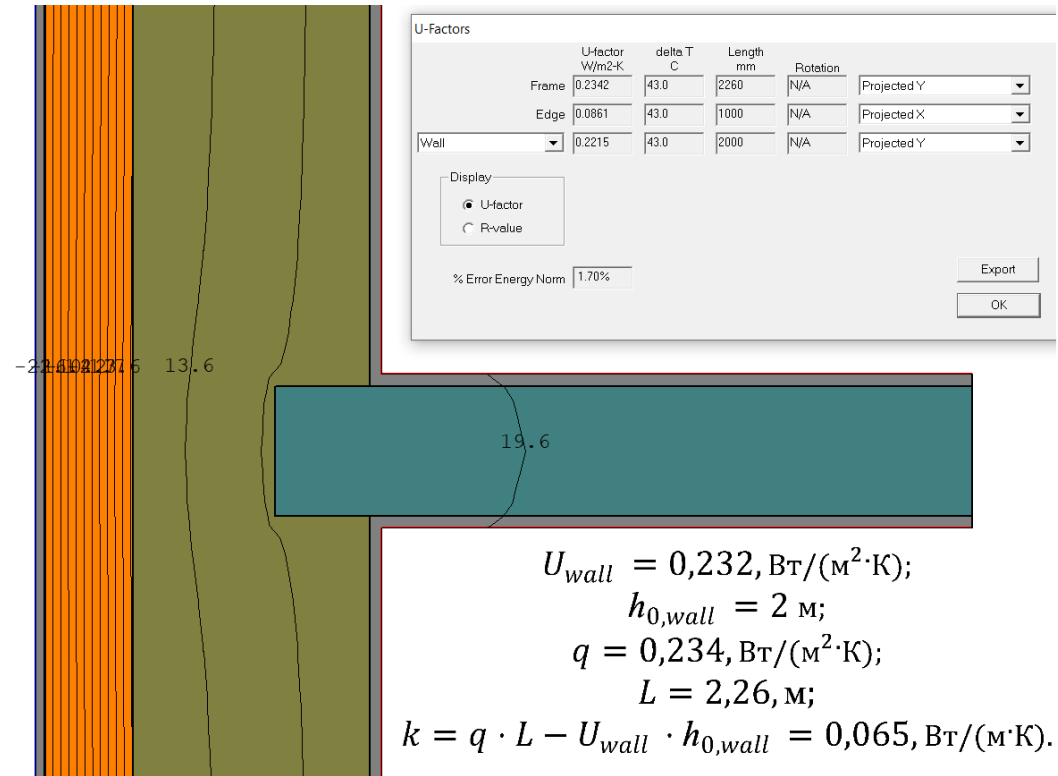
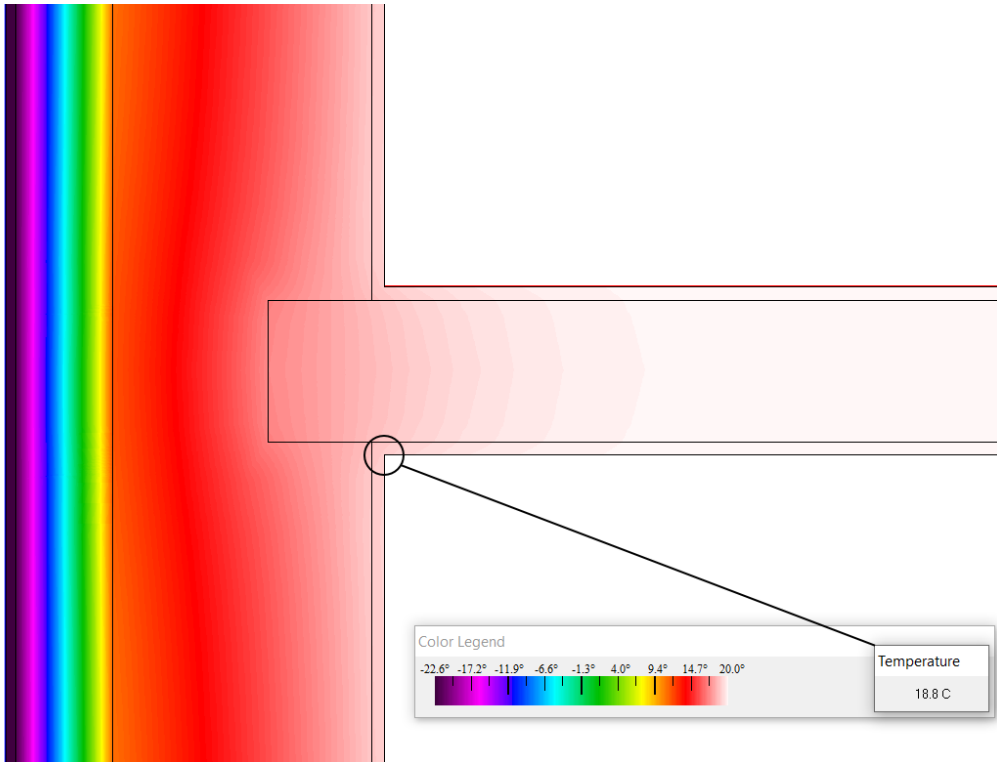


U-Factors						
	U-factor W/m ² ·K	delta T C	Length mm	Rotation		
Frame	0.2216	43.0	2260	N/A	Total Length	
Edge	0.0746	43.0	1000	N/A	Projected X	
Wall	0.2131	43.0	2000	N/A	Projected Y	
Display						
☒ U-factor						
☐ R-value						
% Error Energy Norm 1.08%						
						Export
						OK

$$\begin{aligned}U_{wall} &= 0,221, \text{BT}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \\h_{0,wall} &= 2, \text{м}; \\q &= 0,2216, \text{BT}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \\L &= 2,26, \text{м}; \\k &= q \cdot L - U_{wall} \cdot h_{0,wall} = 0,059, \text{BT}/(\text{м} \cdot \text{K}).\end{aligned}$$

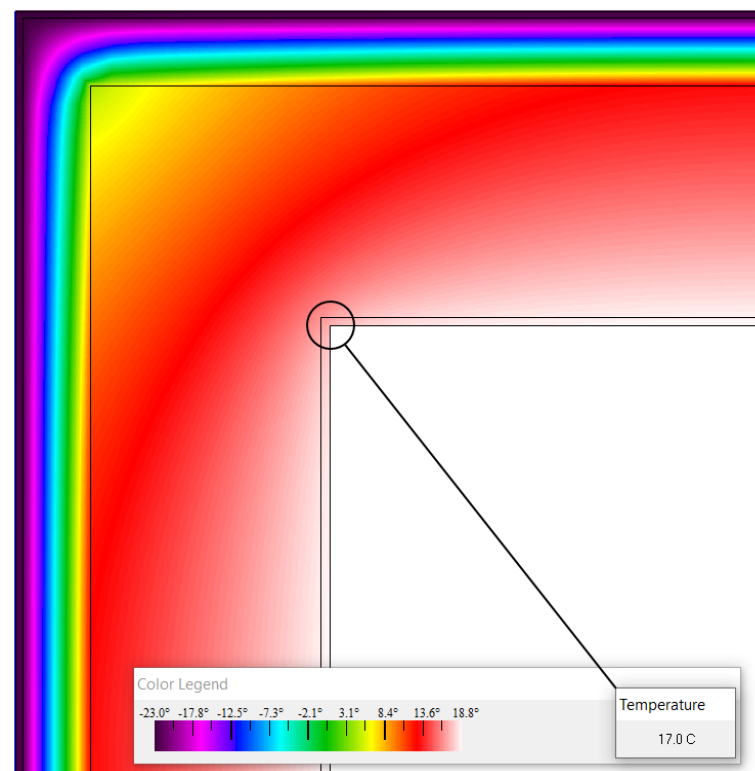
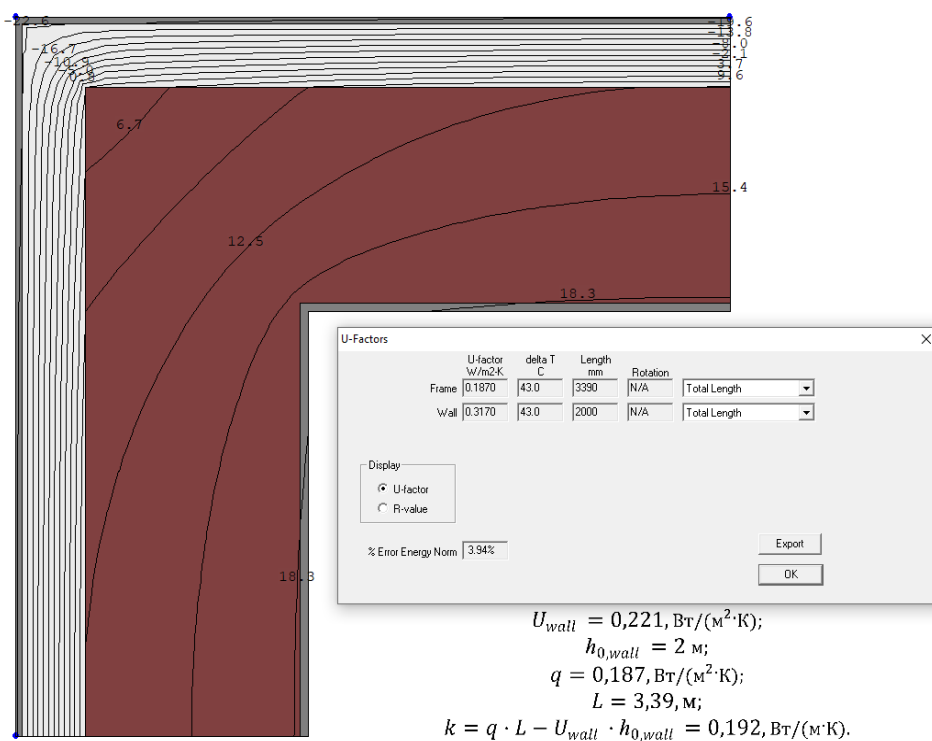
Теплопровідне включення примикання зовнішніх стін з силікатної цегли (500мм) та з мінераловатним утепленням (150 мм) до міжповерхового перекриття

Приклад 8



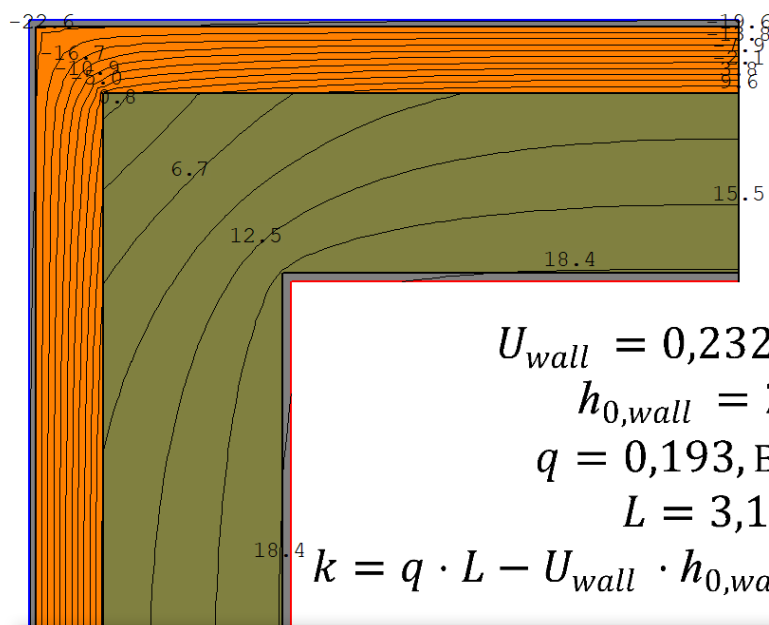
Теплопровідне включення примикання зовнішніх керамзитобетонних стін (300мм) та з мінераловатним утепленням (150 мм) до міжповерхового перекриття

Приклад 9

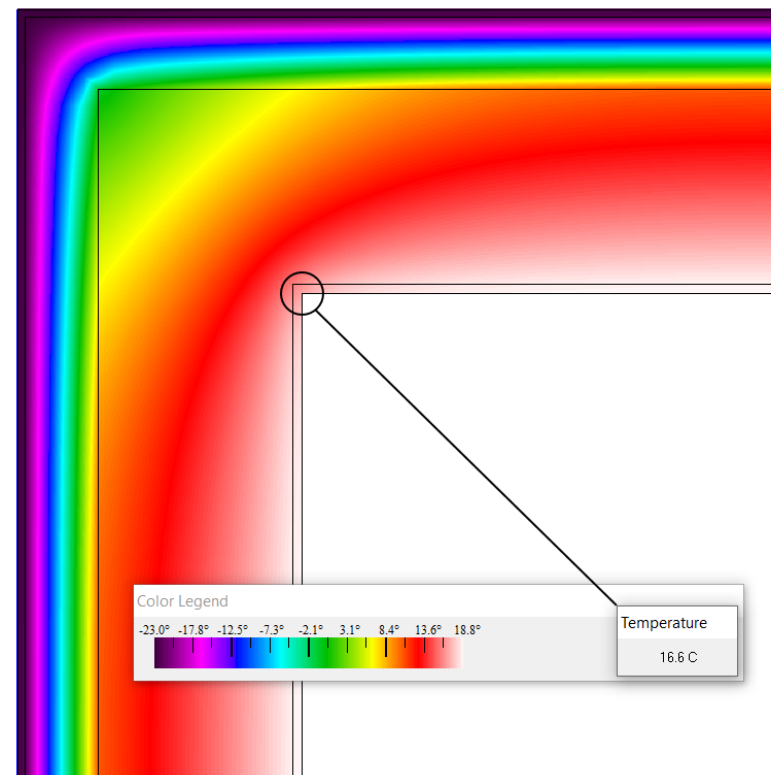


Теплопровідне включення кутового сполучення зовнішніх стін з силікатної цегли (500мм) та з мінераловатним утепленням (150 мм)

Приклад 10

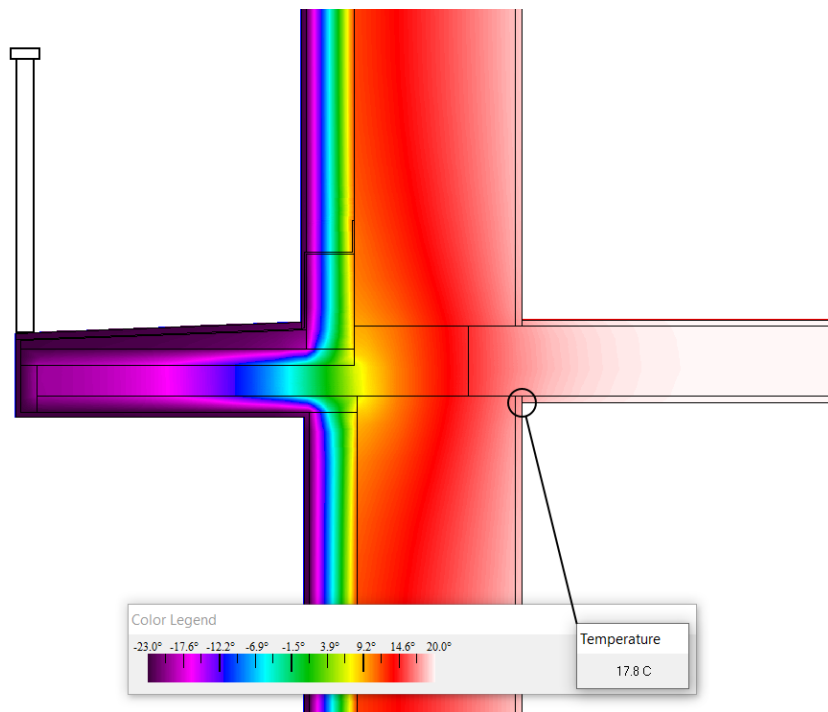


U-Factors					
	U-factor W/m2-K	delta T C	Length mm	Rotation	
Wall	0.6132	43.0	1000	N/A	Projected 'Y'
Frame	0.3868	43.0	1585	N/A	Projected 'Y'



Теплопровідне включення кутового сполучення зовнішніх керамзитобетонних стін (300мм) та з мінераловатним утепленням (150 мм)

Приклад 11



U-Factors					
	U-factor W/m2·K	delta T C	Length mm	Rotation	
Wall	0.4648	43.0	1000	N/A	Projected Y
Edge	0.4284	43.0	1000	N/A	Projected X
Frame	0.3706	43.0	2410	N/A	Projected Y

$$U_{wall} = 0,243, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,wall} = 1,00 \text{ м};$$

$$U_{edge} = 0,304, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$l_{0,edge} = 1,00 \text{ м};$$

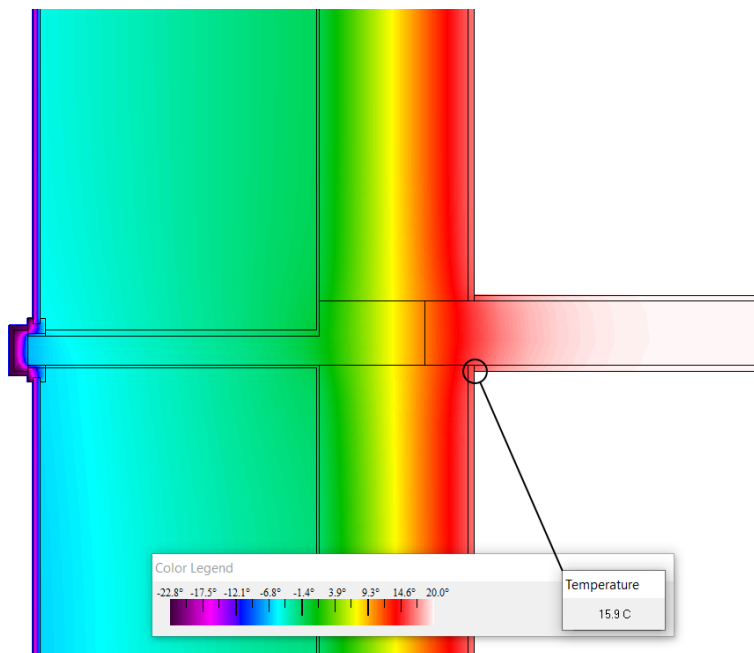
$$q = 0,3706, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$L = 2,41, \text{м};$$

$$k = q \cdot L - (U_{wall} \cdot h_{0,wall} + U_{edge} \cdot l_{0,edge}) = 0,346, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Теплопровідне включення примикання зовнішніх стін до міжповерхової плити відкритого балкону

Приклад 12



U-Factors					
	U-factor W/m2·K	delta.T C	Length mm	Rotation	
Wall	0.6833	43.0	2000	N/A	Projected Y
Edge	0.2833	43.0	1000	N/A	Projected X
Frame	0.7301	43.0	2260	N/A	Projected Y

$$U_{wall} = 0,702, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$h_{0,wall} = 2,26 \text{ м};$$

$$q = 0,7301, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$L = 2,26, \text{ м};$$

$$k = q \cdot L - U_{wall} \cdot h_{0,wall} = 0,064, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Теплопровідне включення примикання зовнішніх стін до міжповерхової плити
заскленого балкону

Дякую за увагу!

Контакти:

