

# Архітектурно-будівельна кліматологія і теплотехніка



Лекція 4 (2 частина)

## Розрахунок опору теплопередачі.

Підготував Сергейчук О.В.



## Нормативні вимоги

Регламентні та функціональні вимоги взаємодоповнюють один одного і описуються єдиною системою теплових показників, які по своїй методологічній основі розділяються на три групи відповідних нерівностей за експлуатаційними вимогами до будівель:

### Економічні вимоги

$$R_{\Sigma \text{ пр}} \geq R_{q \text{ min}}$$

$$EP \leq EP_{\text{max}}$$

### Санітарно-гігієнічні вимоги

$$A_{\tau_B} \leq 2,5$$

$$A_t \leq 1,5$$

$$Y_{\text{п}} \leq Y_{\text{max п}}$$

$$\Delta t_{\text{пр}} \leq \Delta t_{\text{сг}}$$

### Вимоги теплової надійності

$$T_{\text{в min}} > T_{\text{min}}$$

$$G^{\text{к}} \leq G_{\text{н}}^{\text{к}}$$

$$\Delta w \leq \Delta w_{\text{д}}$$

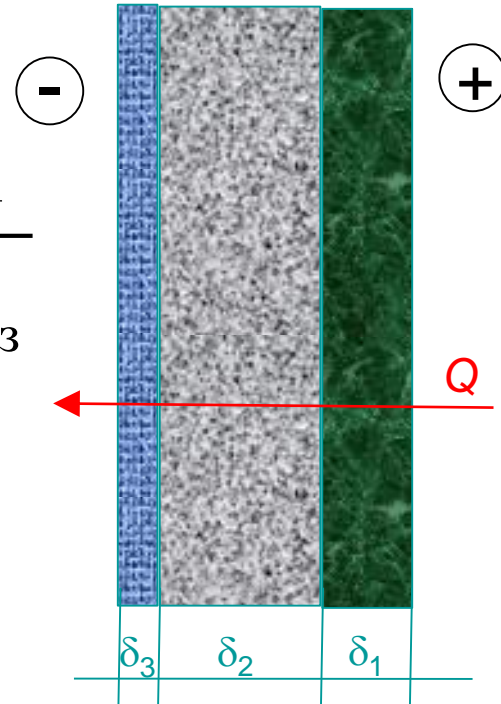
## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

**Опір теплопередачі** – величина, що визначає здатність конструкції чинити опір тепловому потоку, що через неї проходить –  $R$  [м<sup>2</sup>·К·Вт]

Для однорідних огороджувальних конструкцій:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}$$

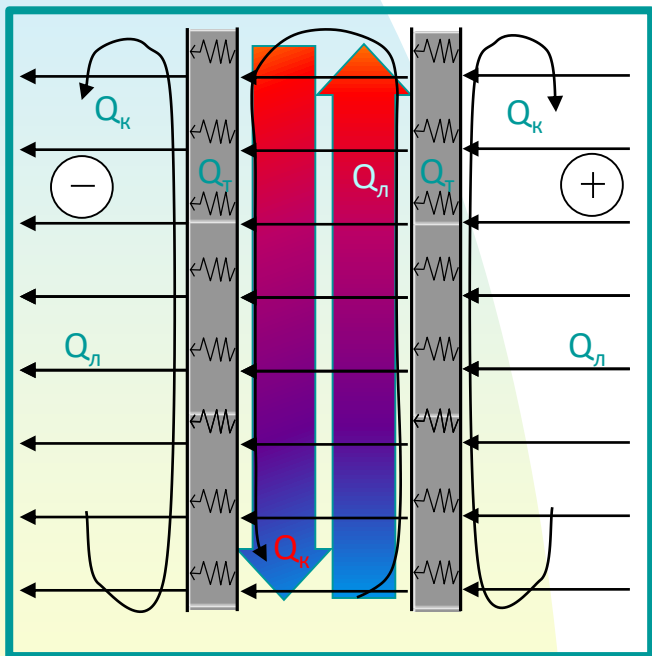
Тип конструкції	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	
	$\alpha_2$	$\alpha_3$
Зовнішні стіни, дахи, покриття, перекриття над проїздами плоскі та з ребрами при відношенні висоти ребра $h$ до відстані між гранями $b$ сусідніх ребер $h/b \leq 0,3$ $h/b > 0,3$	8,7	23
	7,6	23
Перекриття горищ та холодних підвалів		12
Перекриття над холодними підвалами та технічними поверхнями, що розташовані нижче рівня землі		6
Вікна, балконні двері, вітражі та світлопрозорі фасадні системи	8,0	23
Зенітні ліхтарі	9,9	23



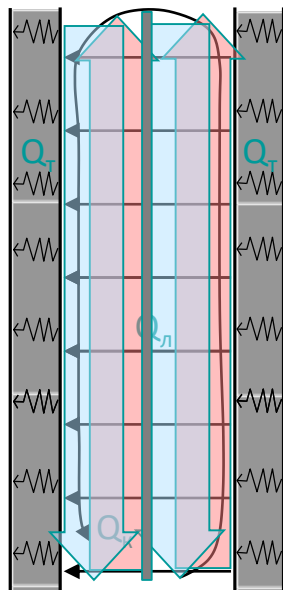
Термічний опір замкнених повітряних прошарків визначається за відповідними таблицями, в залежності від їх товщини, температури та розташування

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

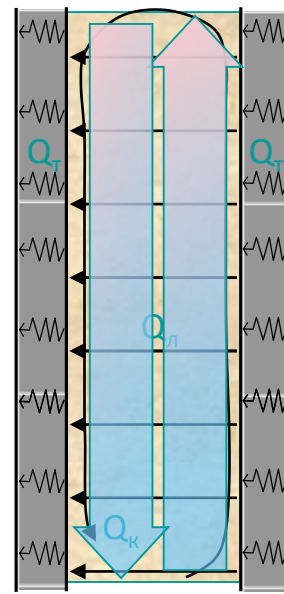
### 5.2.1. Особливості теплофізичних процесів у замкнених прошарках



Зменшення товщини прошарків

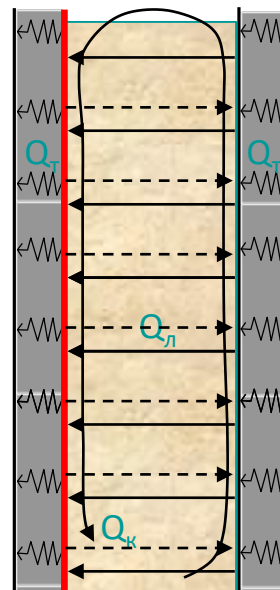


Заповнення прошарків важкими газами



-

+



Влаштування теплового дзеркала

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.1. Особливості теплофізичних процесів у замкнених прошарках

При проектуванні зовнішніх огорожувальних конструкцій з повітряними прошарками необхідно мати на увазі наступне:

- Ефективними, з теплотехнічної точки зору, є тільки прошарки, що мають невелику товщину, тому необхідно уникати товстих прошарків, якщо це не виправдовується конструктивними міркуваннями.
- Товсті прошарки вигідно наповнювати малотеплопровідними матеріалами;
- Більш раціонально робити в огорожувальній конструкції декілька прошарків малої товщини, ніж один великої товщини.
- Повітряні прошарки бажано розміщувати ближче до зовнішнього боку огороження, оскільки у цьому випадку зменшується кількість тепла, що передається випромінюванням.
- Повітряні прошарки повинні бути замкнутими, якщо це не суперечить іншим міркуванням (наприклад, забезпечення більшої теплостійкості огорожень в умовах жаркого клімату).
- Вертикальні прошарки в зовнішніх стінах необхідно перегороджувати горизонтальними діафрагмами на рівні перекриттів, оскільки це зменшує конвекційний рух повітря у прошарку.
- Одну з поверхонь прошарку бажано покривати алюмінієвою фольгою, оскільки при цьому приблизно удвічі зменшується кількість тепла, що передається випромінюванням. Покриття ж фольгою ще і другої поверхні практично не збільшує термічний опір прошарку. Найбільш ефективно встановлювати у прошарку відбивної ізоляції зі спіненим шаром

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.1. Особливості теплофізичних процесів у замкнених прошарках

#### ДОДАТОК И

(обов'язковий)

#### ТЕРМІЧНИЙ ОПІР ЗАМКНЕНИХ ПОВІТРЯНИХ ПРОШАРКІВ

Таблиця И.1 - Термічний опір повітряного прошарку,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , залежно від розміщення в конструкції

Товщина повітряного прошарку, м	Розміщення прошарку			
	горизонтальне при потоці тепла знизу вгору та вертикальне		горизонтальне при потоці тепла згори донизу	
	середня температура повітря у прошарку			
	$\geq 0^\circ\text{C}$	$< 0^\circ\text{C}$	$\geq 0^\circ\text{C}$	$< 0^\circ\text{C}$
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2-0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Таблиця И.2 – Термічний опір замкненого повітряного прошарку,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , при встановленні відбивної ізоляції

Кількість прошарків (товщиною по 50-100 мм)	Середня температура повітря прошарку	Тип відбивної ізоляції, товщина спіненого шару, мм					
		А (одностороння)*			Б (двостороння)		
		3	5	10	3	5	8
1	$\geq 0^\circ\text{C}$	0,34	0,48	0,84			
1	$< 0^\circ\text{C}$	0,3	0,4	0,79			
2	$\geq 0^\circ\text{C}$	0,79	1,0	1,3	0,85	1,39	1,49
2	$< 0^\circ\text{C}$	0,64	0,79	1,2	0,82	1,25	1,4

Примітка:\*. Встановлення ізоляції в відбивним шаром у бік приміщення

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

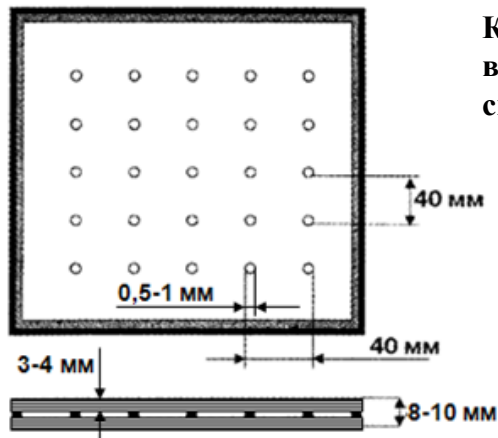
### 5.2.1 Особливості теплофізичних процесів у світлопрозорих конструкціях

Табл. 2.2. Фізико-технічні характеристики газів, що використовуються для заповнення склопакетів

Газ	Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м·°С)	Динамічна в'язкість $\mu$ , кг/(м·с)	Теплоємність $c$ , Дж/(кг·°С)
Сухе повітря	1,23	0,025	$1,76 \cdot 10^{-5}$	1
Аргон	1,7	0,0168	$2,16 \cdot 10^{-5}$	0,519
Криптон	3,56	0,009	$2,67 \cdot 10^{-5}$	0,245
Гексафторид сірки	6,36	0,0128	$1,46 \cdot 10^{-5}$	0,614

Табл. 2.3. Фізико-технічні характеристики аерогелю діоксиду кремнію

Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м·°С)		Швидкість звуку $c$ , м/с	Коефіцієнт заломлення $n$
	у звичайному стані	у 90 %-му вакуумі		
3,0	0,017	0,008	100	1,0-1,05

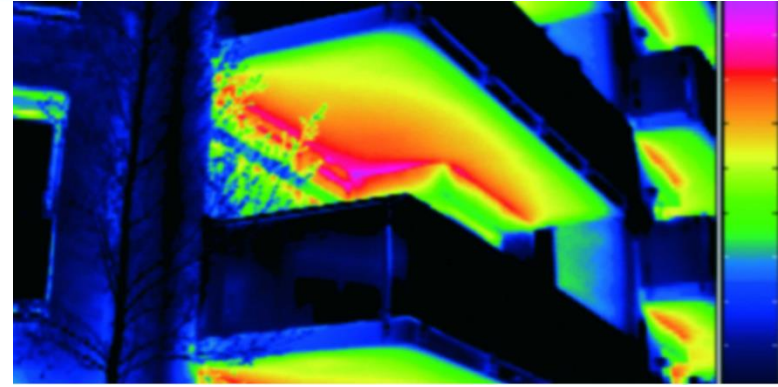
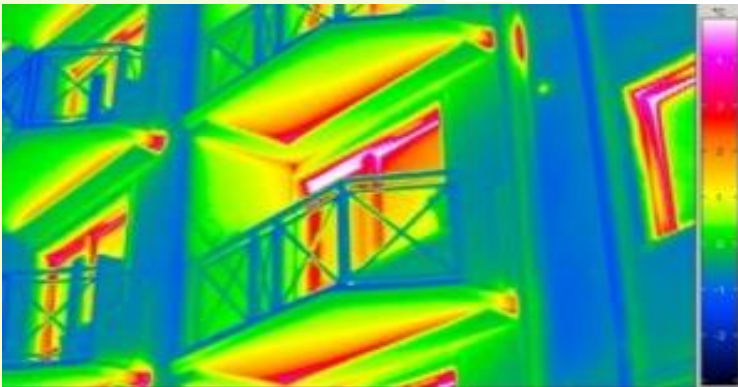
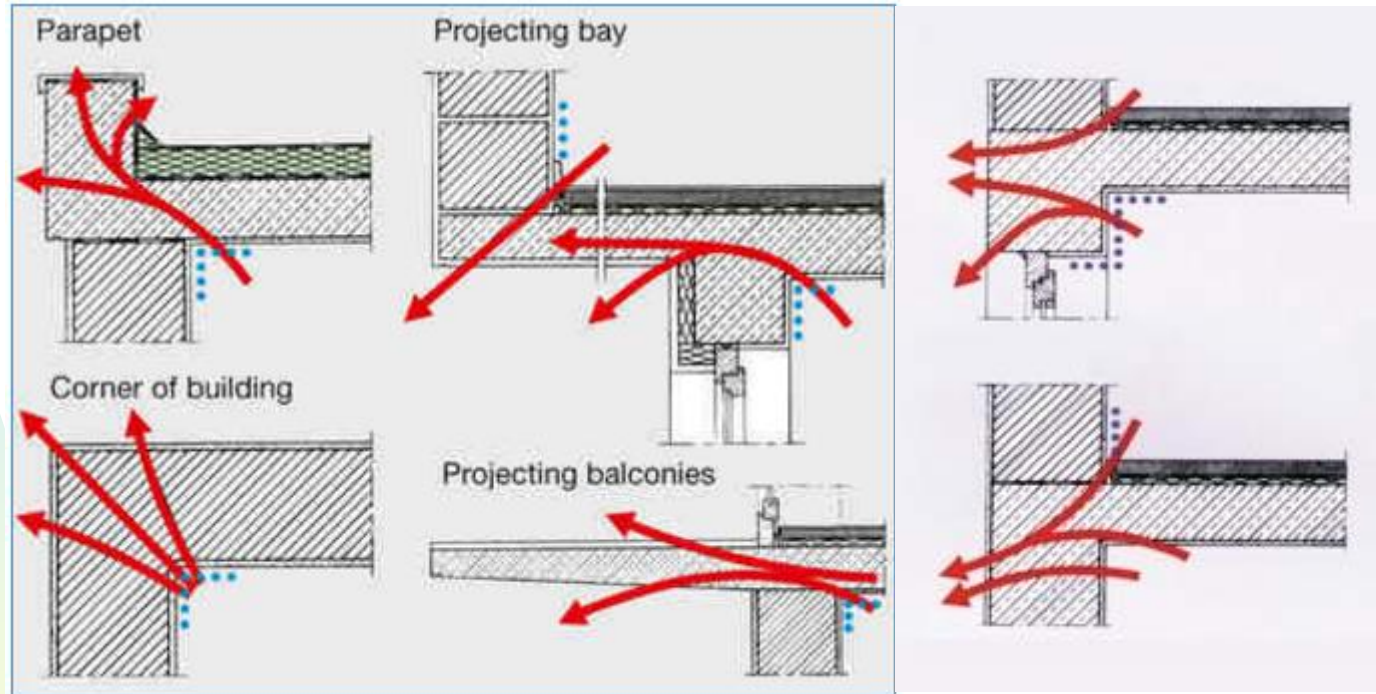
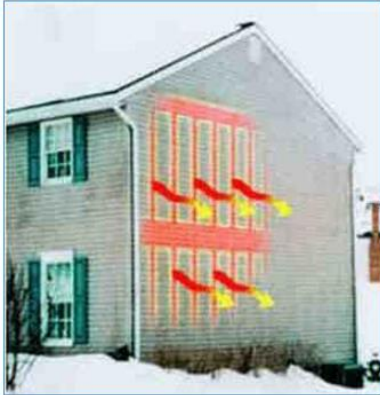


Конструкція вакуумного склопакета

	Однокамерний склопакет	Двокамерний склопакет		Трикамерний склопакет
		з трьома стеклами	з використанням плівки усередині	
3 використанням звичайних стекел				
3 використанням теплоізоляційного скла				
3 використанням скла з твердим покриттям для сонцезахисту				
3 використанням скла з м'яким покриттям для сонцезахисту				
3 використанням триплексу				

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій





## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

#### Зменшення кількості та впливу містків холоду

Схеми розміщення основного способу улаштування збірних фасадних теплоізоляційних систем за допомогою гратчастого ригеля

Переріз зовнішньої стіни



Схема конструкції при збірному перекритті

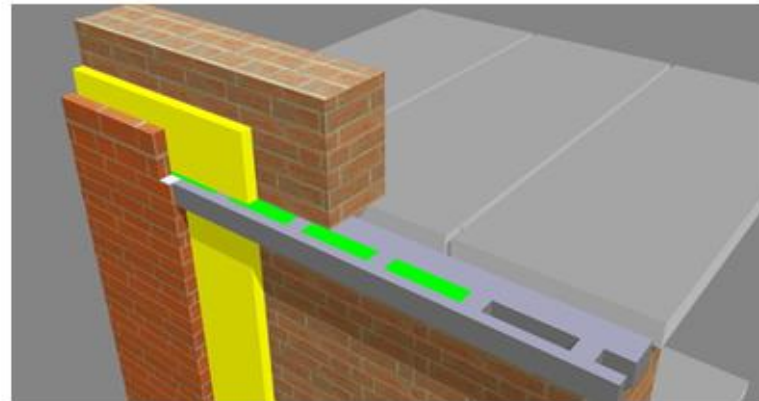
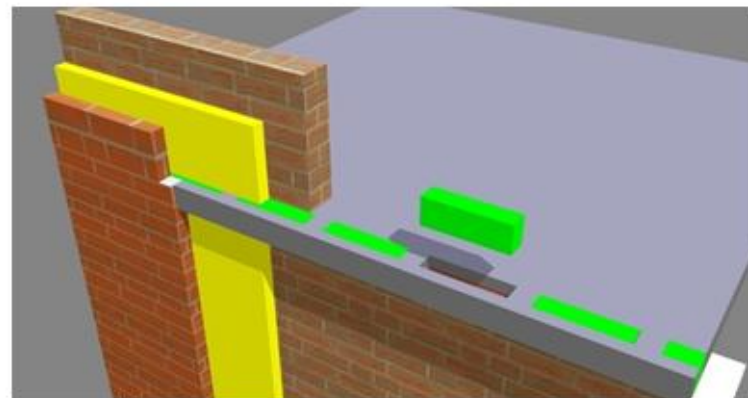


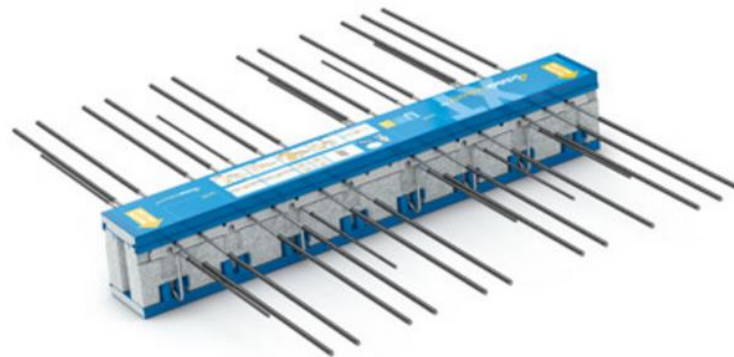
Схема конструкції при монолітному перекритті



## 2.2. Загальні принципи проектування енергоефективних будинків

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

Зменшення кількості та впливу мостиків холоду



- Schock Isokorb® тип KXT с модулем НТЕ - для консольных балконов

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій



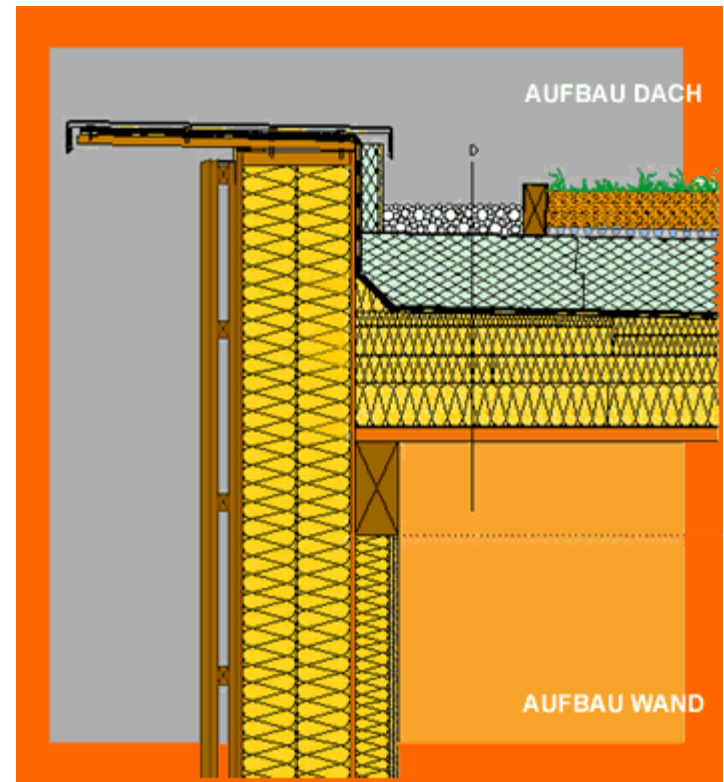
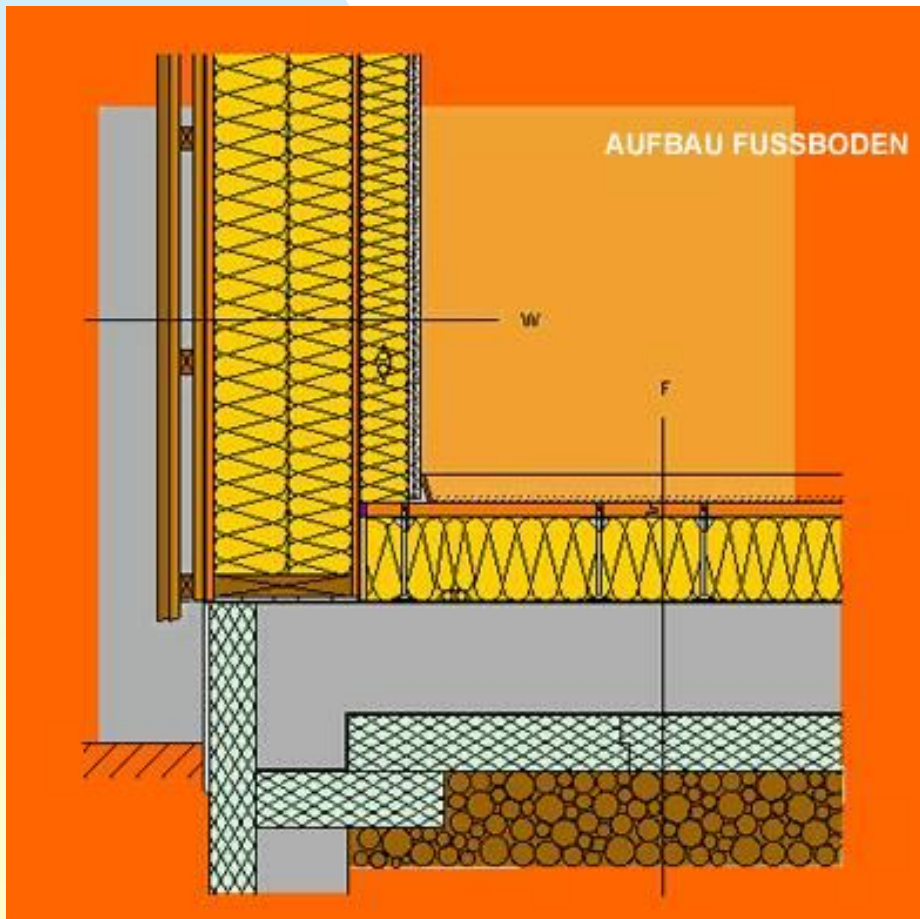
Деталі теплової ізоляції  
без містків холоду



## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

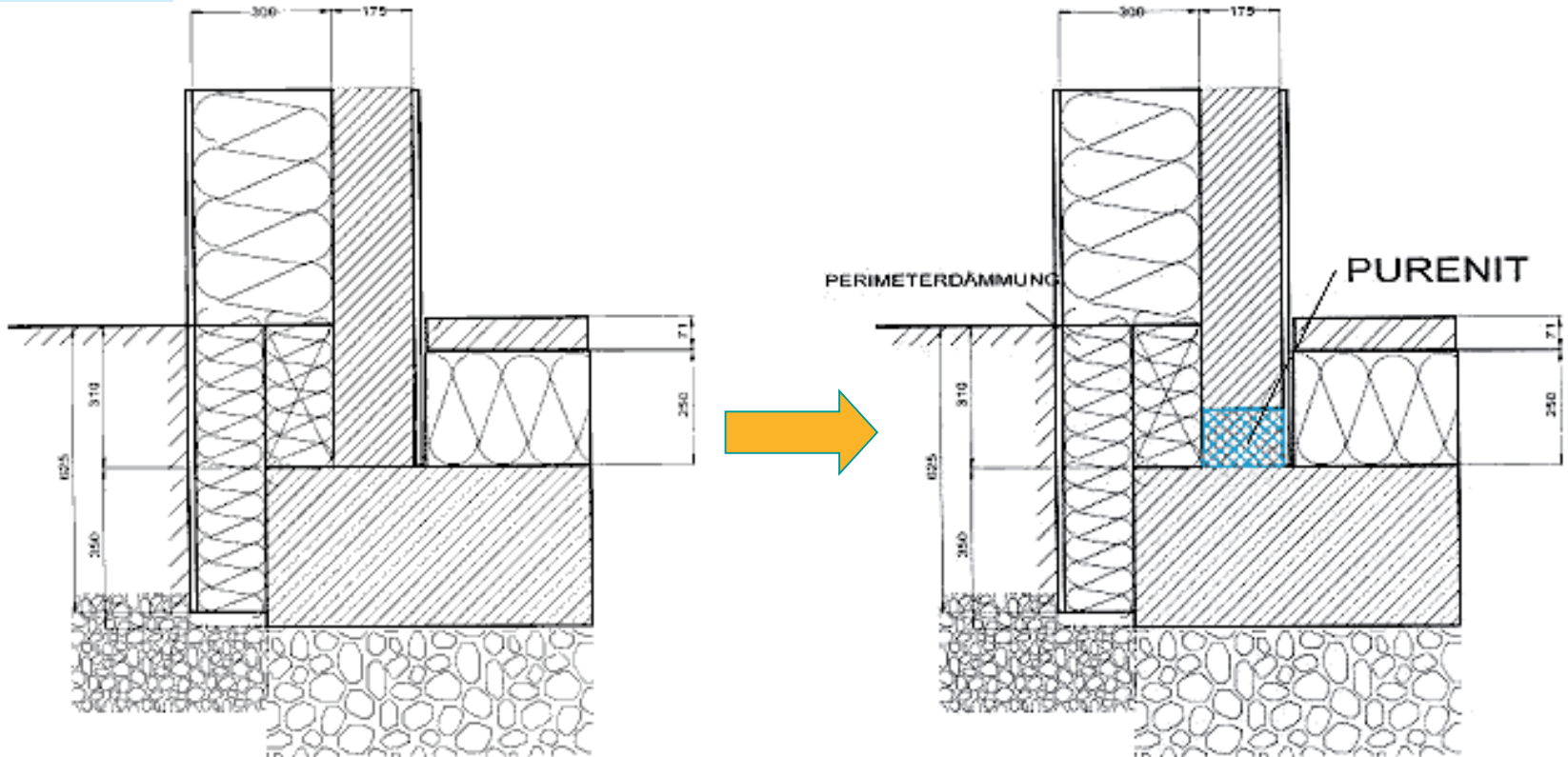
# Приклади конструктивного вирішення ізоляції підлоги і даху



## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

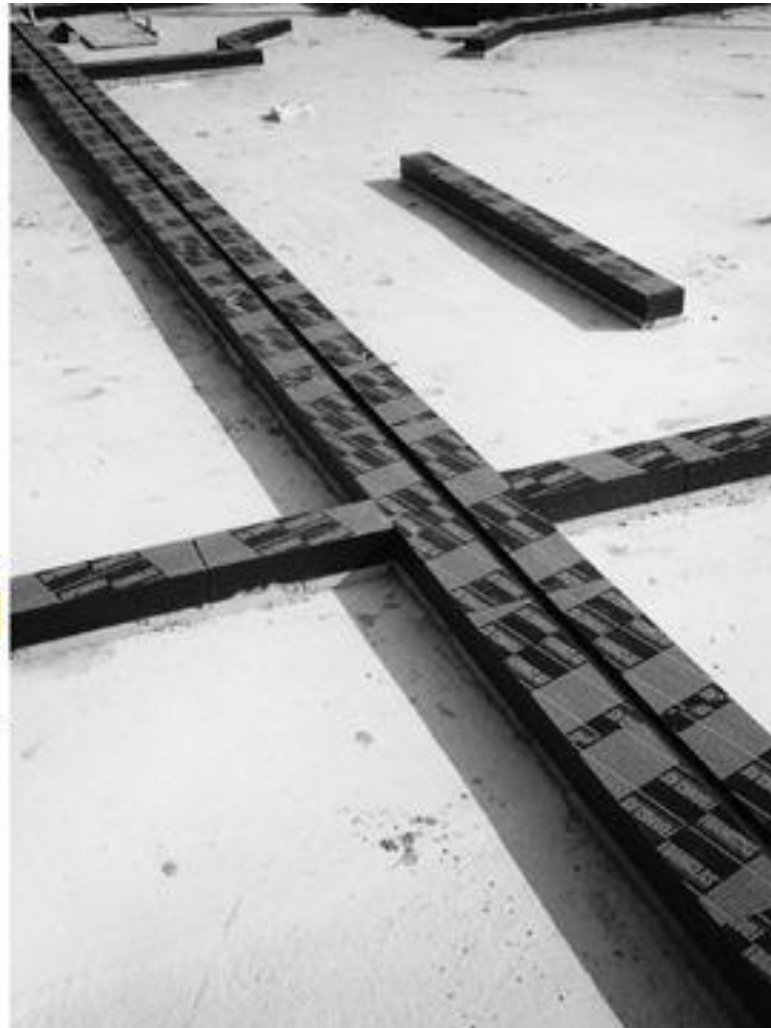
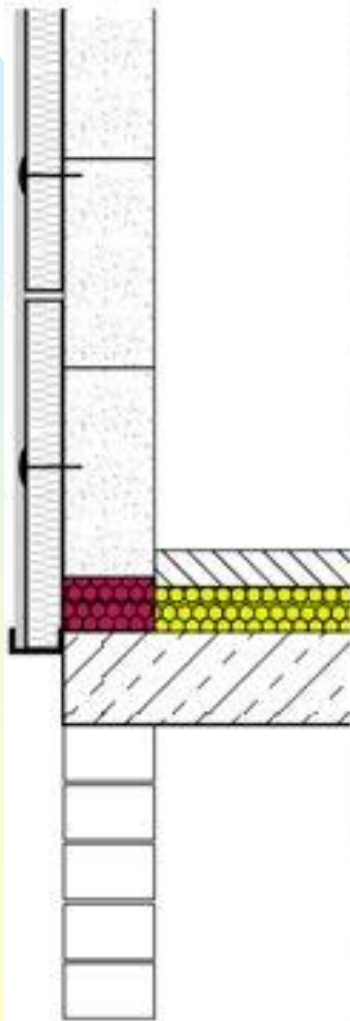
# Використання піноскла для ліквідації містка холоду



## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

# Використання піноскла для ліквідації містка холоду



## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

#### Приставні балкони



## 3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівлі

### 3.4.2. Розрахунок приведенного опору теплопередачі

Згідно з ДБН В.2.6-31

**Приведений опір теплопередачі** – середньозважений за площею опір теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції, в якому враховується двовимірне (тривимірне) перенесення теплоти і який визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань конструкцій.

Розрахунок за допомогою моделювання температурних полів

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{з}}}{q}$$

Розрахунок за допомогою лінійних і точкових теплопровідних включень

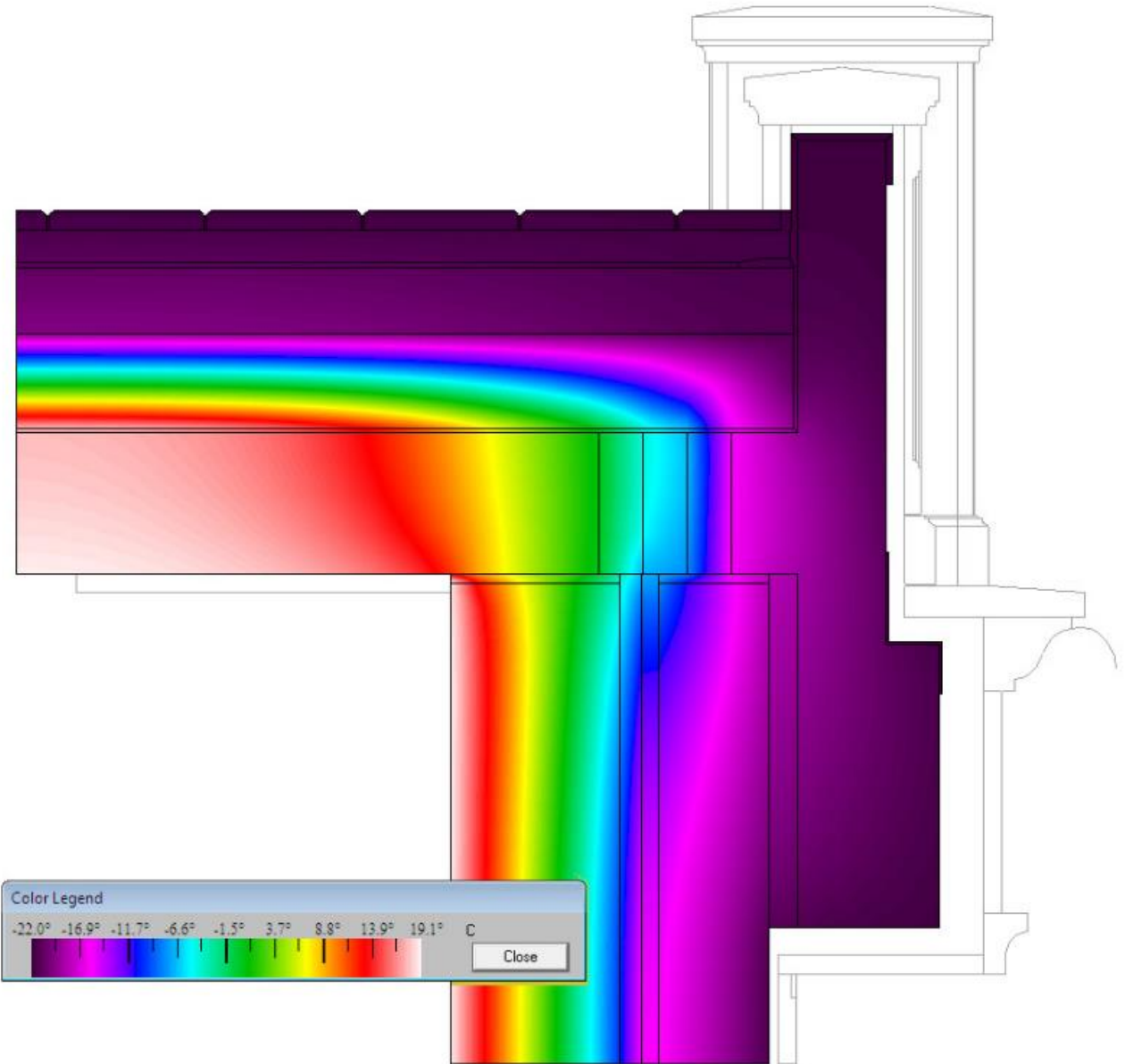
$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k}$$



## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

THERM

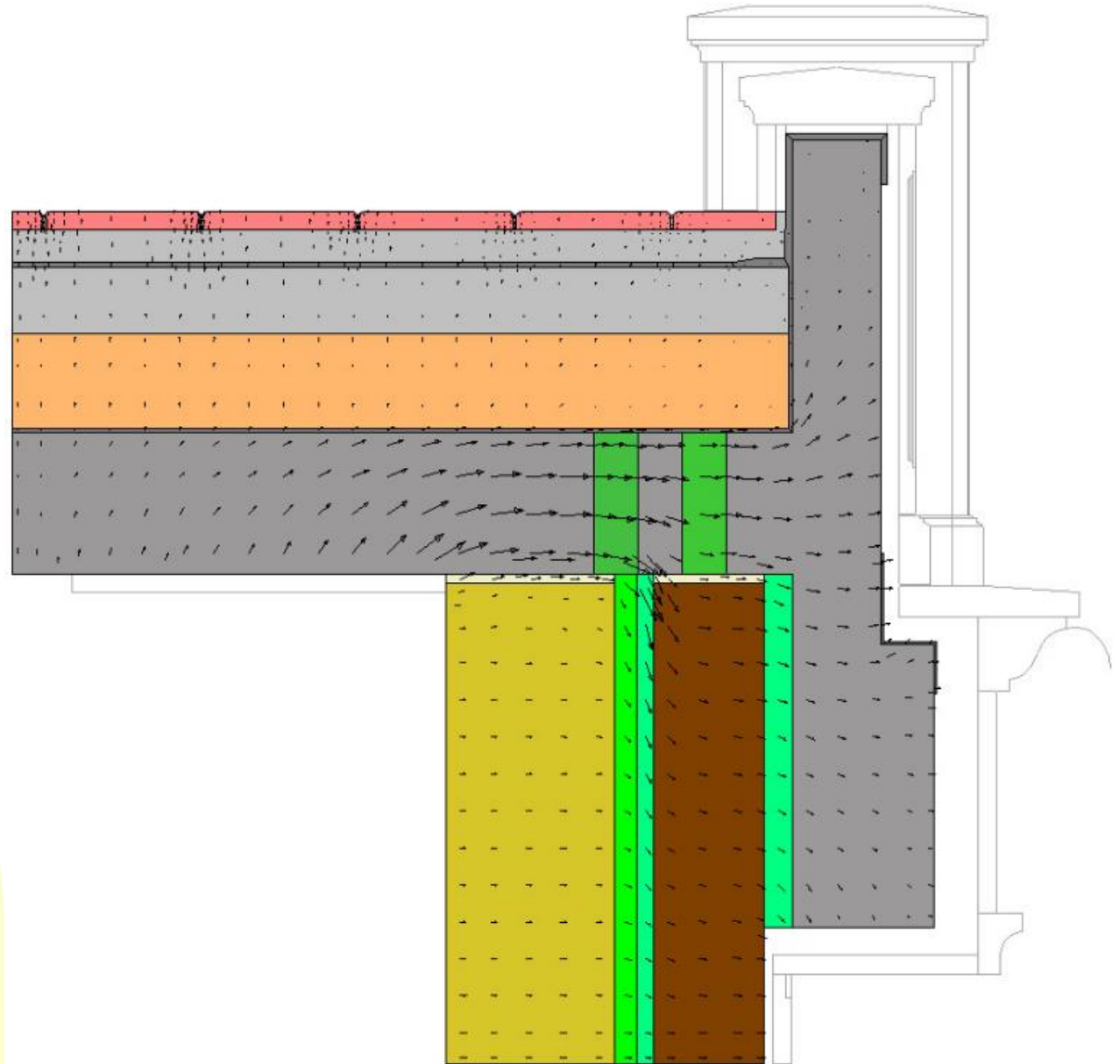


Термограма

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

THERM

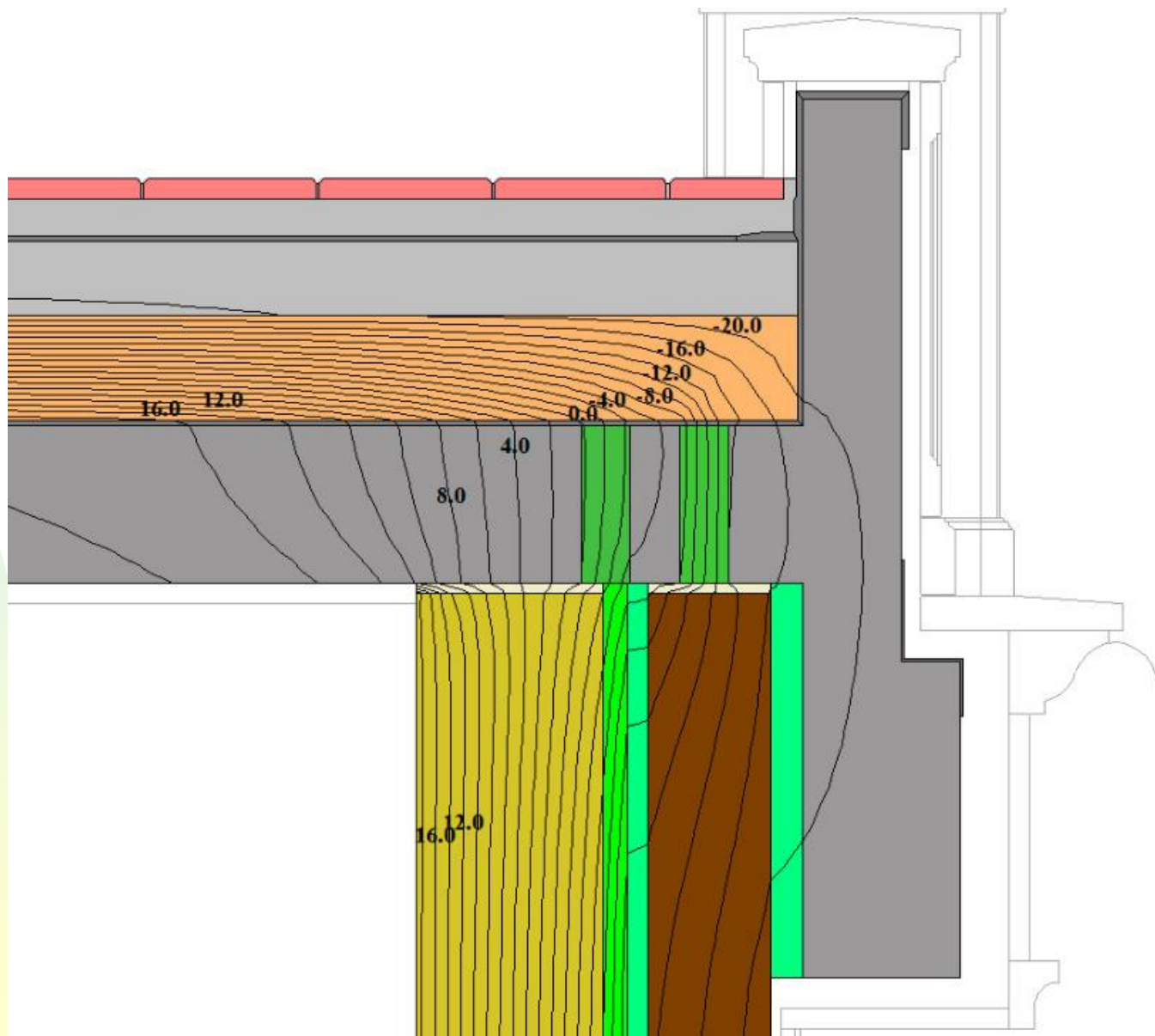


Теплові потоки

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

THERM

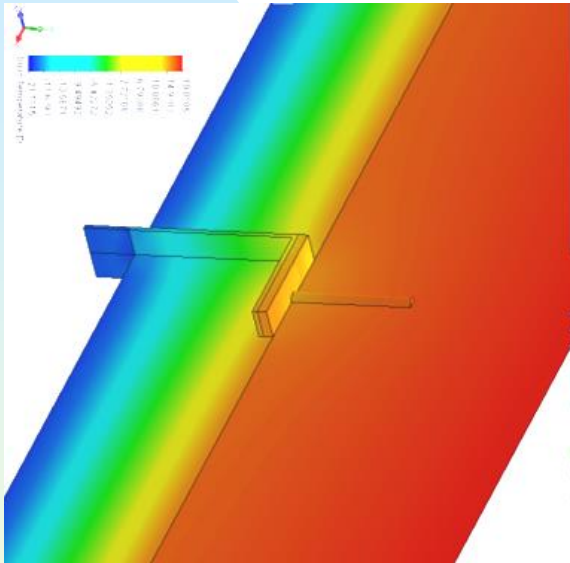


Ізотерми

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

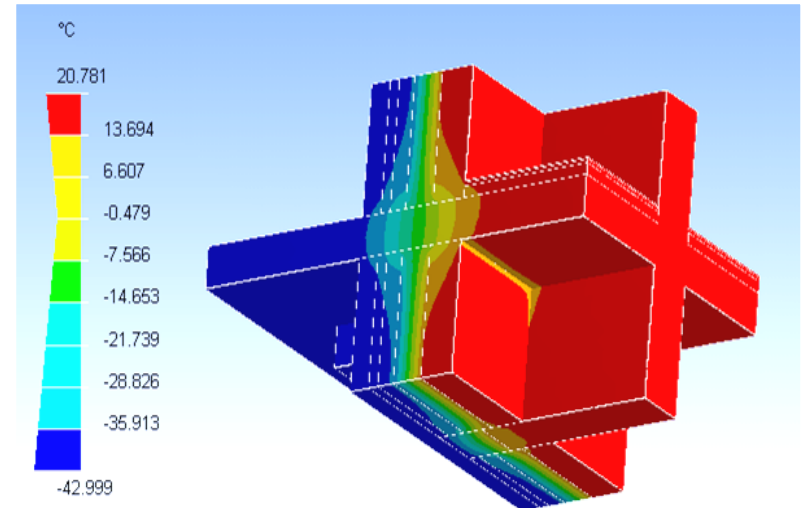
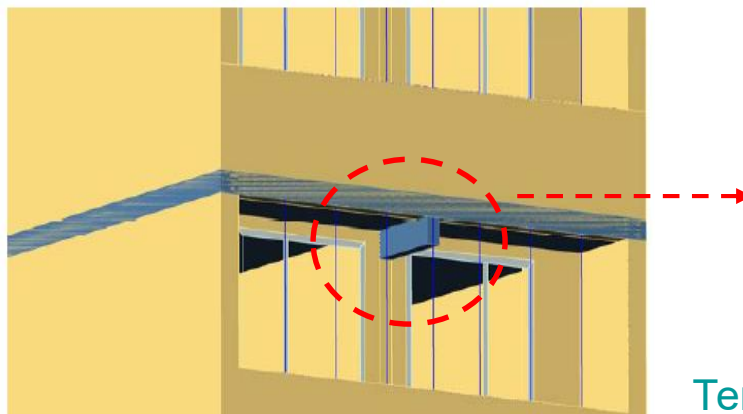
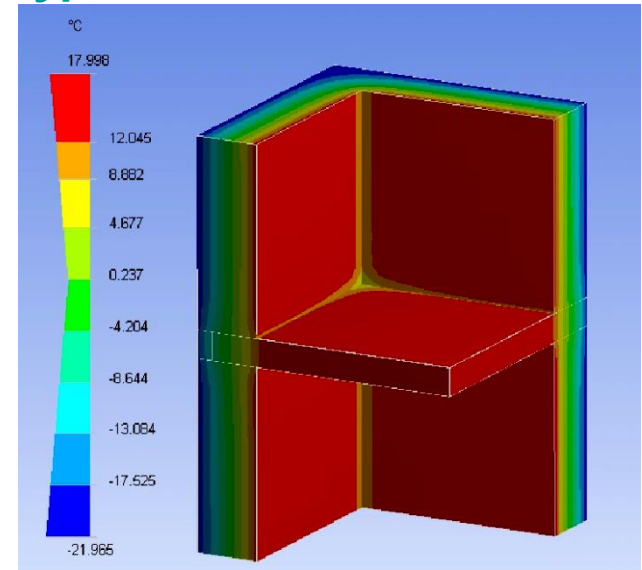
### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій Моделювання тривимірного температурного поля

Температурне поле вузла у зоні кронштейна



Temper-3d  
Elcut

Температурне  
поле кута



Температурне поле примикання балки до колони

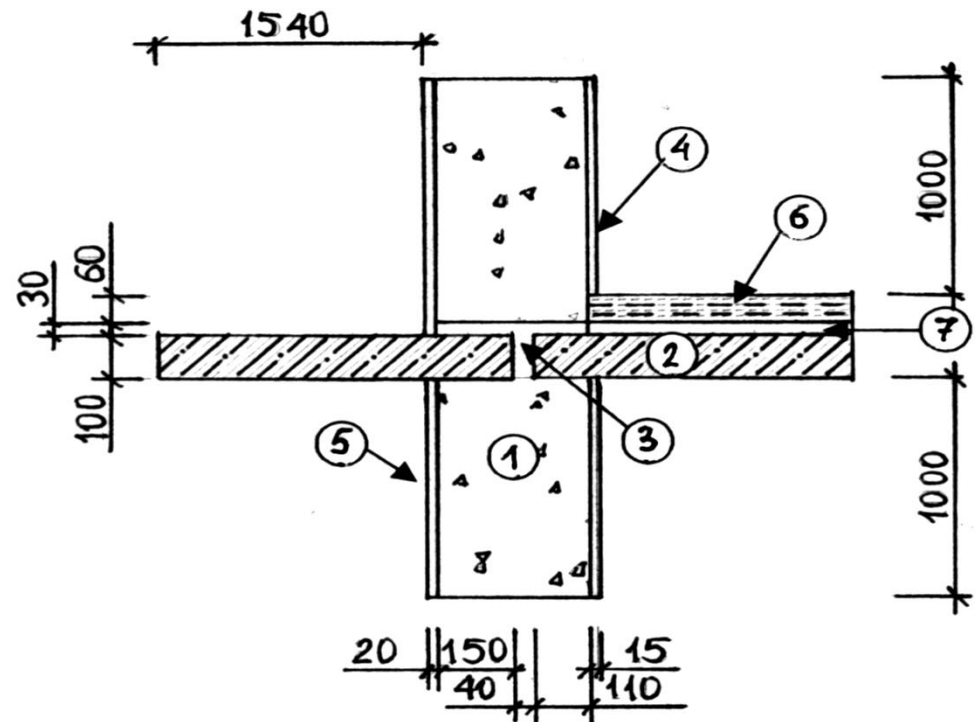
## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

**Лінійний коефіцієнт теплопередачі** – коефіцієнт теплопередачі термічно неоднорідної огороджувальної конструкції, що враховує кількість теплоти, яка передається через лінійне теплопровідне включення при різниці температур середовищ, розділених конструкцією в 1 К, яка приведена до 1 м довжини теплопровідного включення і визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань

Для типових конструктивних вузлів значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі наведено у:

додатку Г ДСТУ Б В.2.6-189:2013 МЕТОДИ ВИБОРУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ УТЕПЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ



$$k = 0,44 \text{ Вт/(м·К)}$$

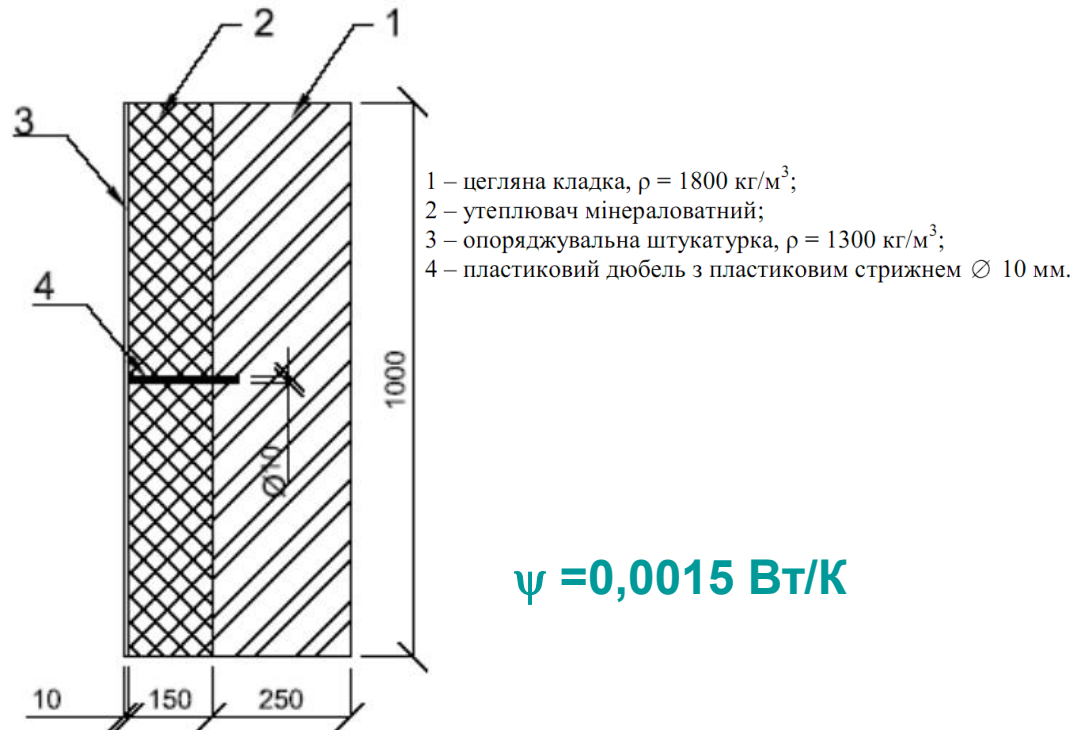
## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

**Точковий коефіцієнт теплопередачі** – коефіцієнт теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції, що враховує кількість теплоти, яка передається через точкове теплопровідне включення при різниці температур середовищ, розділених конструкцією в 1 К, і визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань

Для типових конструктивних вузлів значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі наведено у:

- додатку Г ДСТУ Б В.2.6-189:2013



## 3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівлі

### 3.4.2. Розрахунок приведенного опору теплопередачі

Згідно з ДБН В.2.6-31

**Приведений опір теплопередачі** – середньозважений за площею опір теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції, в якому враховується двовимірне (тривимірне) перенесення теплоти і який визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань конструкцій.

Розрахунок за допомогою моделювання температурних полів

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{\tau_{\text{в}} - \tau_{\text{з}}}{q}$$

Розрахунок за допомогою лінійних і точкових теплопровідних включень

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k}$$

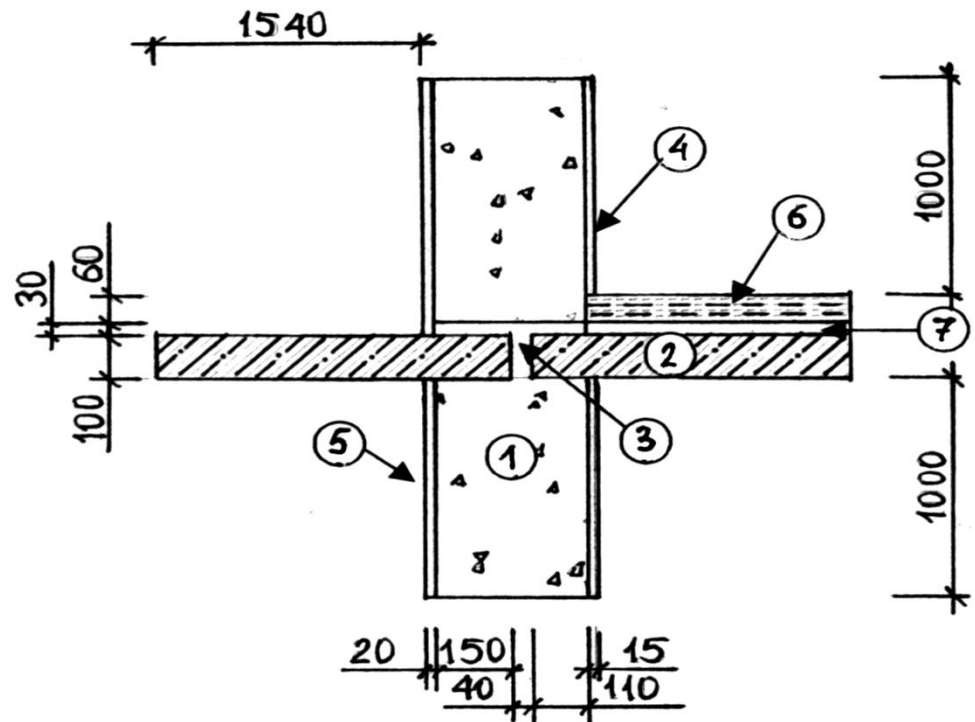
## 3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівлі

### 3.4.2. Розрахунок приведенного опору теплопередачі

**Лінійний коефіцієнт теплопередачі** – коефіцієнт теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції, що враховує кількість теплоти, яка передається через лінійне теплопровідне включення при різниці температур середовищ, розділених конструкцією в 1 К, яка приведена до 1 м довжини теплопровідного включення і визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань

Для типових конструктивних вузлів значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі наведено у:

- додатку И ДБН В.2.6-31
- додатку Г ДСТУ Б В.2.6-189:2013



$$k = 0,44 \text{ Вт/(м·К)}$$



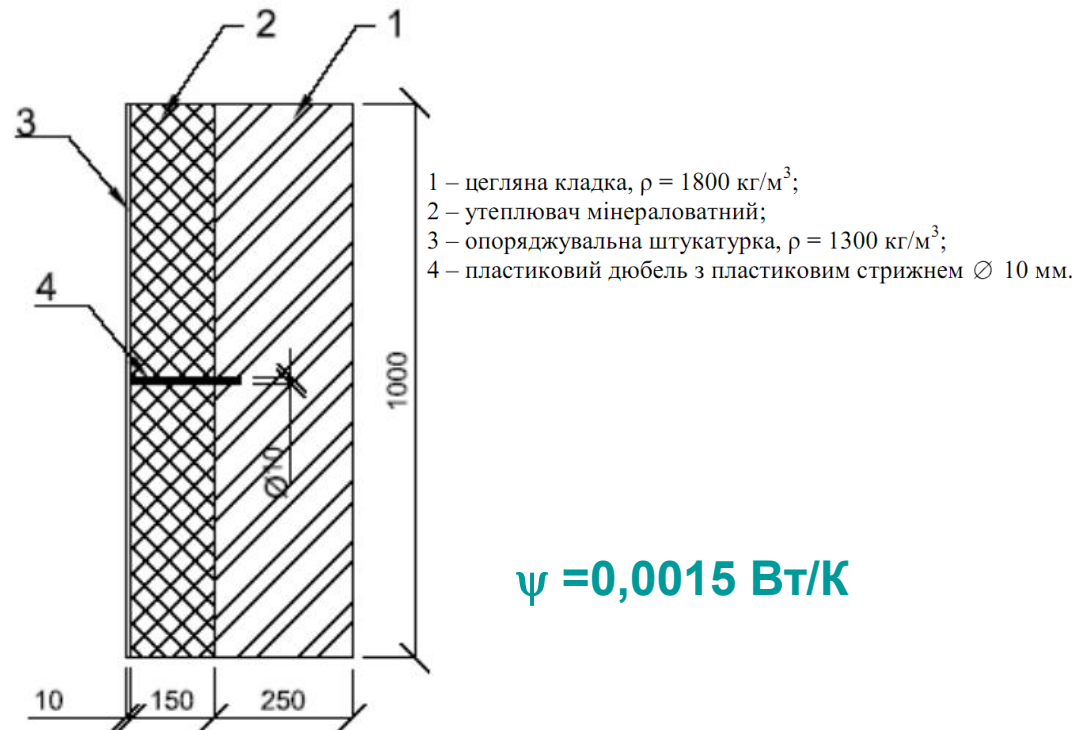
## 3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівлі

### 3.4.2. Розрахунок приведенного опору теплопередачі

**Точковий коефіцієнт теплопередачі** – коефіцієнт теплопередачі термічно неоднорідної огорожувальної конструкції, що враховує кількість теплоти, яка передається через точкове теплопровідне включення при різниці температур середовищ, розділених конструкцією в 1 К, і визначається на підставі розрахунків чи результатів випробувань

Для типових конструктивних вузлів значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі наведено у:

- додатку Г ДСТУ Б В.2.6-189:2013

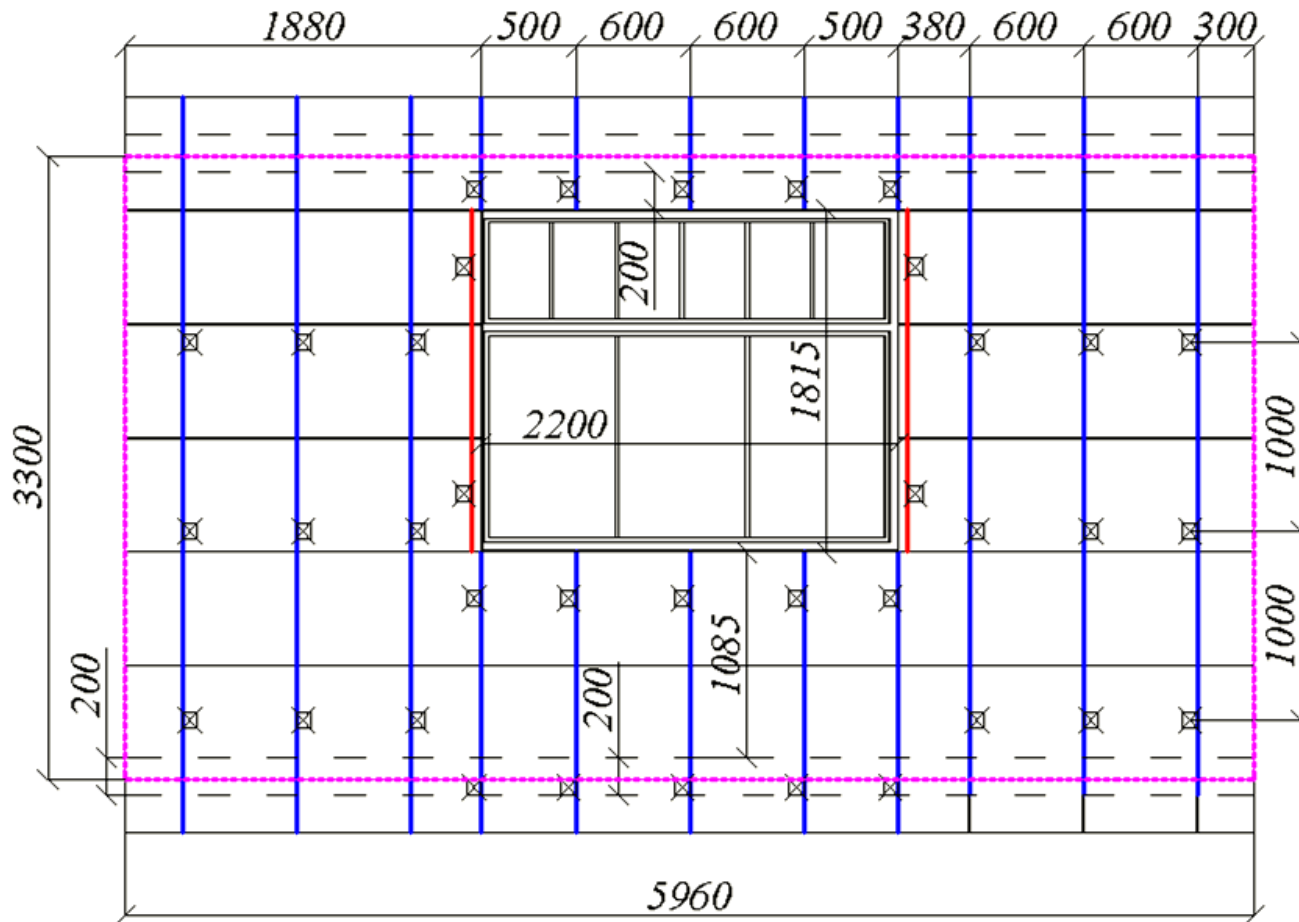


### 3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівлі

#### 3.4.2. Розрахунок приведенного опору теплопередачі

##### Приклад розрахунку

Модель: фрагмент фасаду з вентиляльованим повітряним прошарком

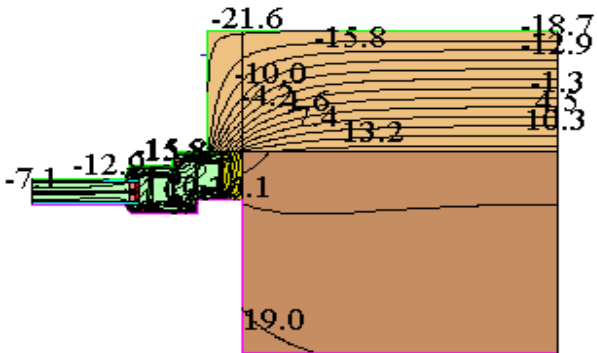


### 3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівлі

#### 3.4.2. Розрахунок приведенного опору теплопередачі

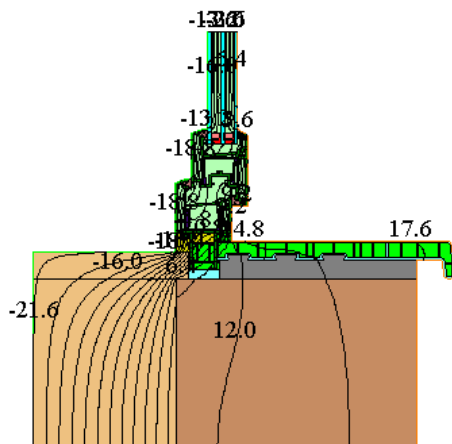
## Результати розрахунку лінійних елементів конструкції

Температурне поле вузла у зоні віконного прорізу  
(горизонтальний переріз)



Лінійний коефіцієнт теплопередачі	$k_1 = 0,059$ Вт/(м·К)
Лінійний розмір теплопровідного включення	$L_1 = 1,815$ м

Температурне поле вузла у зоні віконного прорізу (підвіконня)



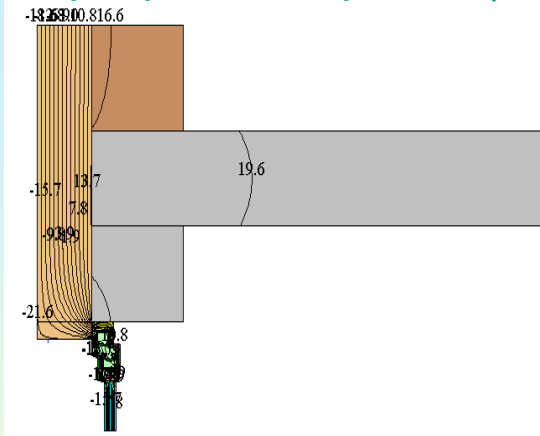
Лінійний коефіцієнт теплопередачі	$k_2 = 0,04$ Вт/(м·К)
Лінійний розмір теплопровідного включення	$L_2 = 2,2$ м

## 3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівлі

### 3.4.2. Розрахунок приведенного опору теплопередачі

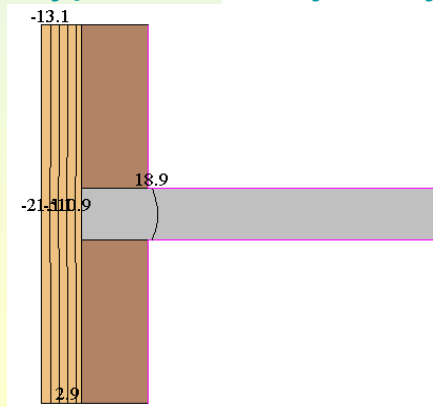
#### Результати розрахунку лінійних елементів конструкції

Температурне поле вузла у зоні віконного прорізу  
(панель перекриття та ригель)



Лінійний коефіцієнт теплопередачі	$k_3 = 0,162$ Вт/(м·К)
Лінійний розмір теплопровідного включення	$L_3 = 2,2$ м

Температурне поле вузла у зоні панелі перекриття



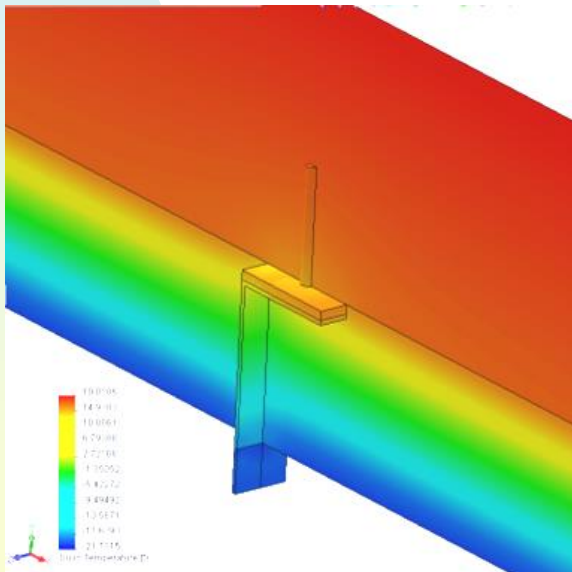
Лінійний коефіцієнт теплопередачі	$k_4 = 0,058$ Вт/(м·К)
Лінійний розмір теплопровідного включення	$L_4 = 5,96$ м

## 3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівлі

### 3.4.2. Розрахунок приведеного опору теплопередачі

## Результати розрахунку точкових елементів конструкції

Температурне поле вузла у зоні кронштейна



Точковий коефіцієнт теплопередачі	$\Psi_I = 0,015 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
Кількість теплопровідних включень	$N_I = 32 \text{ шт.}$

## 3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівлі

### 3.4.2. Розрахунок приведенного опору теплопередачі

#### Приклад

$$F_{\Sigma} = 3,3 \cdot 5,96 = 15,7 \text{ м}^2$$

$$F = 15,7 - 2,2 \cdot 1,815 - 5,96 \cdot 0,2 - 0,2 \cdot 2,2 = 14 \text{ м}^2$$

вікно

панель  
перекриття

перемичка

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k}$$

15,7

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{14}{3,8 + (0,059 \cdot 1,815 + 0,04 \cdot 2,2 \cdot 2 + 0,162 \cdot 2,2 + 0,058 \cdot 5,96) + (0,015 \cdot 32 + 0,003 \cdot 126)} = 2,83 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$$

відкоси вікна      перемичка      панель      кронштейни      дюбеля  
перекриття

### Розрахунок коефіцієнта теплотехнічної однорідності

$$r = R_{\Sigma \text{ пр}} / R_{\Sigma} = 2,83 / 3,8 = 0,75$$

## 5.1. Задачі архітектурно-будівельної теплотехніки



Карта - схема температурних зон України

## 5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

### 5.2.3. Визначення мінімально допустимого значення опору теплопередачі



Таблиця 2 – Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових будинків ( $R_{q \min}$ )

Вид огорожувальної конструкції та тепловологісний режим експлуатації будинків	Значення $R_{q \min}$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт, для температурної зони	
	I	II
Зовнішні непрозорі стіни будинків: - з сухим і нормальним режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ - з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ - з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м <sup>3</sup> )	1,7 2,2 1,8 2,4 0,55	1,5 2,0 1,6 2,2 0,45
Покриття та перекриття неопалювальних горіщ будинків: - з сухим і нормальним режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ - з вологим і мокрим режимом з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$ - з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м <sup>3</sup> )	1,7 2,2 1,7 1,9 0,55	1,6 2,1 1,6 1,8 0,45
Перекриття над проїздами й неопалювальними підвалами з конструкціями з: $D > 1,5$ $D \leq 1,5$	1,9 2,4	1,8 2,2
Двері й ворота будинків: - з сухим і нормальним режимом - з вологим і мокрим режимом - з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м <sup>3</sup> )	0,6 0,75 0,2	0,55 0,70 0,2
Вікна й Zenitні ліхтарі будинків: - із сухим і нормальним режимом - з вологим і мокрим режимом - з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м <sup>3</sup> )	0,45 0,5 0,18	0,42 0,45 0,18

Табл. 1. Мінімально допустимі значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових і громадських будівель

№ п.п.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт, для температурної зони [після 01.05.2017/ до 01.05.2017]	
		I	II
1	Зовнішні стіни	3,3	2,8
2	Суміщені покриття	6,0/(5,35)	5,5/(4,9)
3	Горищні покриття та перекриття неопалюваних горіщ	4,95	4,5
4	Перекриття над проїздами і неопалювальними підвалами	3,75	3,3
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6
6	Вхідні двері в багатоквартирні житлові і громадські будівлі	0,6/(0,5)	0,5/(0,45)
7	Вхідні двері в малоповерхові будівлі і в квартири, розташовані на перших поверхах багатоквартирних будинків	0,6/(0,65)	0,5/(0,6)

Теплова інерція огорожувальної конструкції  $D$  визначається за формулою  $D = D_1 + D_2 + \dots + D_n$ ,  $D_i = R_i s_i$ , де  $R_i$  – опір теплопередачі  $i$ -го шару, м<sup>2</sup>·К/Вт;  $s_i$  – розрахункові коефіцієнти теплозасвоєння матеріалу  $i$ -го шару, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Коефіцієнт теплозасвоєння матеріалу характеризує здатність матеріалу більш чи менш інтенсивно сприймати тепло при коливаннях температури на його поверхні.





Дякую за увагу