

Лекція 6

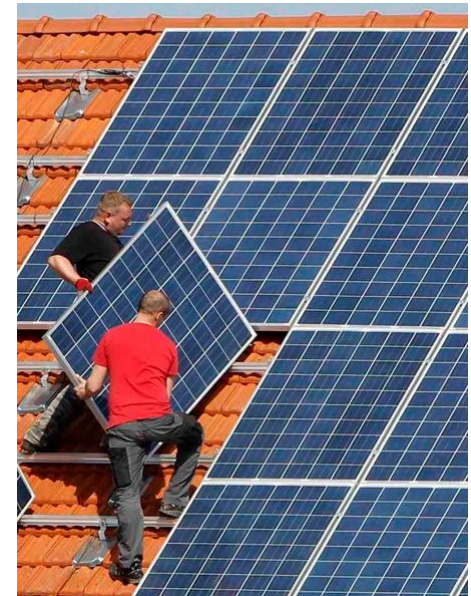
Методи визначення приведеного опору теплопередачі огороджувальних конструкцій

Підготував Сергейчук О.В.

6.1. Задачі розрахунку

Директиви Європейського союзу

Згідно зі ст. 9 Директиви Європейського союзу (ЄС) про енергетичну ефективність будівель (EPBD) країни-члени ЄС повинні гарантувати, що до 31 грудня 2020 енергетичні характеристики всіх нових будинків будуть відповідати показникам будівель з мінімальним або нульовим споживанням енергії. Так звана мета «20-20-20» означає, що до 2020 року на 20% скоротиться споживання первинної енергії, 20% становитиме частка енергії, отримана з поновлюваних джерел, на 20% відбудеться зниження викидів вуглекислого газу.



6.1. Задачі розрахунку

Директиви Європейського союзу

Директива 2002/91 / ЄС (EPBD), яка була переглянута в травні 2010 року (Директива 2010/31 / ЄС), спрямована на сприяння поліпшенню енергетичної ефективності будівель, з урахуванням кліматичних і місцевих умов.

Ці директиви встановлюють необхідність:

- Впровадження методології розрахунку енергетичної ефективності будівель та будівельних конструкцій;
- Нормування і регулярне оновлення мінімальних вимог до енергетичної ефективності нових і реконструйованих будівель;
- Розробку та впровадження системи енергетичної сертифікації нових та існуючих будівель;
- Регулярного контролю роботи систем опалення та систем кондиціонування повітря.

6.1. Задачі розрахунку

ПАСПОРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ



інформації про розрахункові показники енергетичної ефективності будівель

інформації про фактичні показники енергетичної ефективності будівель



Реконструкція



Будівлі, що вже збудовані



Капітальний ремонт



Проектування нового будівництва

Складання енергетичного паспорта відповідно з ДБН В.2.6-31 «Теплова ізоляція будівель» ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 «Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції»

ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 «Енергоефективність будівель. Настанова щодо застосування методу проведення енергетичної оцінки та енергетичної сертифікації будівель»

Енергетичний сертифікат

BUILDING ENERGY PERFORMANCE CERTIFICATE				
Building information	Calculated building classification			
	As built	After renovation		
Building no.:				
Floor area:				
	A	C		
	B			
	C			
	D			
	E			
	F			
	G			
Specific calculated energy use: kWh/m ² a	XY	X		
energy delivered: GJ	XY	X		
Energy used by:				
Heating	Cooling	Ventilation	DHW	Lighting
XY%	XY%	XY%	XY%	XY%
Certificate validity:		DD.MM.YYYY		
Certificate made by:		Name Surname		
		Licence No. XY		

6.1. Задачі розрахунку



Карта - схема температурних зон України

6.1. Задачі розрахунку

Вимоги до енергопотреби будівель

ДБН В.2.6-31:2016

Таблиця 1 – Нормативна максимальна питома енергопотреба для житлових та громадських будівель EP_{max}

Ч.ч.	Призначення будівлі	Значення EP_{max} , кВт·год/м ² [кВт·год/м ³], для температурної зони України	
		I	II
1	2	3	4
1	Житлові будинки поверховістю:		
	від 1 до 3	120	110
	від 4 до 9	83	81
	від 10 до 16	77	75
	17 і більше	70	68
2	Громадські будівлі та споруди поверховістю:		
	від 1 до 3	$[20 \Lambda_{bc} + 31]$	$[19,4 \Lambda_{bc} + 33]$
	від 4 до 9	[38]	[40]
	від 10 до 24	[37]	[39]
	25 і більше	[34]	[36]
3	Підприємства торгівлі	$[28 \Lambda_{bc} + 17]$	$[32 \Lambda_{bc} + 18]$
4	Готелі		
	від 1 до 3	110	100
	від 4 до 9	75	70
	10 і більше	65	60
5	Будинки та споруди навчальних закладів [28]	[30]	
6	Будинки та споруди дитячих дошкільних закладів	[48]	[50]
7	Заклади охорони здоров'я	[48]	[50]

Примітка. Λ_{bc} – коефіцієнт компактності будівлі, м⁻¹, знаходиться згідно з А.8.

5.3 Для будівель, що підлягають термомодернізації, допускається приймати збільшені значення максимальної річної питої енергопотреби з коефіцієнтом 1-1,25 до EP_{max} .

КАРТА-СХЕМА ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗОН УКРАЇНИ



6.1. Задачі розрахунку

Класифікація будинків, за ступенем енергоефективності згідно ДБН В 2.6-31:2016

ДБН В.2.6-31:2016

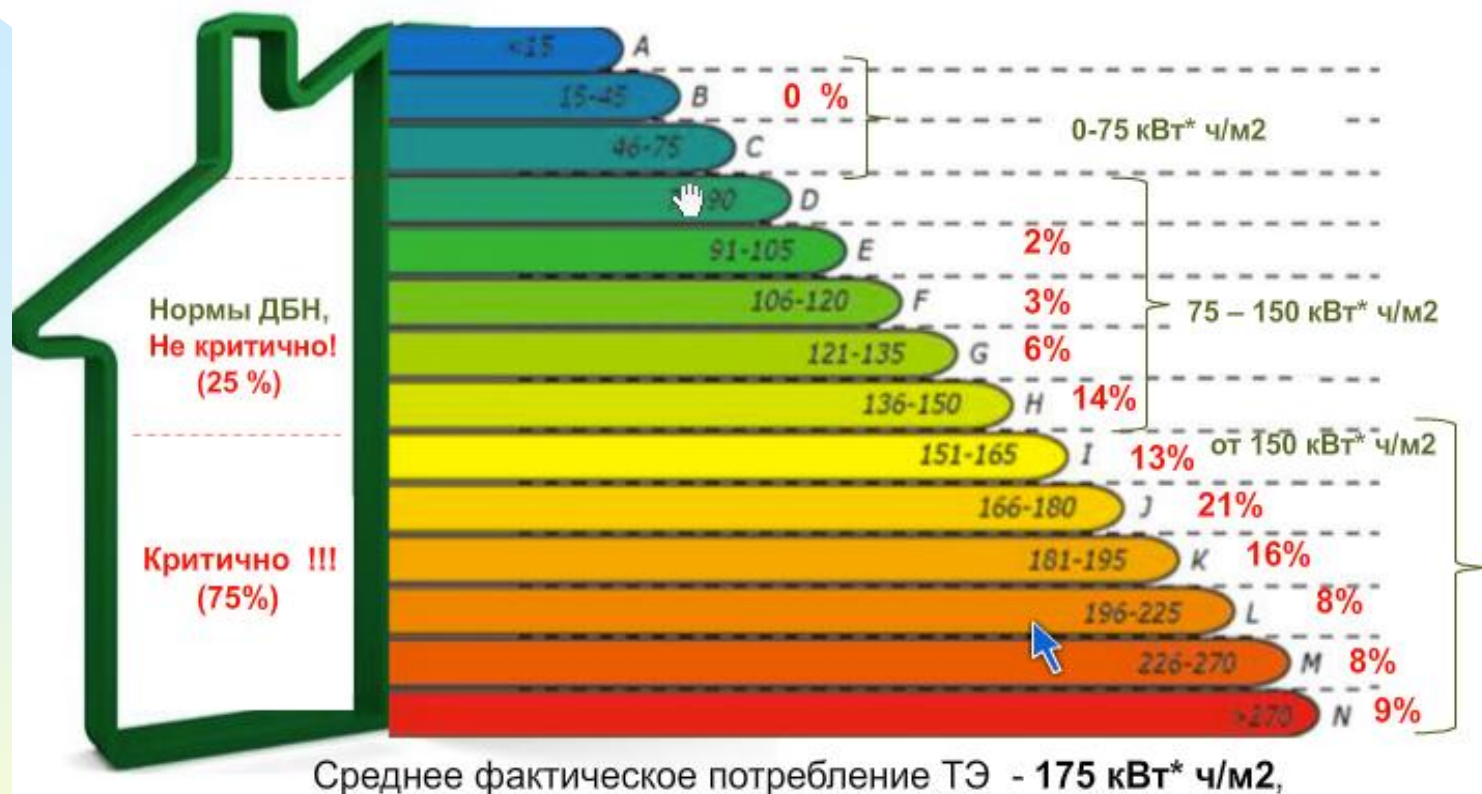
5.4 Клас енергетичної ефективності встановлюють відповідно до положень таблиці 2 та 1.

Таблиця 2 – Класифікація будинків за енергетичною ефективністю

Класи енергетичної ефективності будинку за питомою енергопотребою	Різниця в % розрахункового або фактичного значення питомої енергопотреби EP від максимально допустимого значення EP_{max} , $[(EP - EP_{vax})/EP_{max}] \cdot 100 \%$
A	Мінус 50 та менше
B	Від мінус 49 до мінус 10
C	Від мінус 9 до 0
D	Від 1 до 25
E	Від 26 до 50
F	Від 51 до 75
G	76 та більше

6.1. Задачі розрахунку

Класифікація будинків, за ступенем енергоефективності



Середнє споживання

в Україні – **260** $\text{кВт}^* \text{год/м}^2$

в ЄС – **90 - 120** $\text{кВт}^* \text{год/м}^2$

Будівлі за рівнем споживання енергії (2014 р.)

6.1. Задачі розрахунку

Клас енергетичної ефективності будь-якого обладнання повинен бути не нижче, ніж клас енергоефективності будівлі!

6.1. Задачі розрахунку

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

$$A_{\tau_{\text{В}}} \leq 2,5$$

$$A_{t_{\text{В}}} \leq 1,5$$

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

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

Вимоги теплової надійності

$$T_{\text{В min}} > T_{\text{min}}$$

$$G^{\text{К}} \leq G_{\text{Н}}^{\text{К}}$$

$$\Delta w \leq \Delta w_{\text{Д}}$$

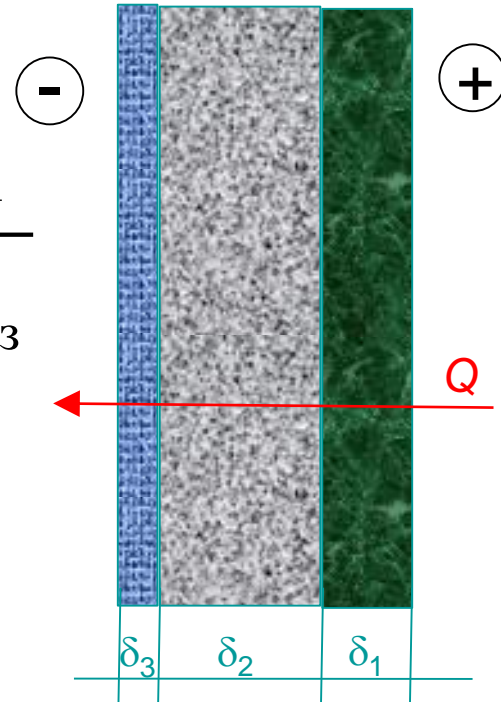
5.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

Опір теплопередачі – величина, що визначає здатність конструкції чинити опір тепловому потоку, що через неї проходить – R [м²·К·Вт]

Для однорідних огороджувальних конструкцій:

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

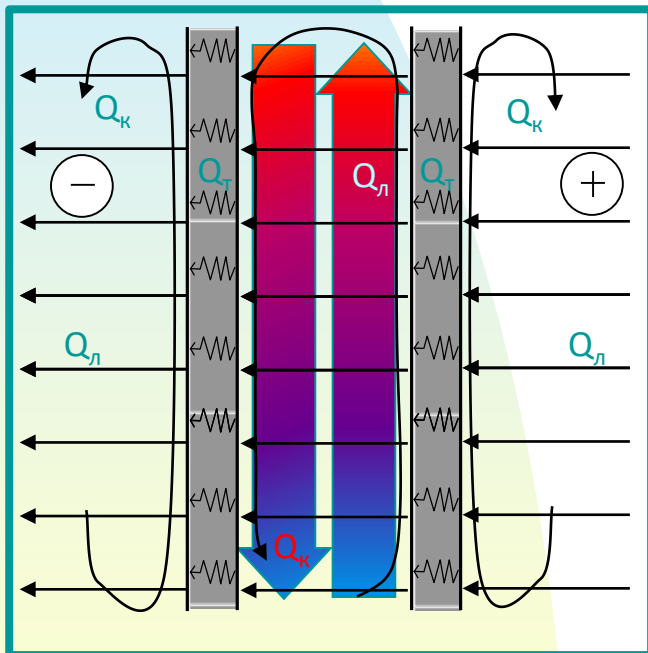
Тип конструкції	Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² ·К)	
	α_2	α_3
Зовнішні стіни, дахи, покриття, перекриття над проїздами плоскі та з ребрами при відношенні висоти ребра h до відстані між гранями b сусідніх ребер $h/b \leq 0,3$	8,7	23
	$h/b > 0,3$	23
Перекриття горищ та холодних підвалів		12
Перекриття 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



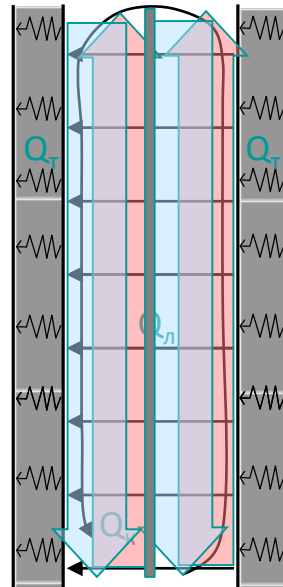
Термічний опір замкнених повітряних прошарків визначається за відповідними таблицями, в залежності від їх товщини, температури та розташування

6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

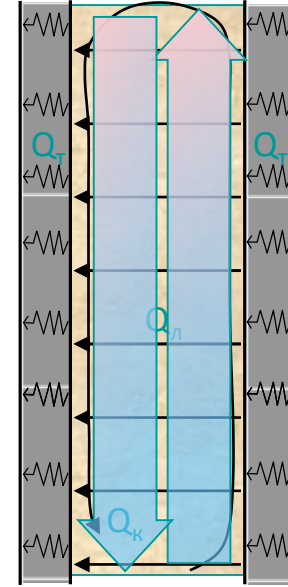
6.2.1. Особливості теплофізичних процесів у замкнених прошарках



Зменшення товщини прошарків

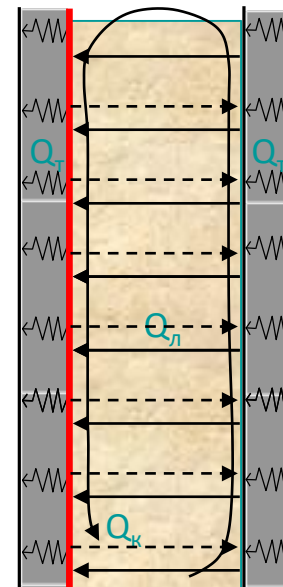


Заповнення прошарків важкими газами



$-$

$+$



Влаштування теплового дзеркала

6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.1. 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

6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.1. 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

6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

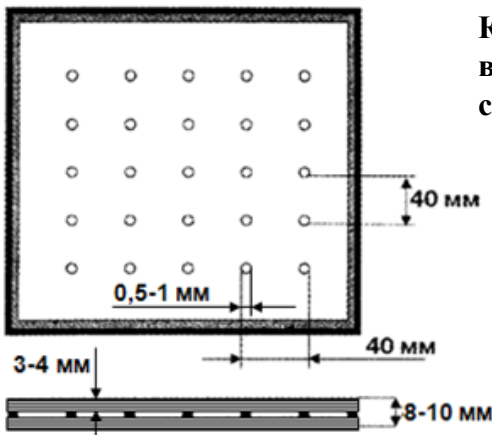
6.2.1 Особливості теплофізичних процесів у світлопрозорих конструкціях

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

Газ	Густина ρ , кг/м ³	Теплопровідність λ , Вт/(м·°С)	Динамічна в'язкість μ , 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 ρ , кг/м ³	Теплопровідність λ , 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

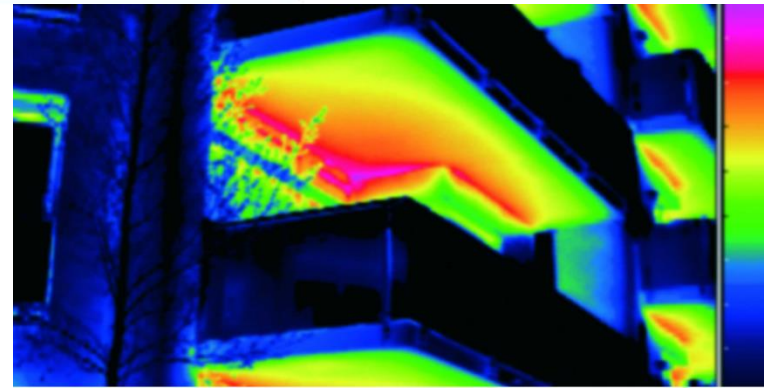
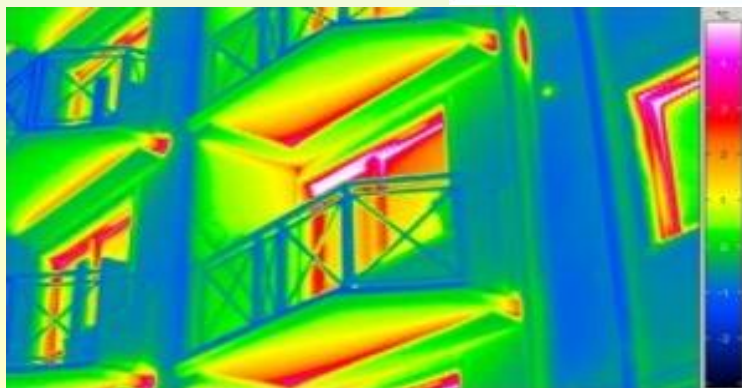
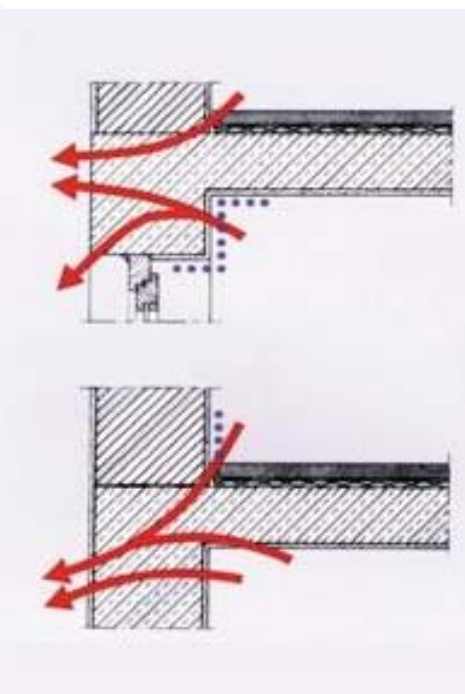
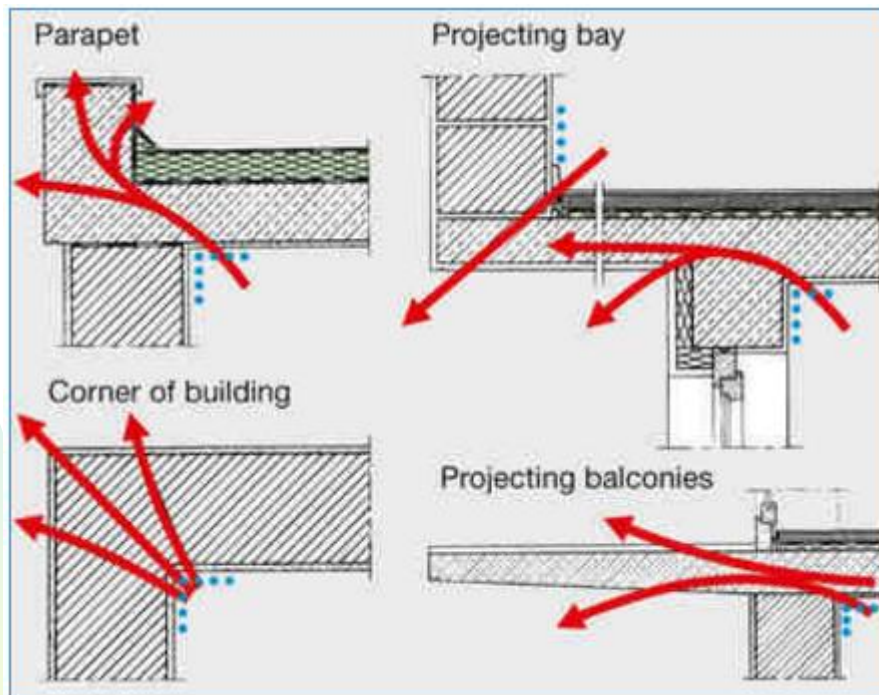
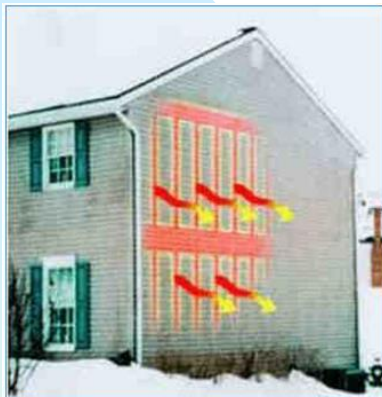


Конструкція вакуумного склопакета

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

6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій



6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. 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

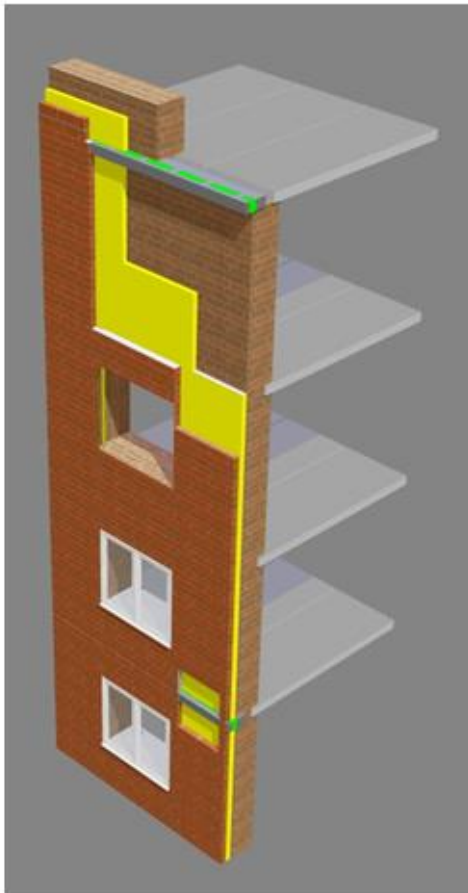


Схема конструкції при збірному перекритті

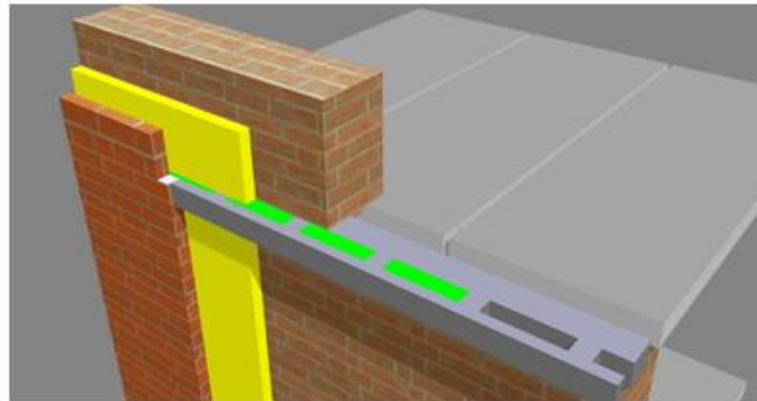
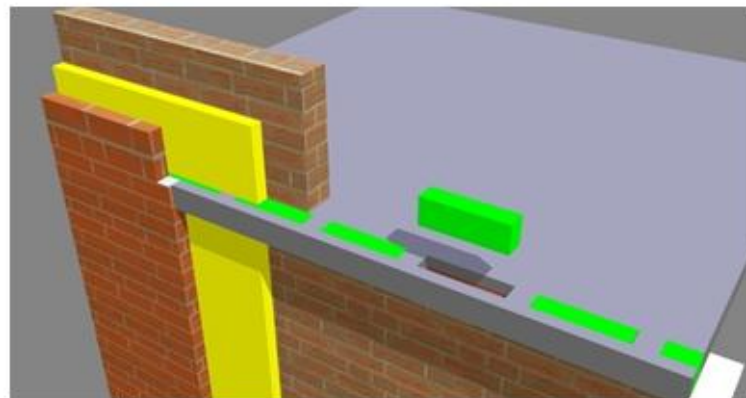


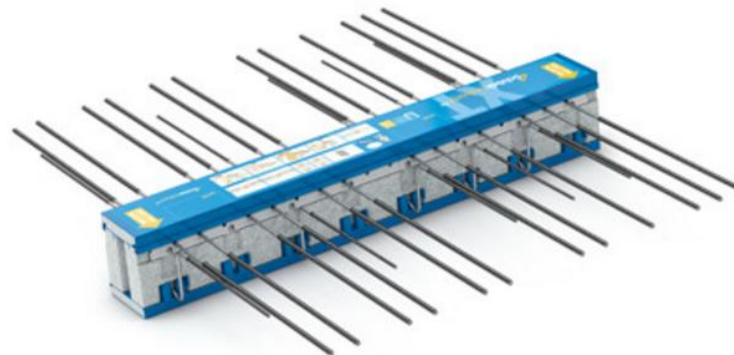
Схема конструкції при монолітному перекритті



6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

Зменшення кількості та впливу мостиків холоду



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

6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій



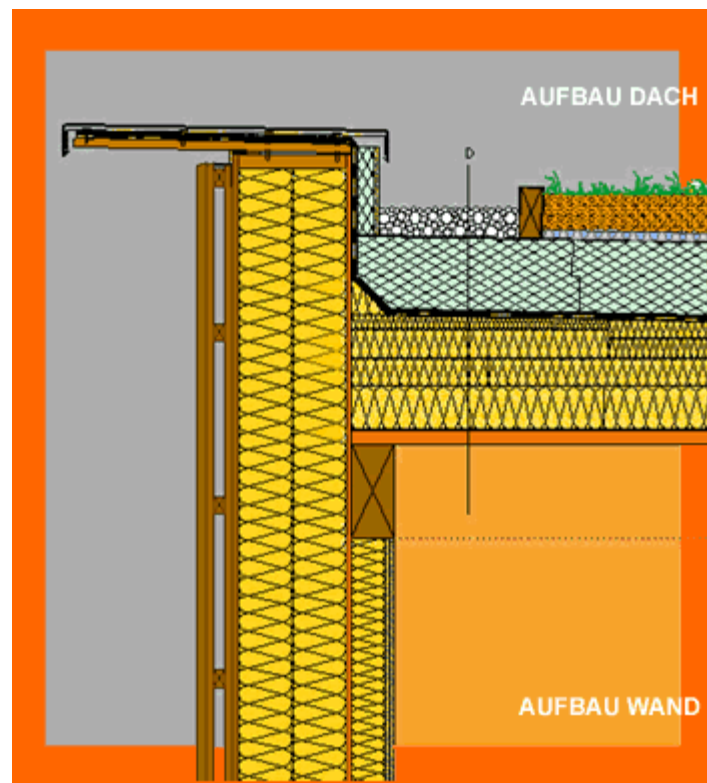
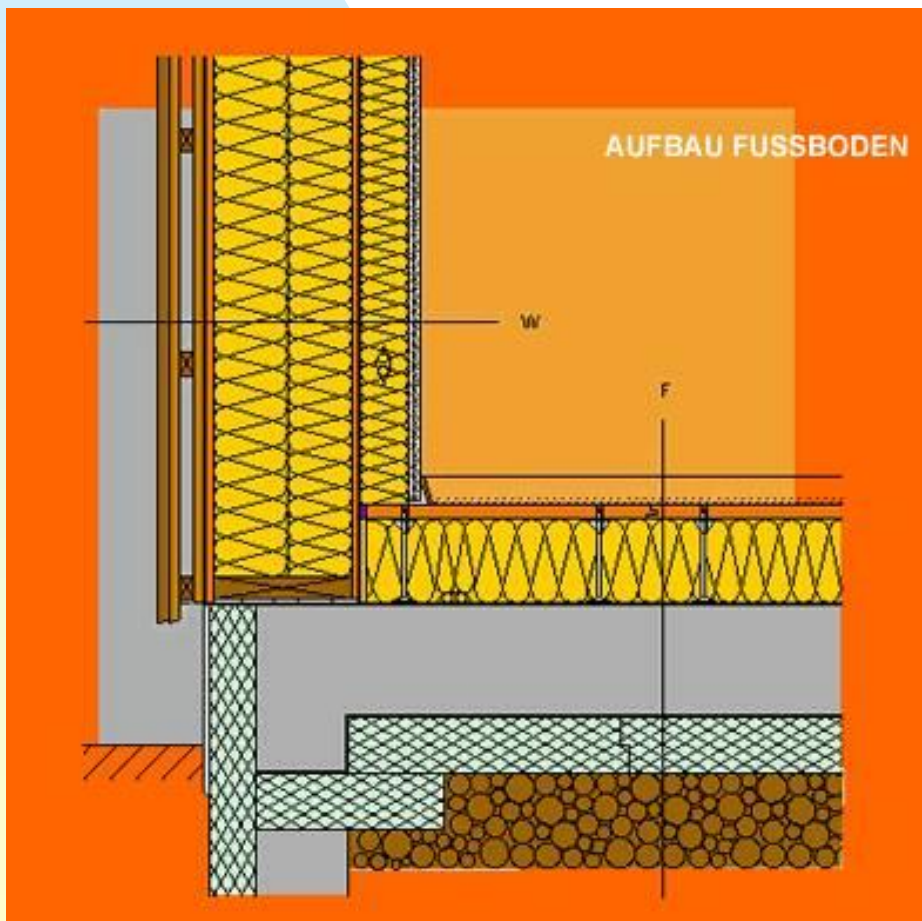
Деталі теплової ізоляції
без містків холоду



6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

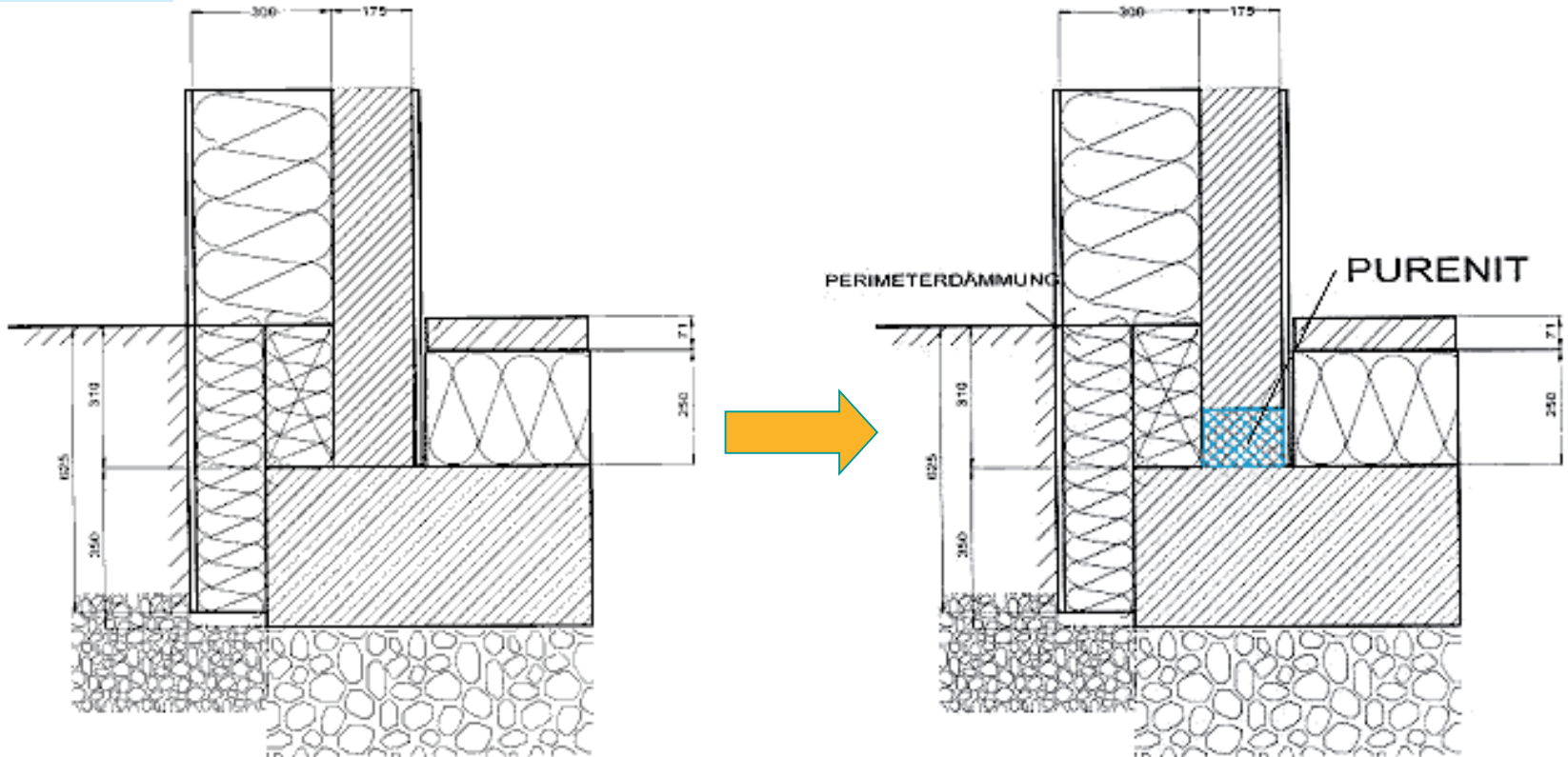
Приклади конструктивного вирішення ізоляції підлоги і даху



6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

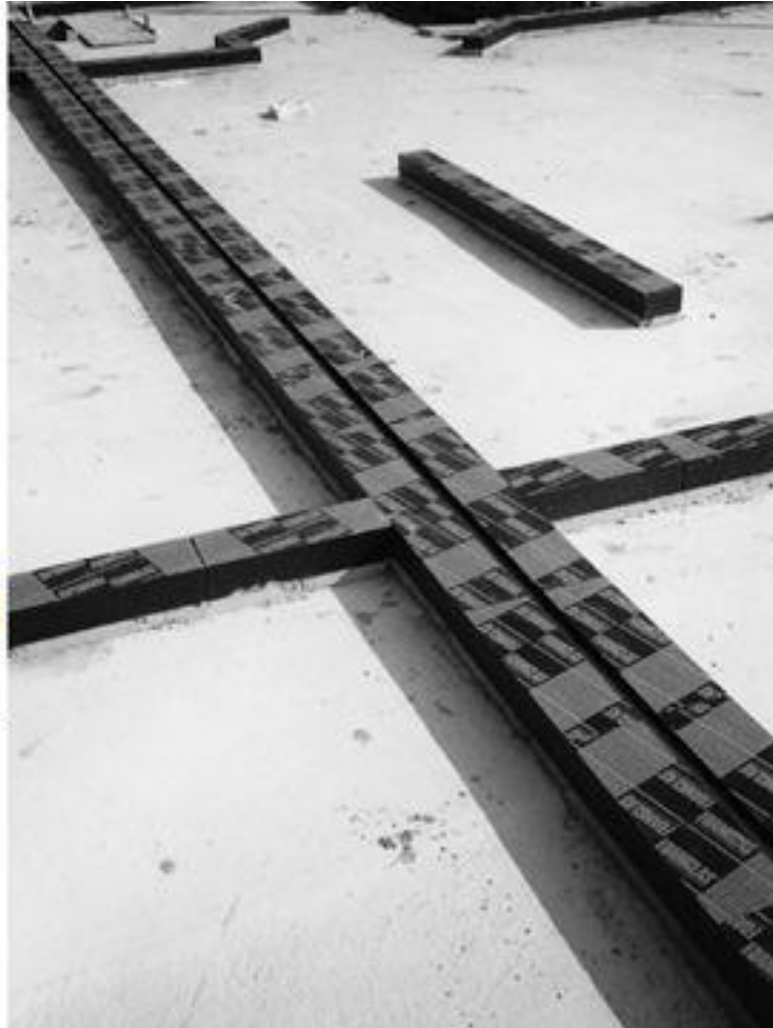
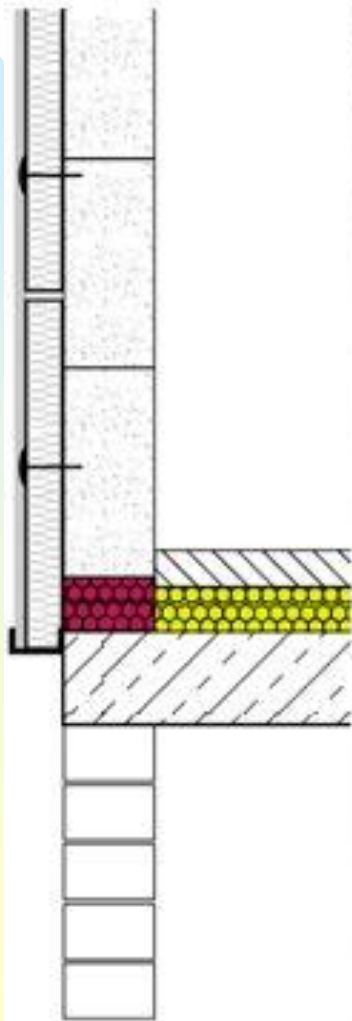
Використання піноскла для ліквідації містка холоду



6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

Використання піноскла для ліквідації містка холоду



6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

Приставні балкони



6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

Якщо непрозора огорожувальна конструкція *термічно неоднорідна*, то визначається її приведений опір теплопередачі $R_{\Sigma \text{ пр}}$, м²·К/Вт, за формулою

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{j=1}^m \frac{F_j}{\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_j + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}}}}$$

де $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{з}}$ – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь

R_j – термічний опір j -ї термічно однорідної зони, що визначається експериментально або розрахунком двовимірного (тривимірного) температурного поля, м²·К/Вт;

F_j – площа j -ї термічно однорідної зони, м²;

F_{Σ} – площа огорожувальної конструкції, м²;

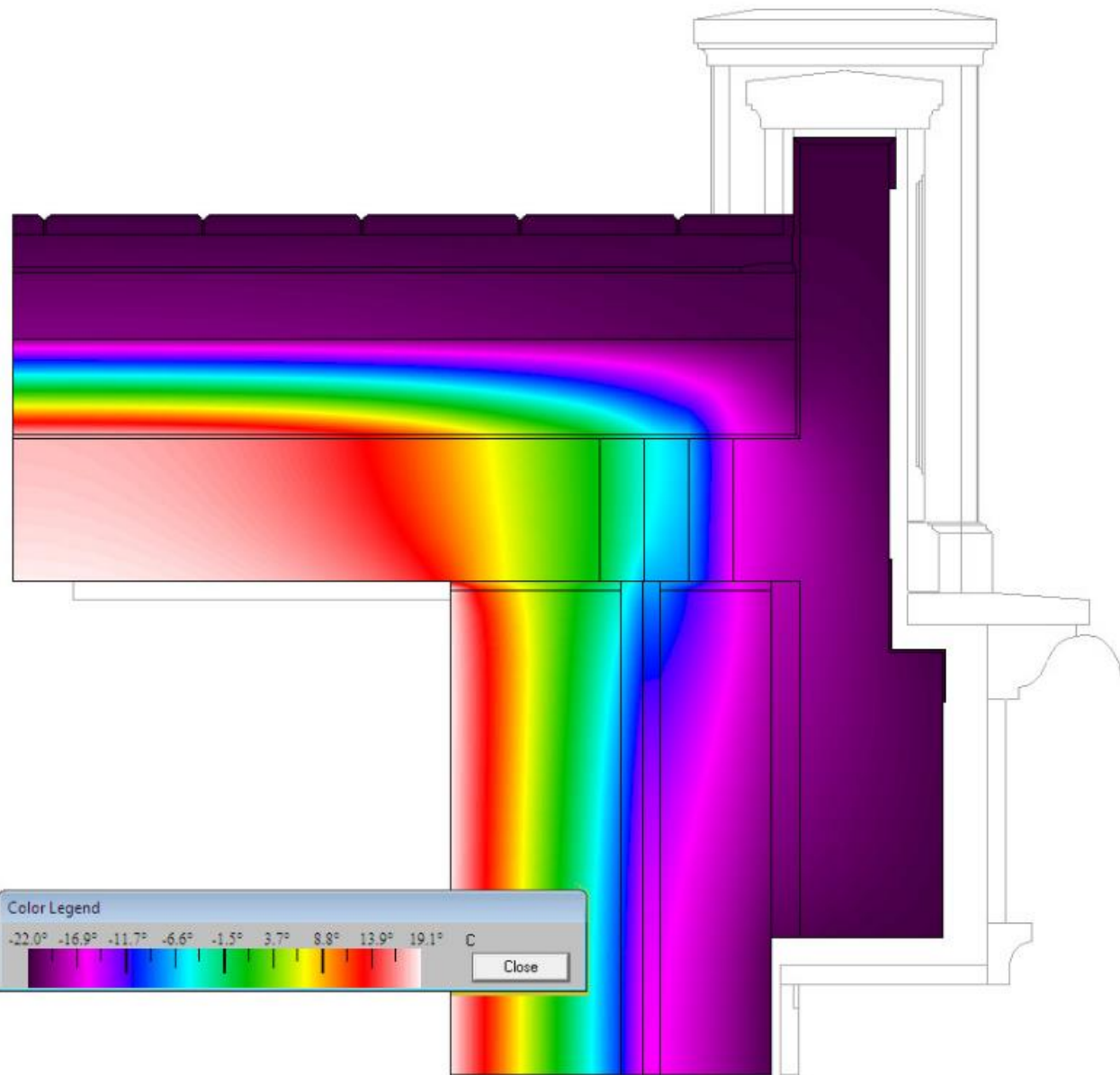
m – кількість однорідних зон у конструкції.

Програми: Term, ANSYS, SolidWorks, DesignSpace, ELCUT, Heat2, Heat3 та ін.

6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

THERM

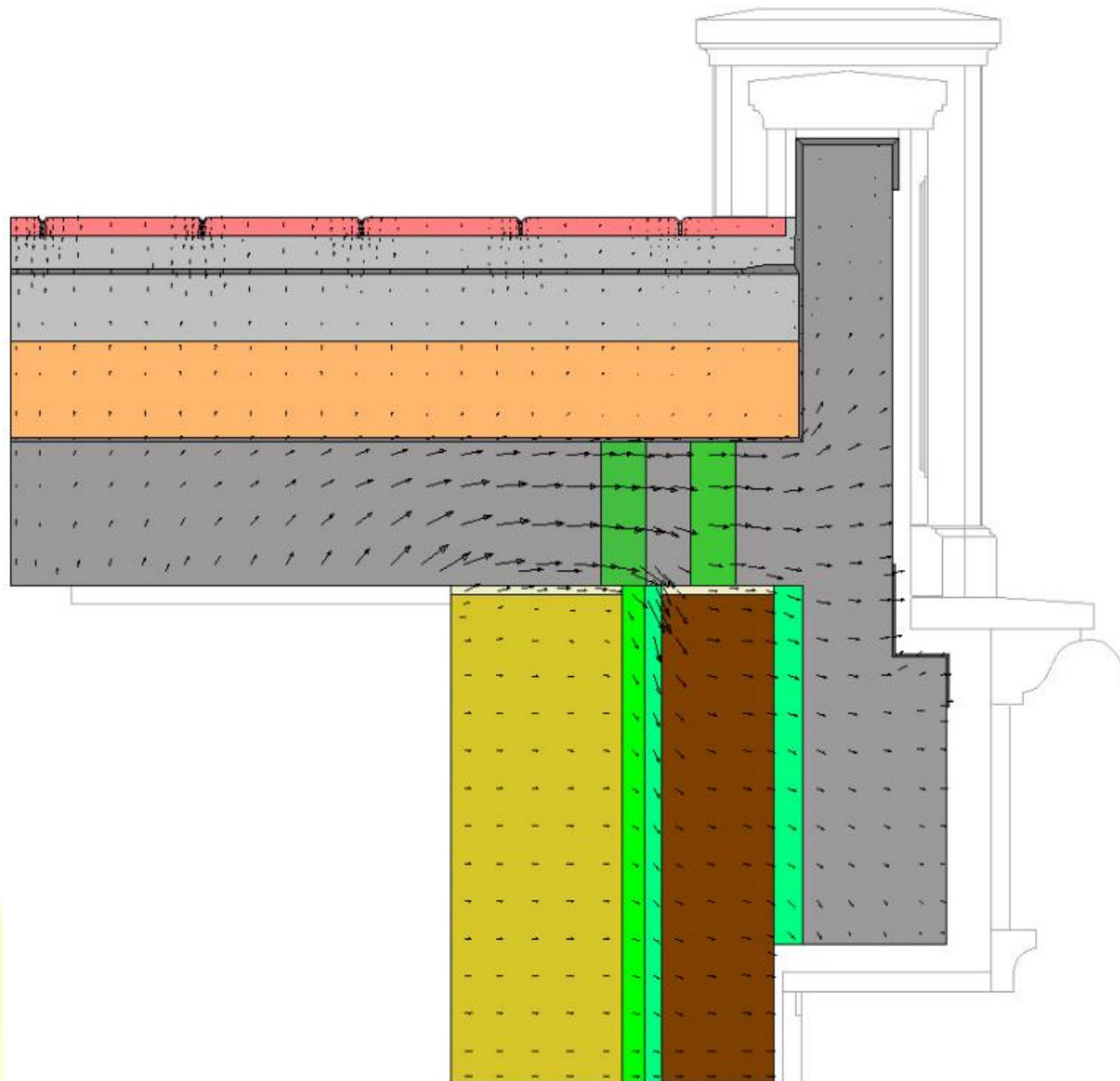


Термограма

6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

THERM

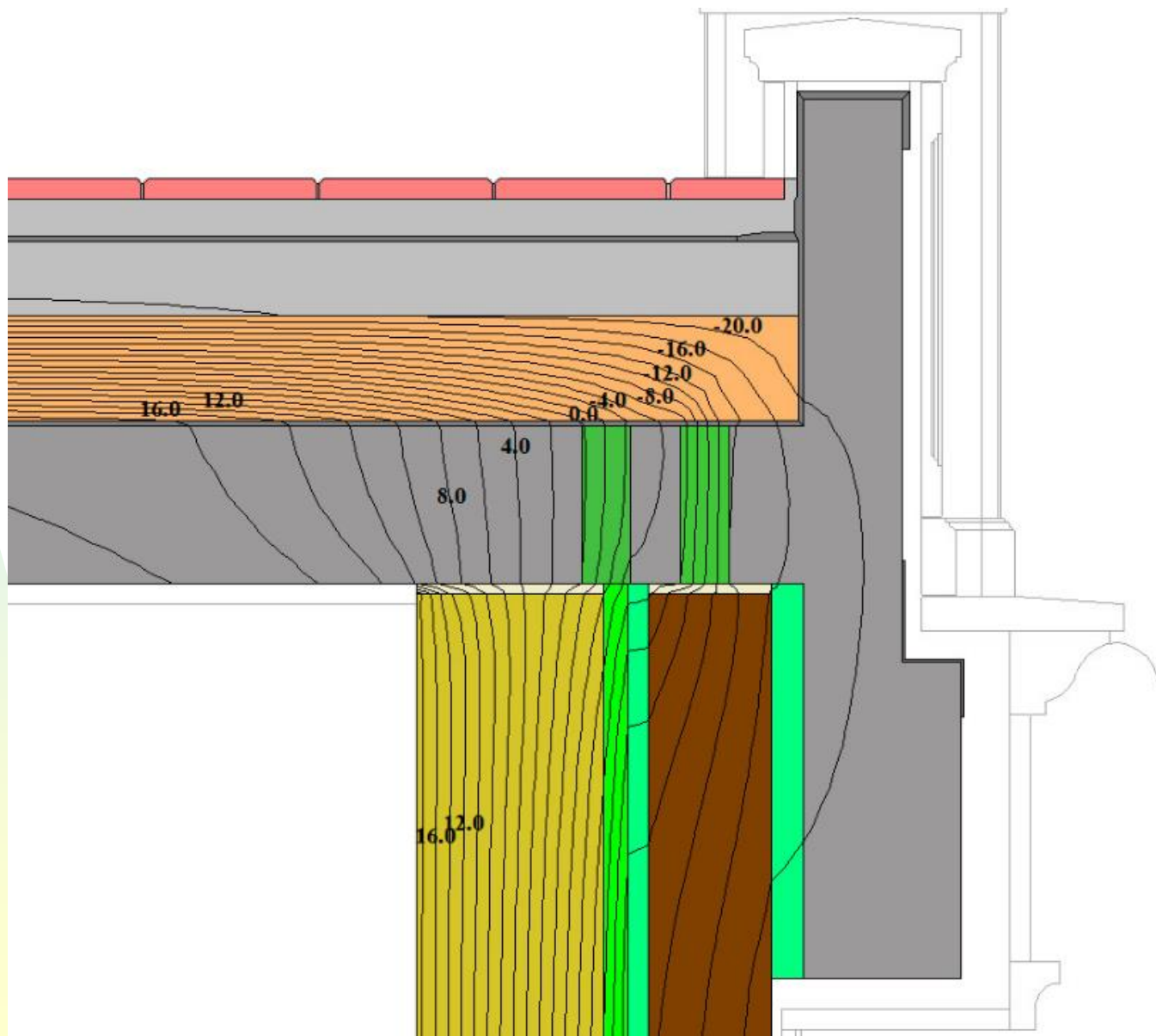


Теплові потоки

6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

THERM

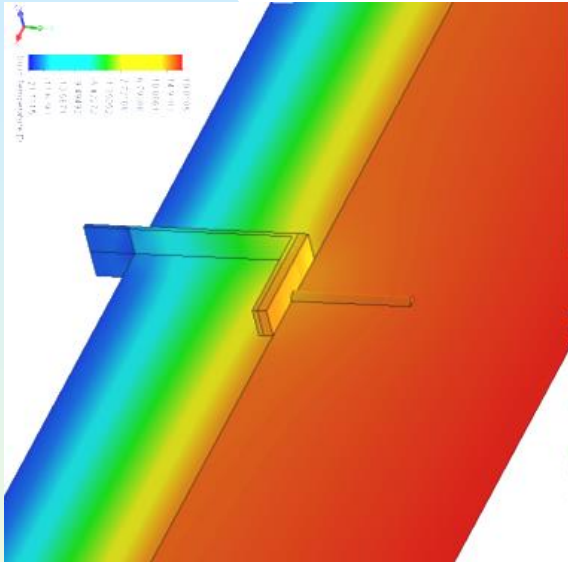


Ізотерми

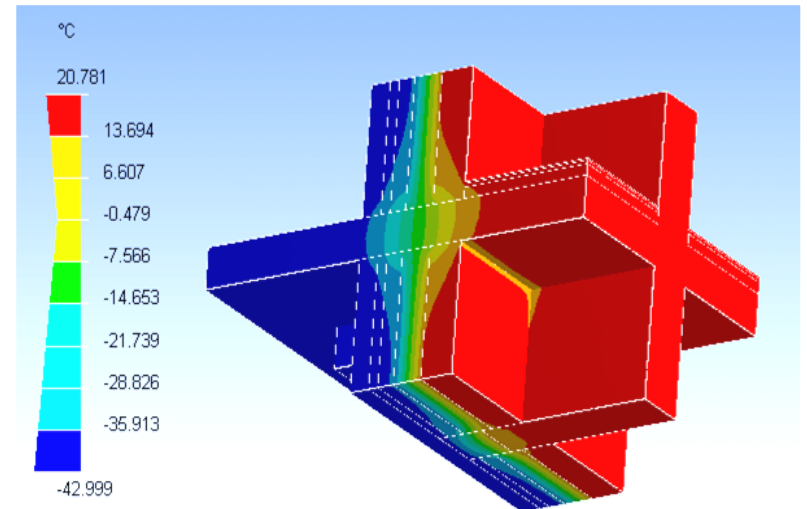
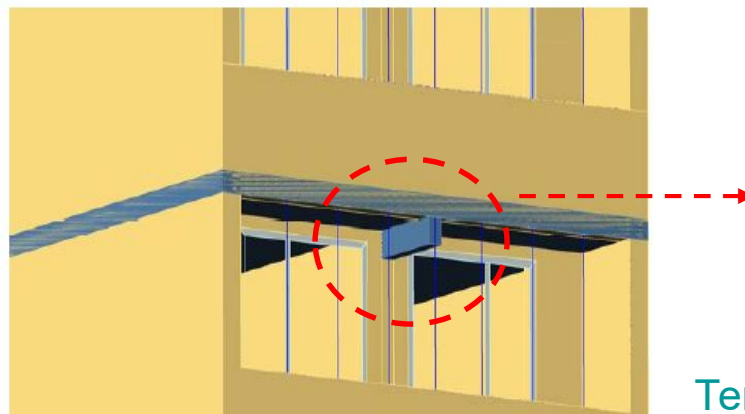
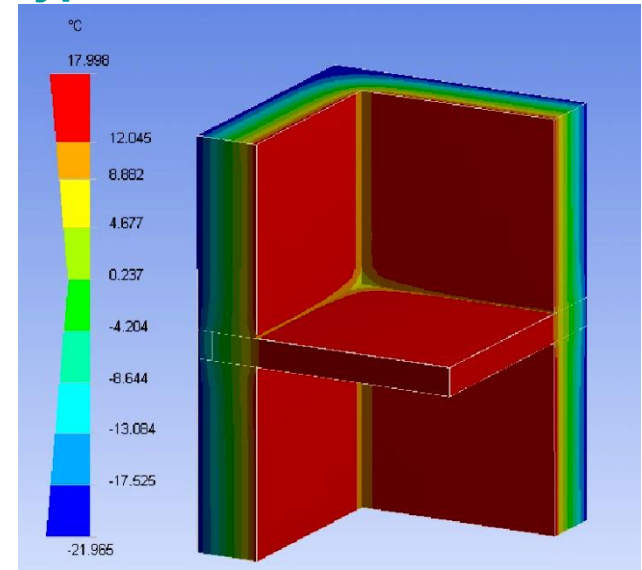
6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій Моделювання тривимірного температурного поля

Температурне поле вузла у зоні кронштейна



Температурне поле кута



Температурне поле примикання балки до колони

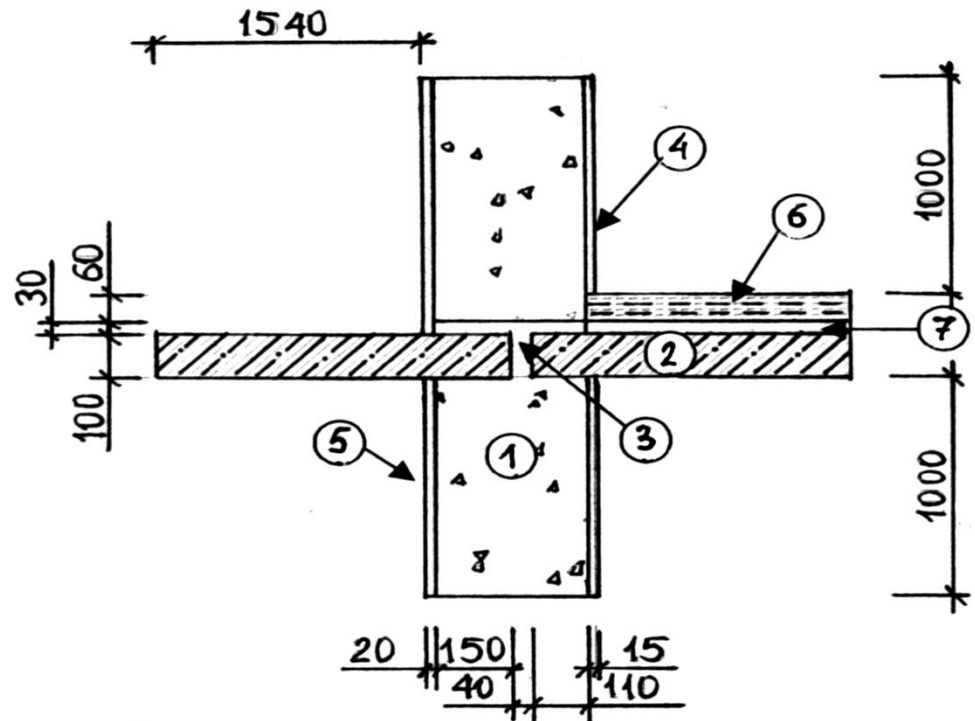
6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

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



$$k = 0,44 \text{ Вт/(м·К)}$$

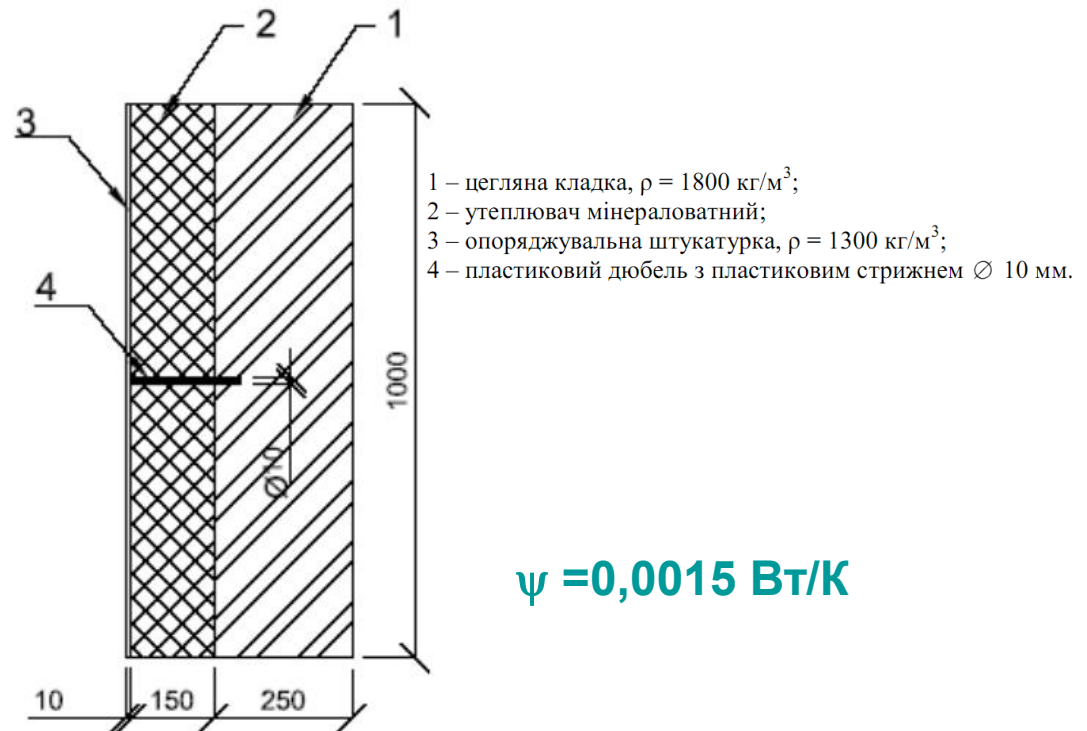
6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.2. Розрахунок термічно неоднорідних конструкцій

Точковий коефіцієнт теплопередачі – коефіцієнт теплопередачі термічно неоднорідної огороджувальної 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



6.2. Основи розрахунку опору теплопередачі

6.2.3. 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 ² ·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 ³)	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 ³)	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 ³)	0,6 0,75 0,2	0,55 0,70 0,2
Вікна й Zenітні ліхтарі будинків: - із сухим і нормальним режимом - з вологим і мокрим режимом - з надлишками тепла (більше ніж 23 Вт/м ³)	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 ² ·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, м²·К/Вт; s_i – розрахункові коефіцієнт теплозасвоєння матеріалу i -го шару, Вт/(м²·К).

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