

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Інженерних систем та екології

(факультет)

Теплотехніки

(назва випускової кафедри)

**КРЕСЛЕННЯ ДО КВАЛІФІКАЦІНОЇ РОБОТИ НА ЗДОБУТТЯ  
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

на тему:

Вплив теплопровідних включень

на приведений опір теплоізоляційної оболонки будівлі

Загорський Артем Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові здобувача повністю)

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Інженерних систем та екології

(факультет)

Теплотехніки

(назва випускової кафедри)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Кириченко М.А.

„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**КРЕСЛЕННЯ ДО КВАЛІФІКАЦІНОЇ РОБОТИ НА ЗДОБУТТЯ  
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

Вплив теплопровідних включень

на приведений опір теплоізоляційної оболонки будівлі

(назва)

Виконав Загорський Артем Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

192 Будівництво та цивільна інженерія

(спеціальність)

Теплогазопостачання та вентиляція

(освітня програма)

Група ТВМ-24-1

Керівник Погосов О.Г.

(прізвище та ініціали)

ДОЦЕНТ, К.Т.Н

(вчене звання, науковий ступінь)

Київ 2025 р.

```
// Програми код для Scilab 2025.1.0
// Моделювання двовимірного стаціонарного поля температур у підлозі по ґрунту з
утепленням
// Використовується метод скінченних різниць з ітераційним розв'язком (SOR - Successive
Over-Relaxation) для рівняння  $\nabla^2 T = 0$ 
// Координати: x - горизонтальний (від 0 до X_max), z - вертикальний вниз (від 0 до Z_max)
// Симетрія по x=0, плита від x=0 до X1/2=5 м
```

```
// Параметри моделі (в метрах, Вт/(м·К), °C)
X1 = 10; // Ширина плити (X1/2 = 5 м для симетрії)
X2 = 10; // Довжина плити в перпендикулярному напрямку, м
X_max = 20; // Максимальна горизонтальна відстань
Z_max = 10; // Максимальна глибина
Dbet = 0.1; // Товщина бетонної плити
Dins = 0.1; // Товщина утеплювача
lambda_bet = 2.04; // Теплопровідність бетону
lambda_ins = 0.035; // Теплопровідність пінополіуретану
lambda_soil = 2.0; // Теплопровідність ґрунту
Tin = 20; // Температура всередині
Tout = -22; // Температура поверхні ґрунту
T_deep = 10; // Температура ґрунту на максимальній глибині
```

```
// Сітка (uniform, dx = dz для простоти)
dx = 0.1; // Крок сітки (компроміс між точністю та швидкістю)
dz = dx;
nx = round(X_max / dx) + 1;
nz = round(Z_max / dz) + 1;
x = (0:nx-1) * dx; // Вектор x
z = (0:nz-1) * dz; // Вектор z
```

```
// Індекси
idx_half = round(5 / dx) + 1; // Індекс для x <= 5 м (X1/2)
idx_dbet = round(Dbet / dz) + 1; // Індекс для z <= Dbet
idx_dins = round(Dins / dz); // Товщина утеплення в кроках
```

```
// Варіювання ширини ізоляції
Lins_values = 0:0.5:1; // Від 0 до 1 м з кроком 0.1 м
num_lins = length(Lins_values);
Q_values = zeros(num_lins, 1);
```

```
// Ітераційні параметри (спільні)
epsilon = 1e-2; // Поріг збіжності
max_iter = 10000; // Максимальна кількість ітерацій
omega = 1.8; // Фактор надрелаксації для SOR
eps = 1e-10;
// Цикл по різним Lins
for k = 1:num_lins
    Lins = Lins_values(k);
    idx_lins = round(Lins / dx); // Ширина утеплення в кроках
```

```
// Матриця теплопровідності lambda (nx, nz)
lambda = lambda_soil * ones(nx, nz);
// Бетонна плита: x <= 5 м, z <= Dbet
for i = 1:idx_half
    for j = 1:idx_dbet
        lambda(i, j) = lambda_bet;
    end
end
```

```
// Утеплювач: (5 - Lins) < x <= 5 м, Dbet < z <= Dbet + Dins
for i = (idx_half - idx_lins + 1):idx_half
    for j = (idx_dbet + 1):(idx_dbet + idx_dins)
        if j <= nz then
            lambda(i, j) = lambda_ins;
        end
    end
end
```

```
// Обчислення інтерфейсних теплопровідностей (harmonic mean)
lambda_x = zeros(nx-1, nz); // λ на інтерфейсах по x
for i = 1:nx-1
    for j = 1:nz
```

```
        lambda_x(i, j) = 2 * lambda(i, j) * lambda(i+1, j) / (lambda(i, j) + lambda(i+1, j) + eps);
    end
end
lambda_z = zeros(nx, nz-1); // λ на інтерфейсах по z
for i = 1:nx
    for j = 1:nz-1
        lambda_z(i, j) = 2 * lambda(i, j) * lambda(i, j+1) / (lambda(i, j) + lambda(i, j+1) + eps);
    end
end
```

```
// Ініціалізація поля температур
T = Tout * ones(nx, nz);
```

```
// Граничні умови (Dirichlet)
T(1:idx_half, 1) = Tin; // z=0, x<=5 м: Tin
T((idx_half+1):nx, 1) = Tout; // z=0, x>5 м: Tout
T(:, nz) = T_deep; // z=Z_max: T_deep
// Для x=X_max: лінійний профіль від Tout на z=0 до T_deep на z=Z_max
for j = 1:nz
    T(nx, j) = Tout + (T_deep - Tout) * (z(j) / Z_max);
end
```

```
// Ітераційний розв'язок (SOR)
```

```
iter = 0;
error = 1;
while (error > epsilon) & (iter < max_iter)
    T_old = T;
    for j = 2:nz-1
        for i = 1:nx-1
            if i == 1 // Симетрія по x=0
                num = lambda_x(i, j) * T(i+1, j) + lambda_z(i, j-1) * T(i, j-1) + lambda_z(i, j) * T(i, j+1);
                den = lambda_x(i, j) + lambda_z(i, j-1) + lambda_z(i, j);
            else
                num = lambda_x(i-1, j) * T(i-1, j) + lambda_x(i, j) * T(i+1, j) + lambda_z(i, j-1) * T(i, j-1) +
                lambda_z(i, j) * T(i, j+1);
                den = lambda_x(i-1, j) + lambda_x(i, j) + lambda_z(i, j-1) + lambda_z(i, j);
            end
            T_new = num / den;
            T(i, j) = (1 - omega) * T(i, j) + omega * T_new;
        end
    end
    error = max(abs(T - T_old));
    iter = iter + 1;
    if modulo(iter, 100) == 0 then
        disp("Для Lins=" + string(Lins) + ", Ітерація: " + string(iter) + ", Помилка: " + string(error));
    end
end
```

```
disp("Для Lins=" + string(Lins) + ", Збіжність досягнута після " + string(iter) + " ітерацій. Помилка: "
+ string(error));
```

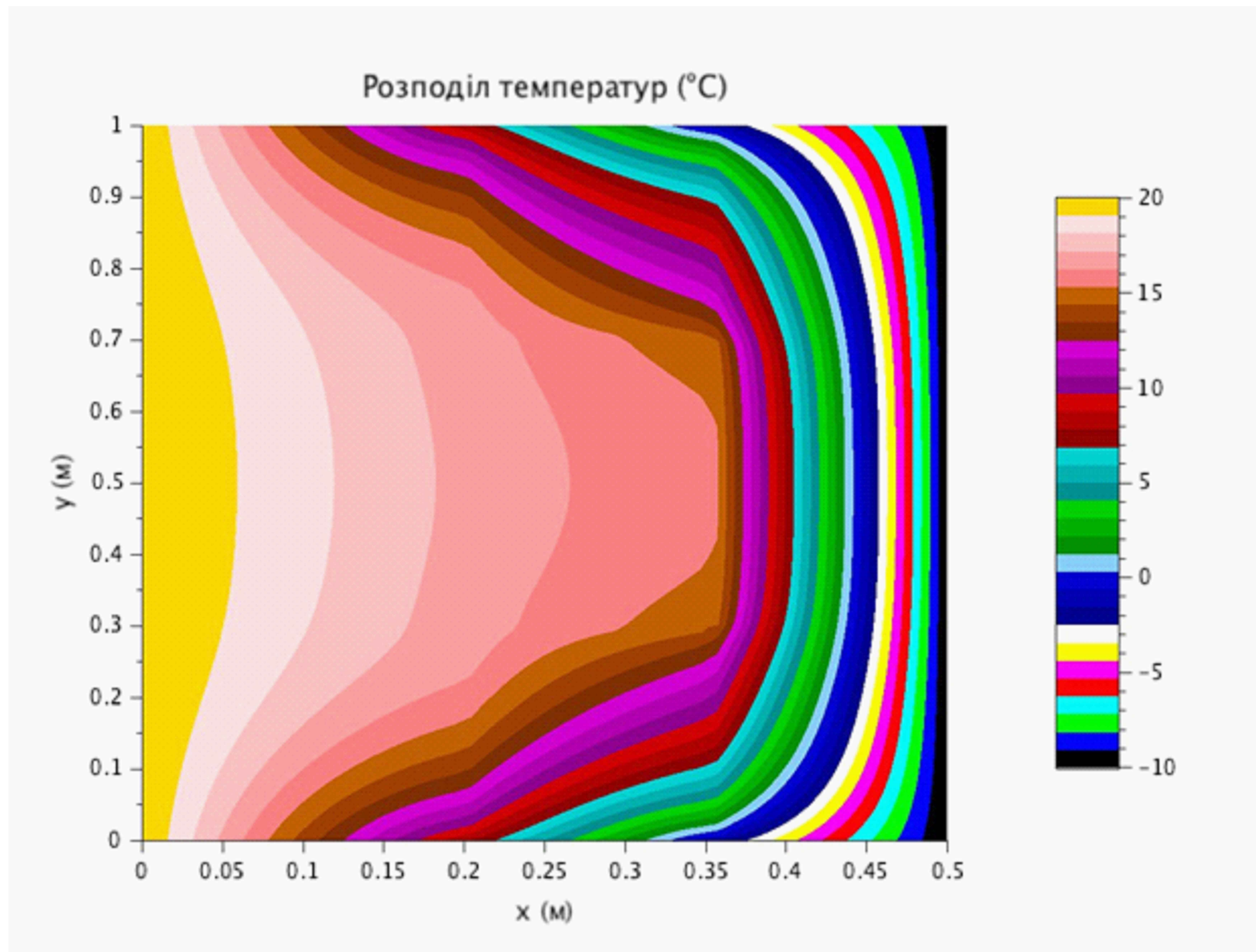
```
// Розрахунок теплового потоку Q
```

```
dTdz = (T(1:idx_half, 2) - T(1:idx_half, 1)) / dz; // Градієнт на z=0 (правильний знак: <0)
q = -lambda_bet * dTdz; // Потік (Вт/м²), >0 для втрат
Q_half = sum(q) * dx; // Інтеграл по половині ширини (Вт/м в y)
Q = 2 * Q_half * X2; // Повний Q для всієї плити (Вт)
Q_values(k) = Q;
disp("Для Lins = " + string(Lins) + " м, Повний тепловий потік Q = " + string(Q) + " Вт");
end
```

```
// Візуалізація поля температур для останнього Lins=1 м
```

```
clf();
f = gcf();
f.color_map = jet(64); // Колірна мапа
grayplot(x, z, T); // Поле температур
colorbar(Tout, Tin); // Колірна шкала
xlabel("x, м");
ylabel("z, м (вниз)");
a = gca();
a.axes_reverse(2) = "on"; // Зворотний напрямок осі z (збільшення вниз)
```

Атестаційна випускна робота					
Вплив теплопровідних включень на приведеній отір теплоізольованої оболонки будівлі					
Зм.	Кільк.	Аркуші	Язак.	Підпис	Дата
Розробив Керівник			Розділ 2 Теоретичне обґрунтування впливу теплопровідних включень		
Загорський			Погосов		
Кириченко			Кириченко		
Програми код для моделі розподілу температур у поперечному перерізі вузла стіна-віконний блок				ТВМ-24-1	

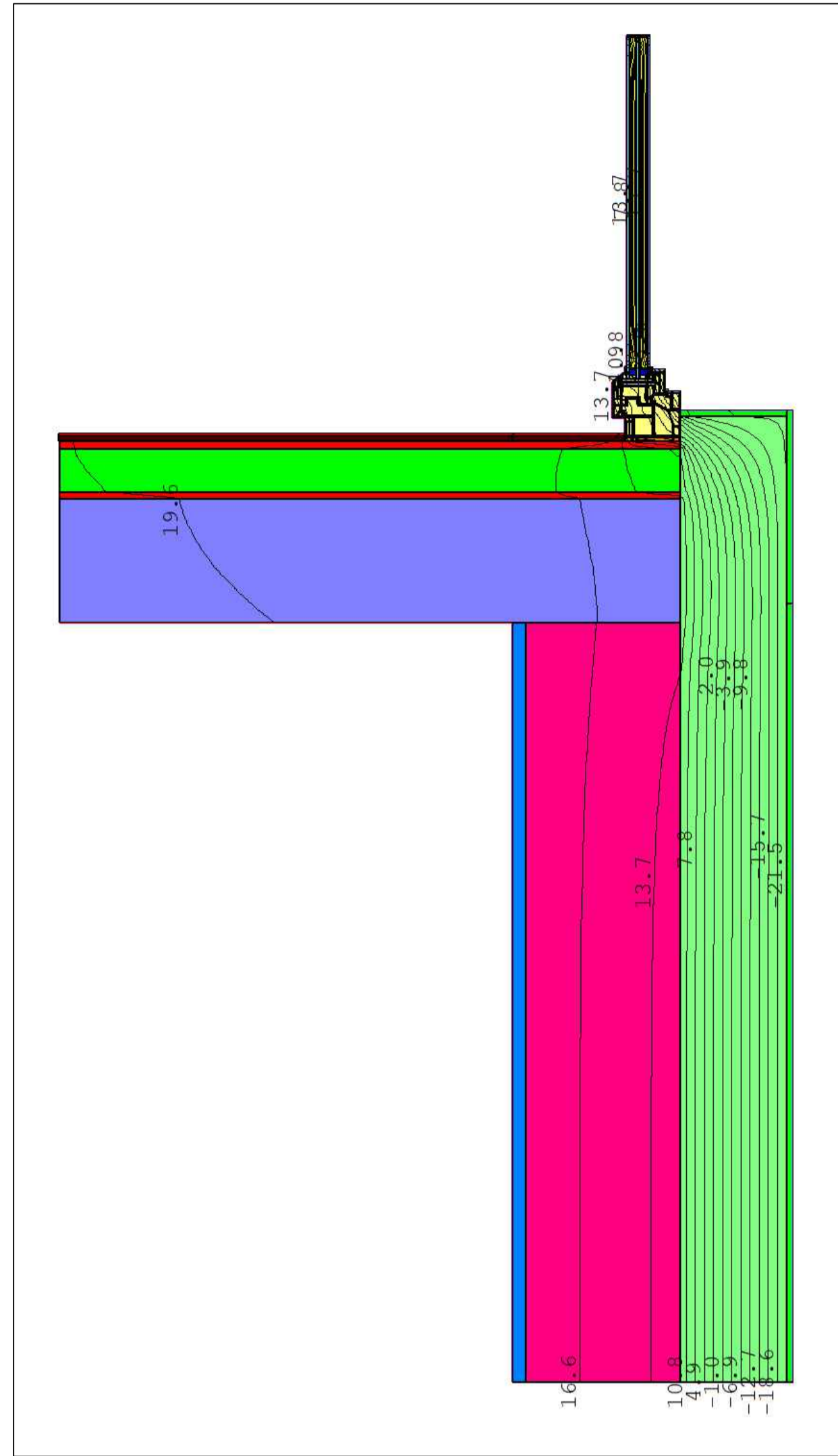


«Розподіл температур у поперечному перерізі вузла стіна-віконний блок»

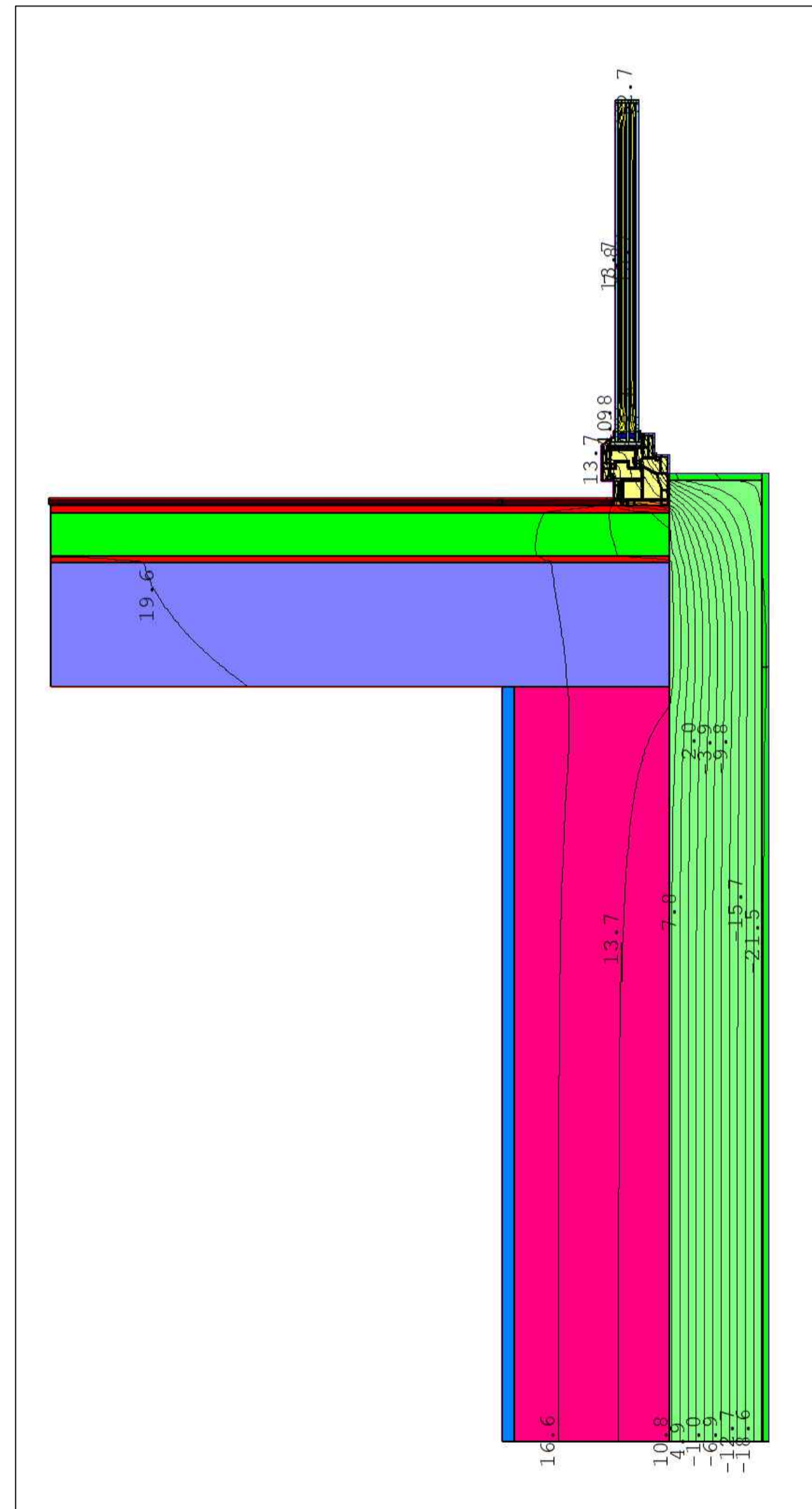
						<i>Атестаційна випускна робота</i>		
						<i>Вплив теплопровідних включень на приведеній отвір теплоізоляційної оболонки будівлі</i>		
Зм.	Кільк.	Аркуш	Жакоз.	Підпис	Дата			
						<i>Розділ 2</i>		
						<i>Теоретичне обґрунтування впливу теплопровідних включень</i>		
						Стадія	Аркуш	Аркушів
						KP	2	11
Розробив Керівник Зав. кафедрою		Загорський Погосов Кириченко				Розподіл температур у поперечному перерізі вузла стіна-віконний блок		
						ТВМ-24-1		



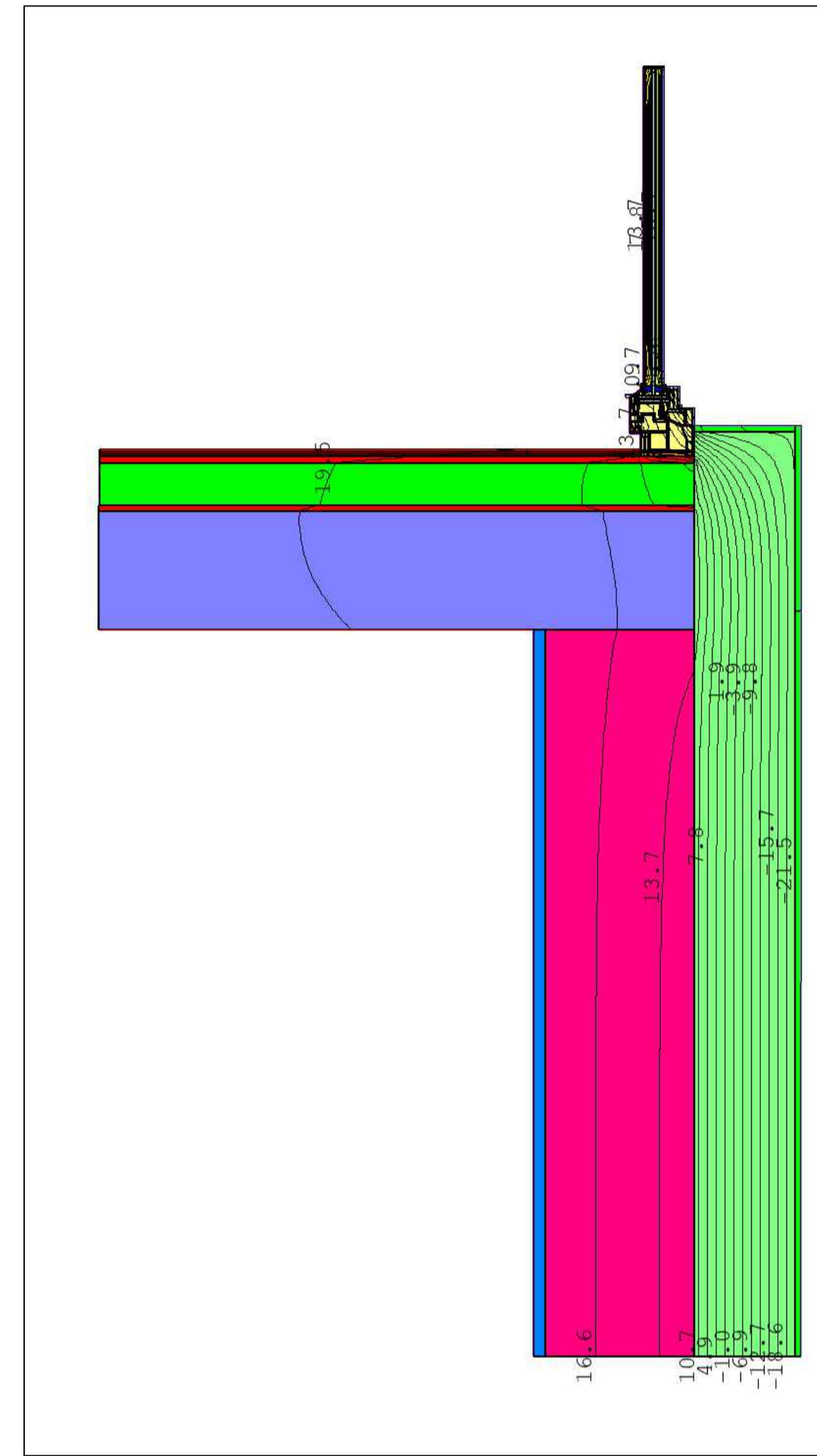
Вузол примикання зовнішньої стіни до міжповерхового перекриття з вікном до полу утепленого Ізоват 170мм



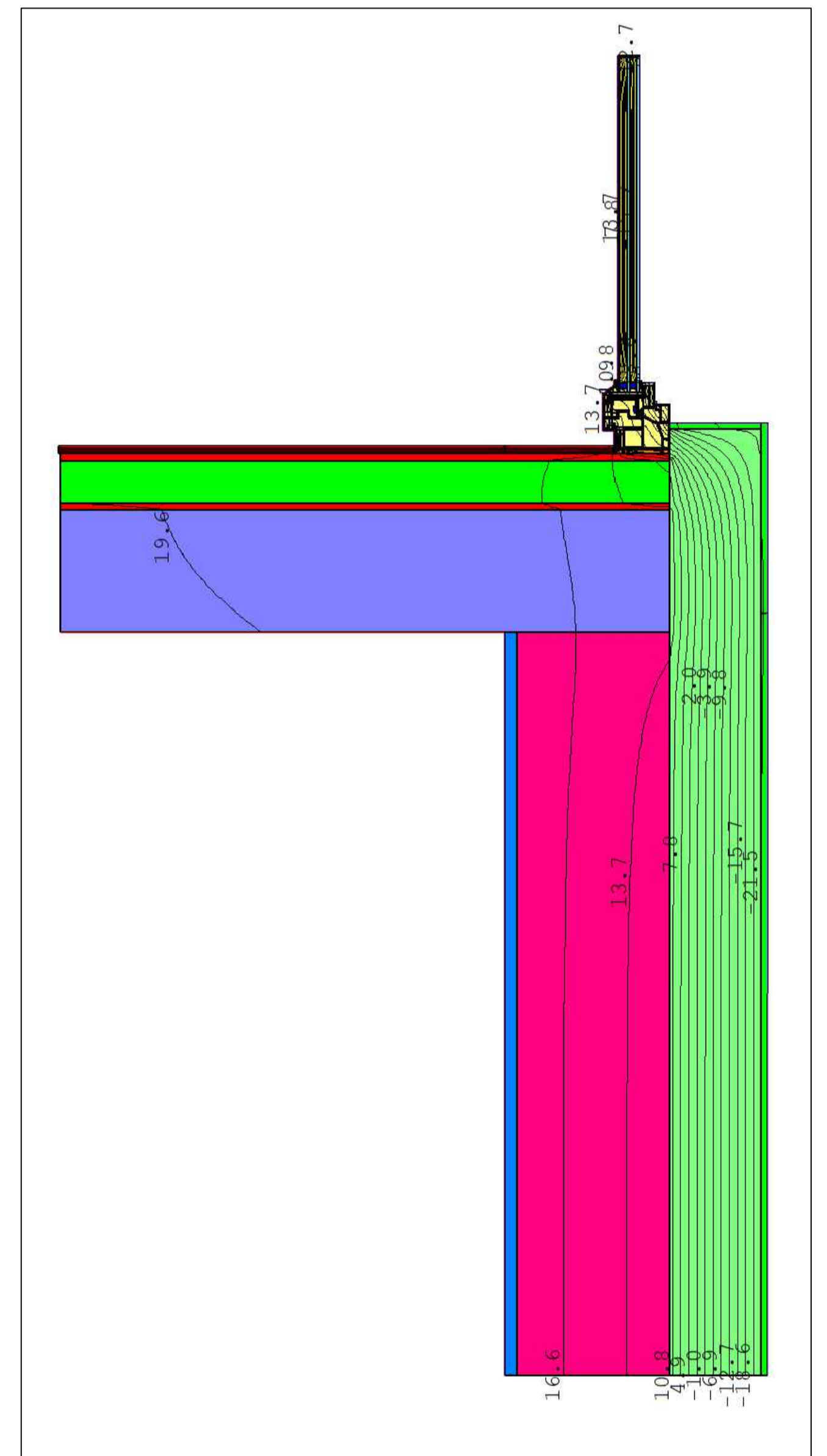
Вузол примикання зовнішньої стіни до міжповерхового перекриття з вікном до полу утепленого Ізоват 150мм



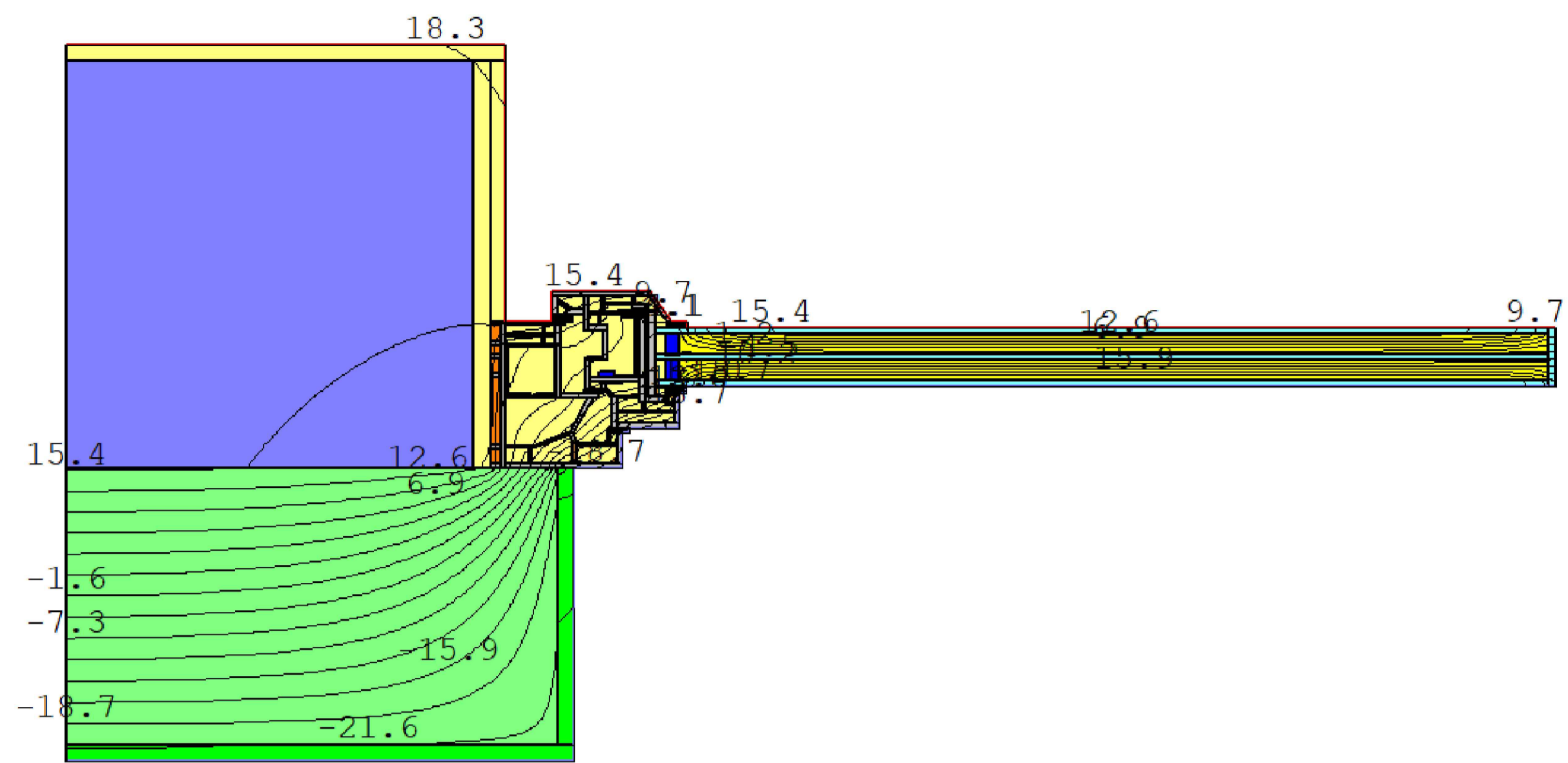
Вузол примикання зовнішньої стіни до міжповерхового перекриття з вікном до полу утепленого Роквул 170мм



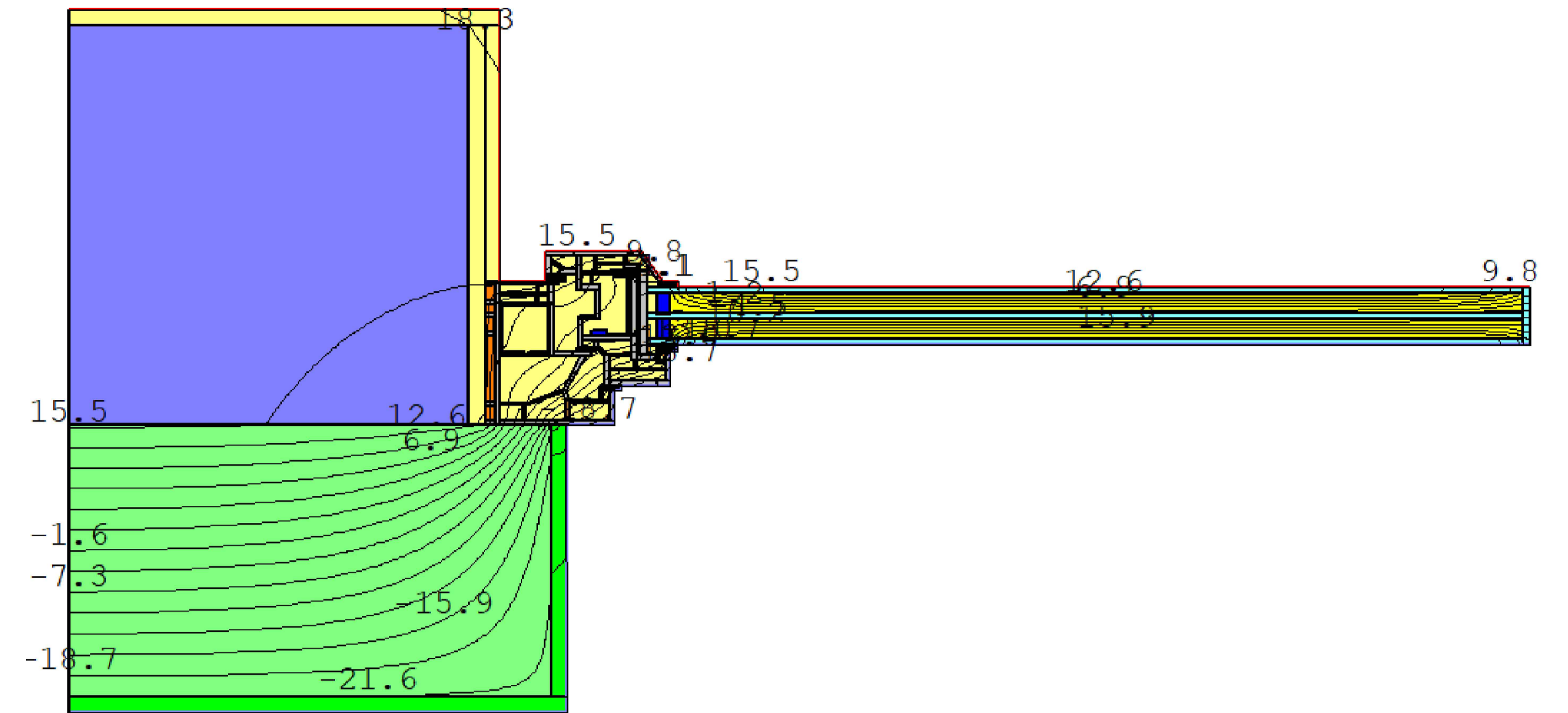
Вузол примикання зовнішньої стіни до міжповерхового перекриття з вікном до полу утепленого Роквул 150мм



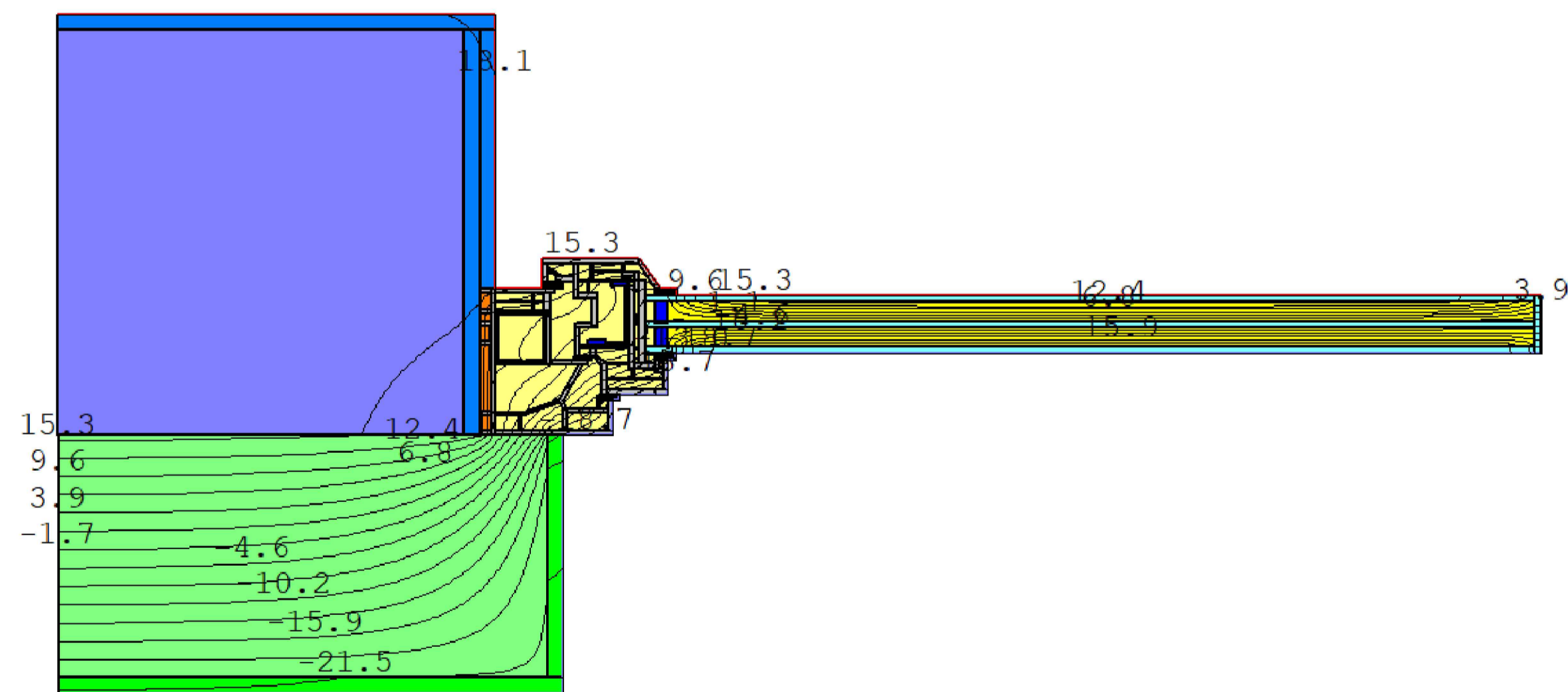
						Атестаційна випускна робота		
						Вплив теплопровідних включень на приєднаний отвір теплоізоляційної оболонки будівлі		
Зм.	Кільк.	Аркуші	Жазок.	Підпис	Дата			
						Розділ 2		
						Теоретичне обґрунтування впливу теплопровідних включень		
						Стадія	Аркуші	Аркушів
						КР	4	11
Розробив	Загорський					Вузли примикання зовнішньої стіни до міжповерхового перекриття з вікном до полу		
Керівник	Погосов					ТВМ-24-1		
Зав. кафедрою	Кириченко							



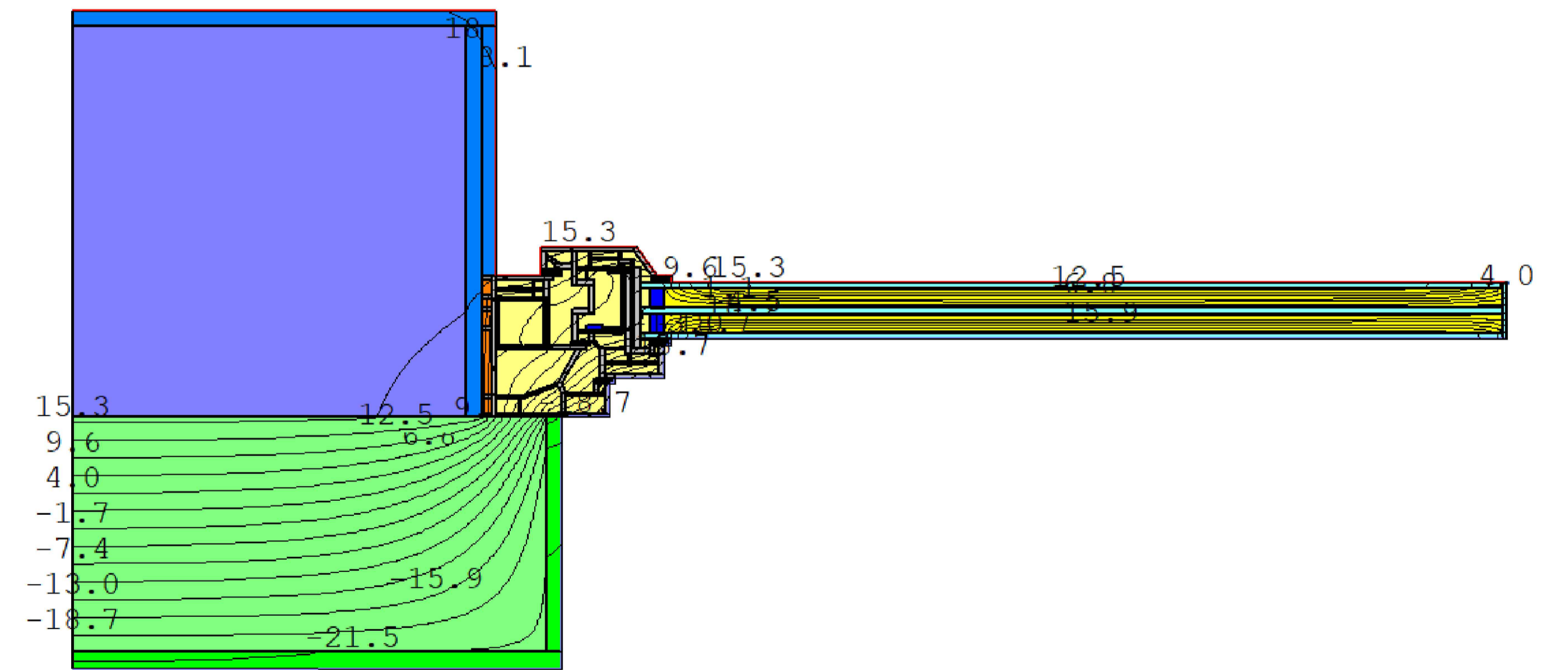
Вузол примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної конструкції утепленого Ізоват 170мм



Вузол примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної конструкції утепленого Роквул 170мм



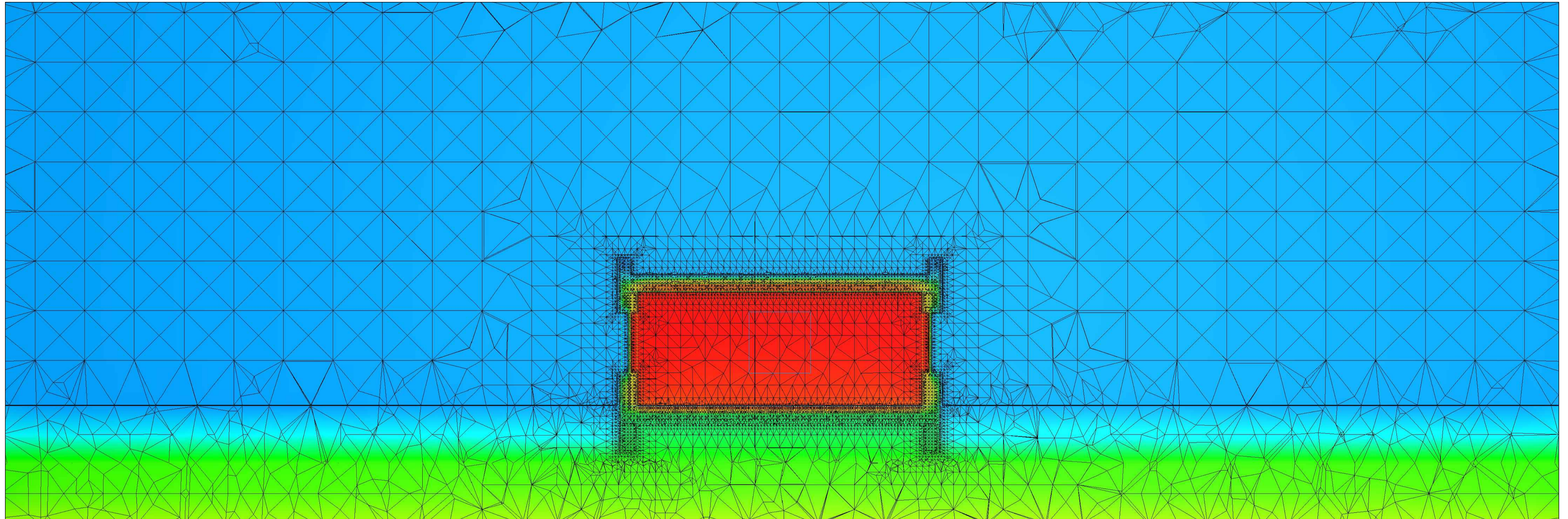
Вузол примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної конструкції утепленого Ізоват 100мм



Вузол примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної конструкції утепленого Роквул 100мм

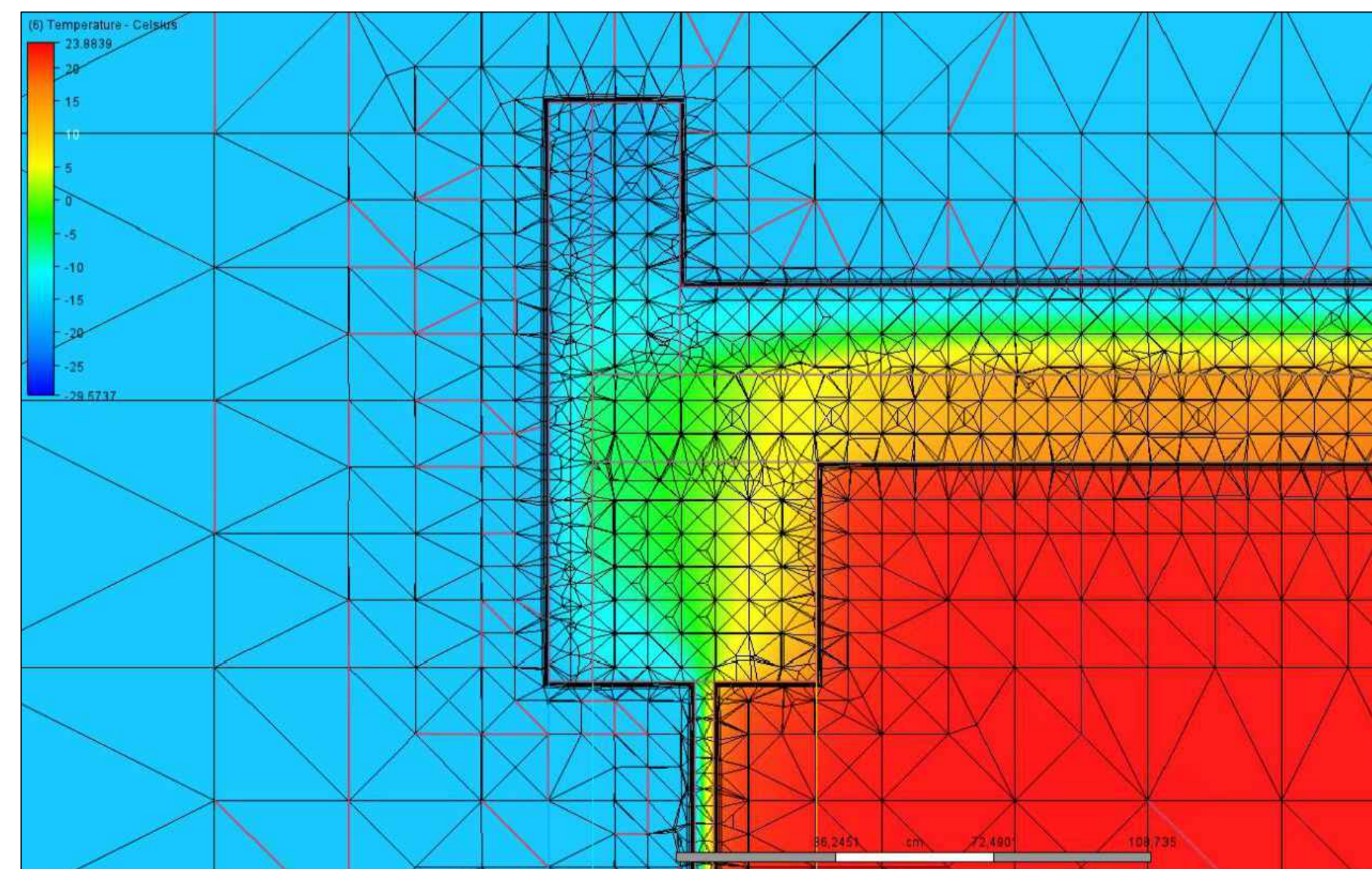
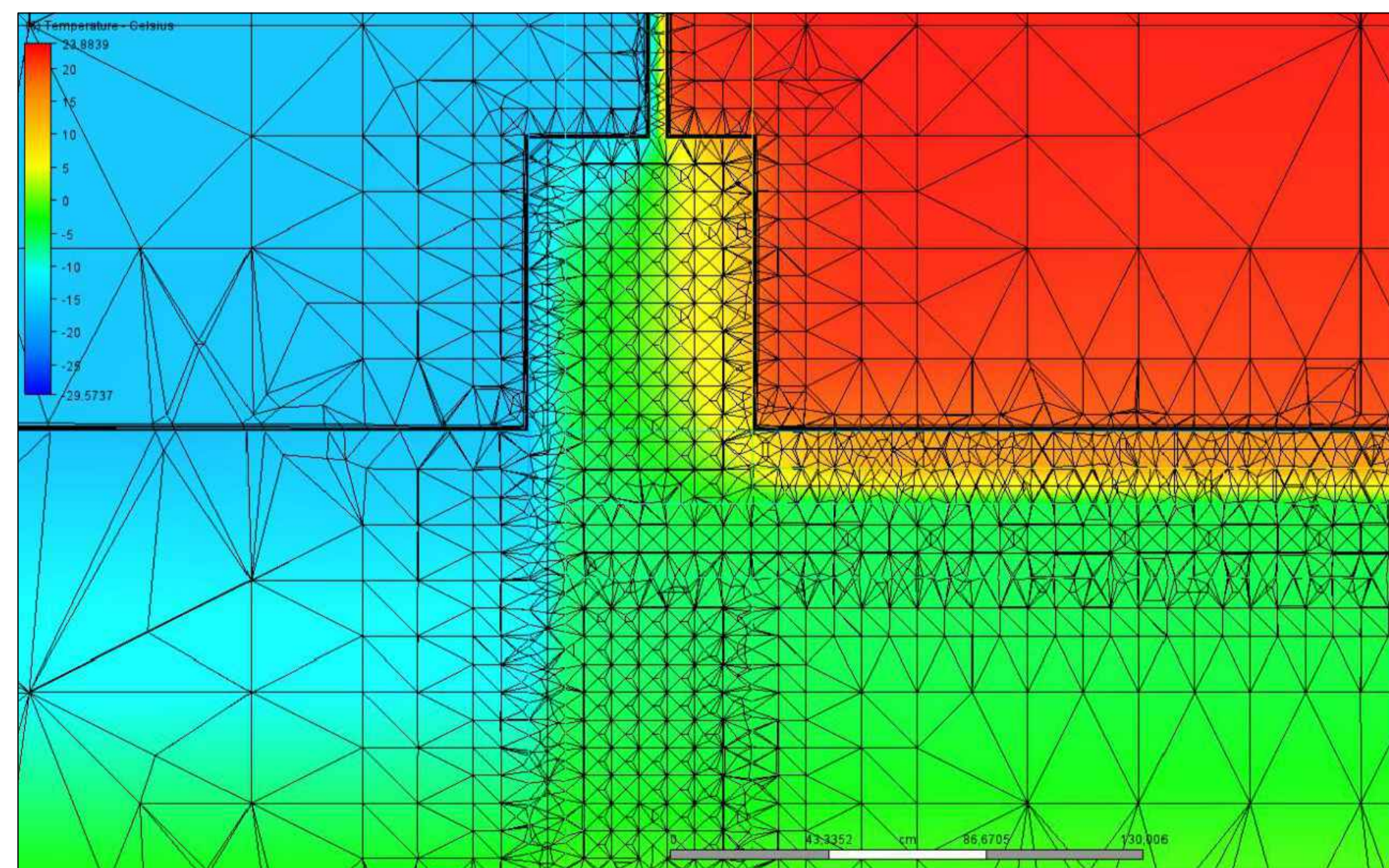
						Атестаційна випускна робота		
						Вплив теплопровідних включень на приведений опір теплоізоляційної оболонки будівлі		
Зм.	Кільк.	Аркуш	Жакоз.	Підпис	Дата			
						Розділ 2		
						Теоретичне обґрунтування впливу теплопровідних включень		
						Стадія	Аркуш	Аркушів
						КР	5	11
						Вузли примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної конструкції		
						ТВМ-24-1		
Розробив		Загорський						
Керівник		Погосов						
Зав. кафедрою		Кириченко						

Адаптивна дискретизація розрахункової області та розподіл температури в перерізі конструкції в програмі CFD



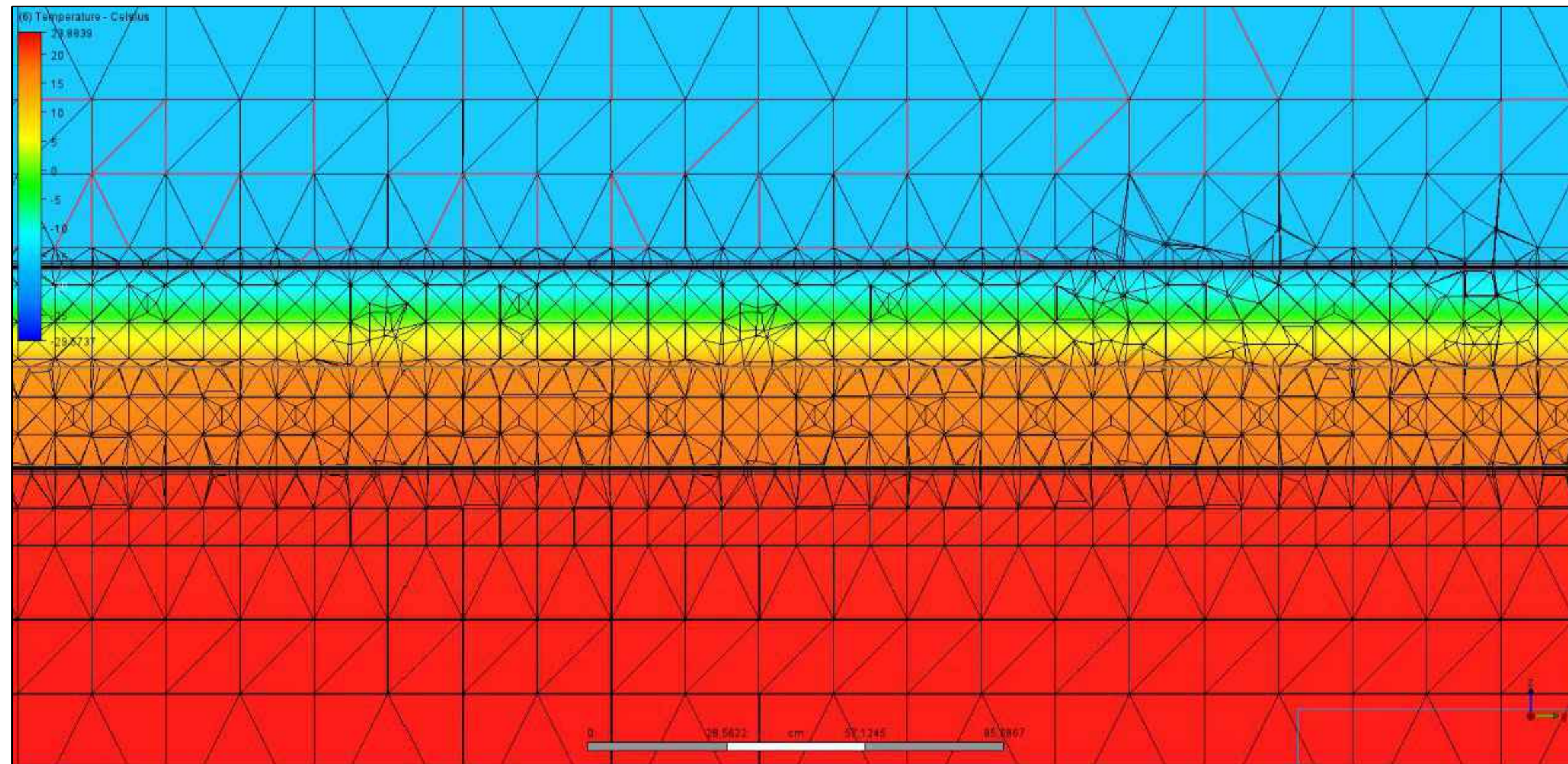
Вузол примикання перекриття до стіни

Вузол примикання зовнішньої стіни до покрівлі

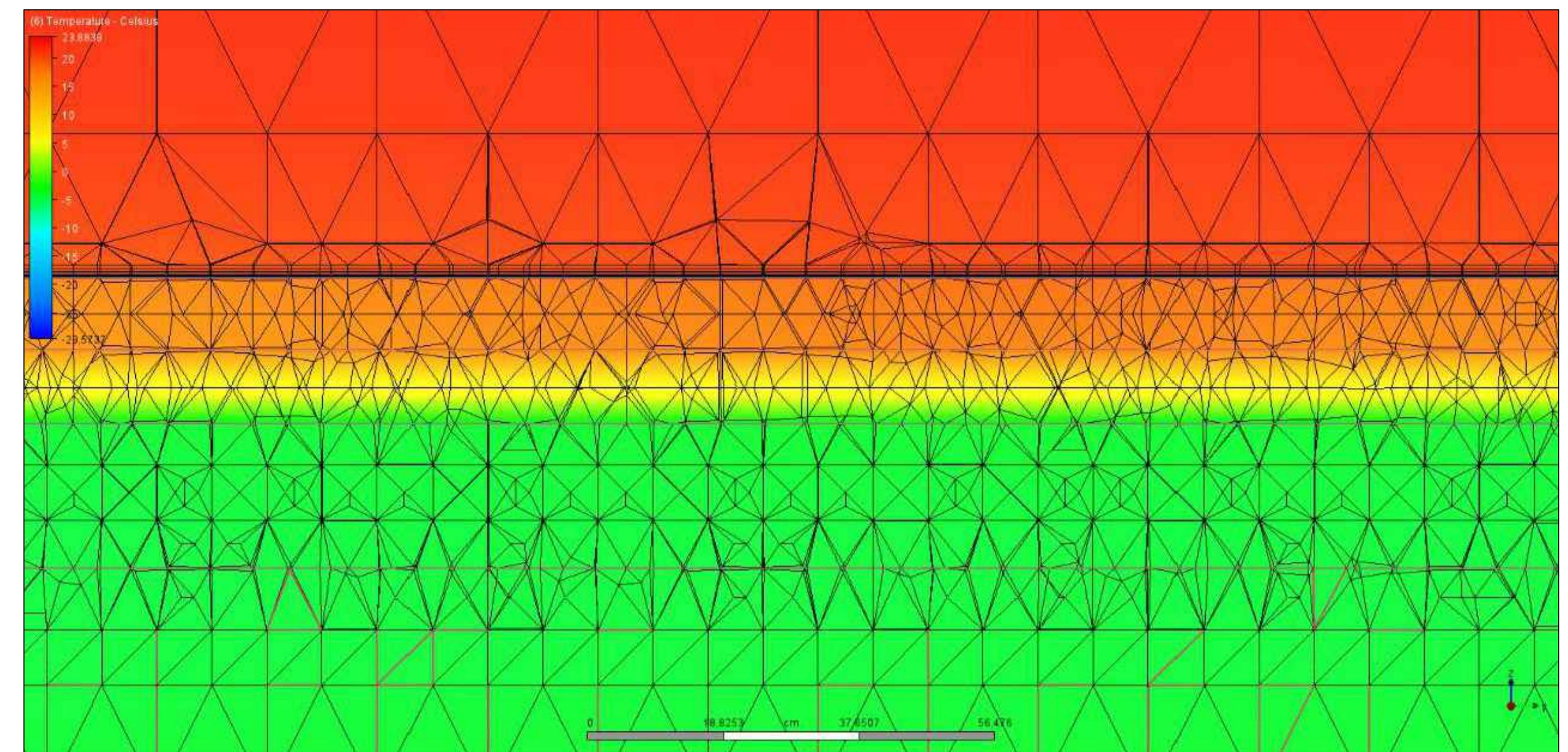


						Атестаційна випускна робота		
						Вплив теплопровідних включень на приведений опір теплоізоляційної оболонки будівлі		
Зм.	Кільк.	Аркуш	Жакоз.	Підпис	Дата	Розділ 4. Аналіз впливу теплопровідних включень		
						Стадія	Аркуш	Аркушів
						КР	6	11
Розробив Загорський						Модель вузлів примикання у програмі CFD		
Керівник Погосов						ТВМ-24-1		
Зав. кафедрою Кириченко								

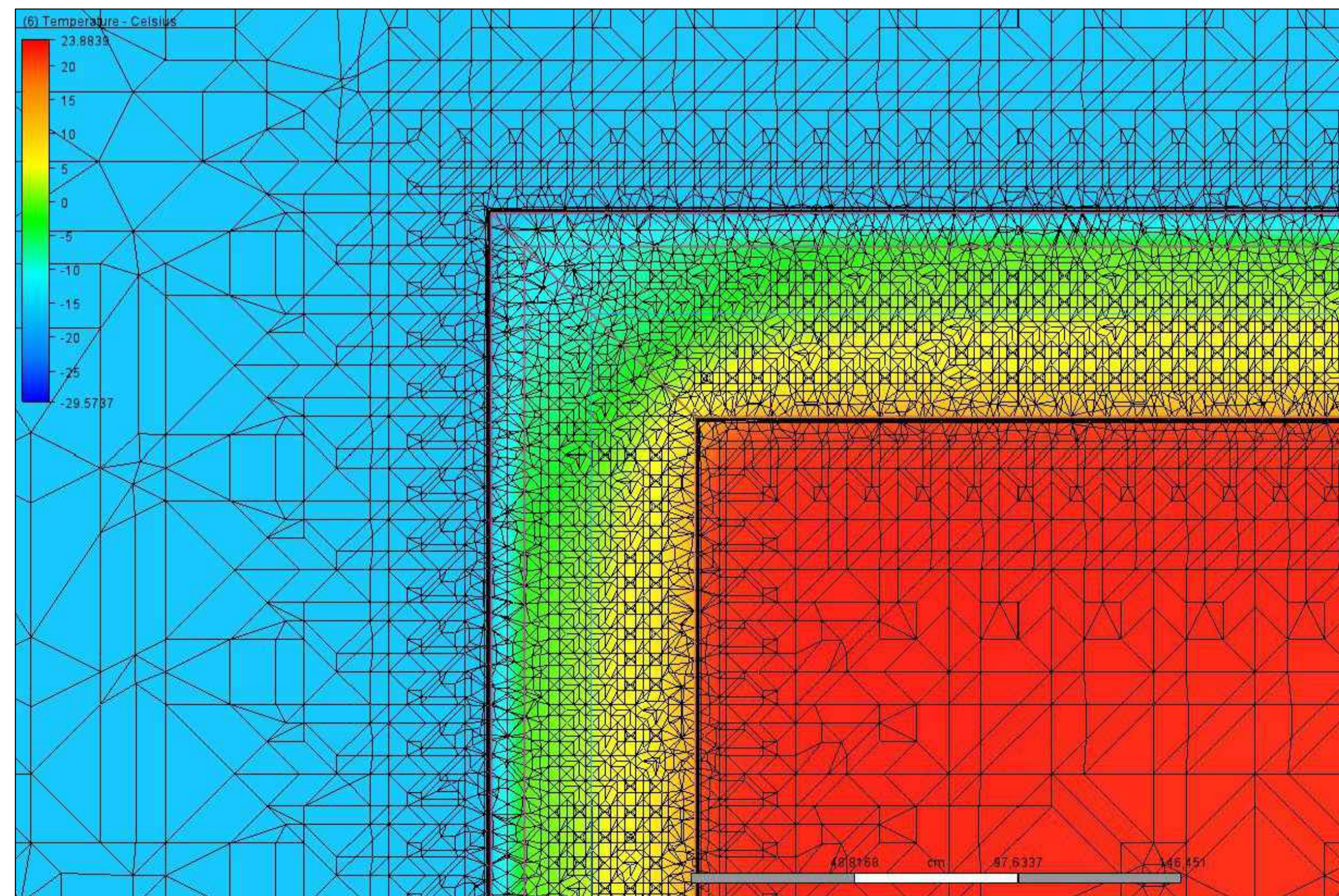
Вузол примикання покрівлі до зовнішньої стіни



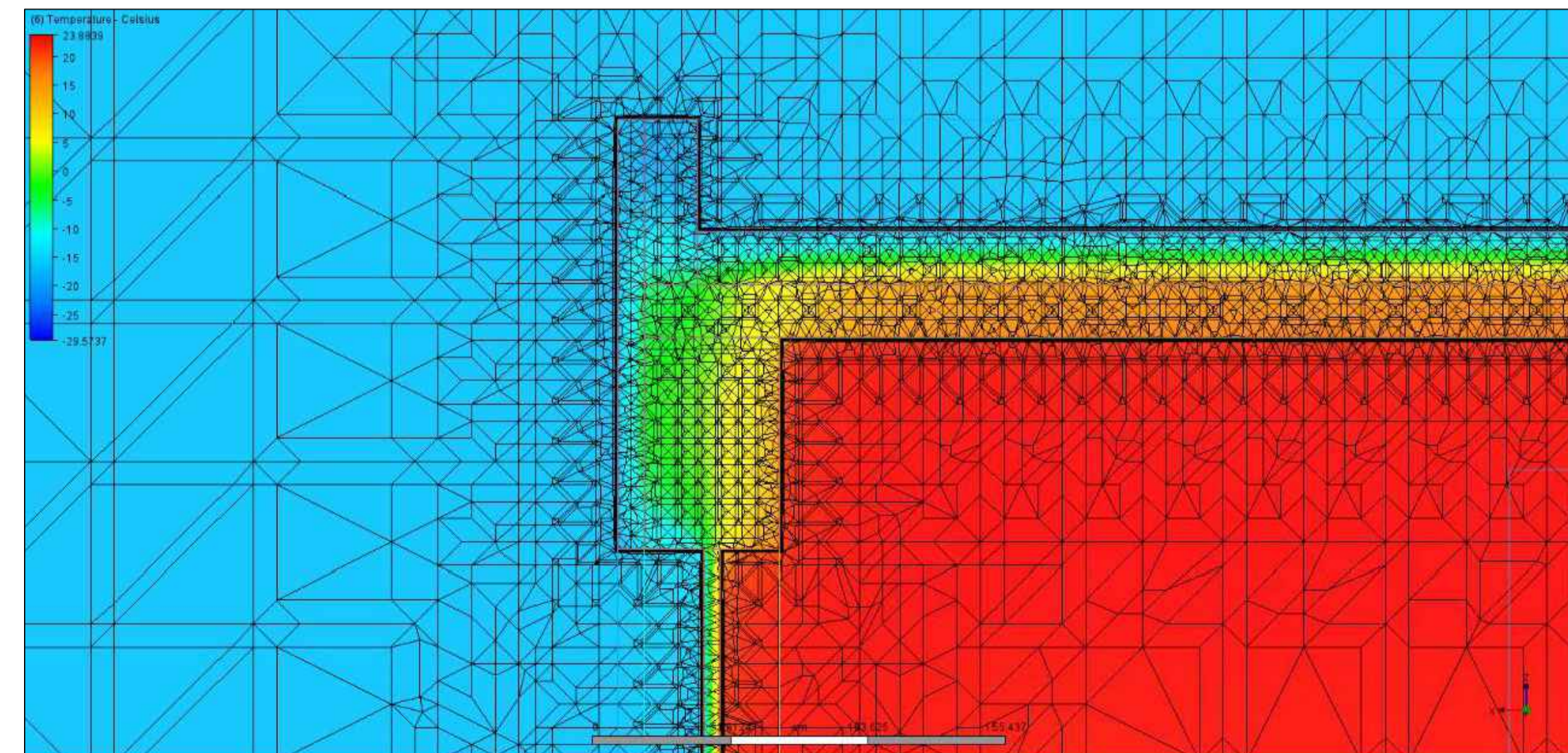
Вузол примикання перекриття до ґрунту



Вузол примикання покрівлі до зовнішньої стіни

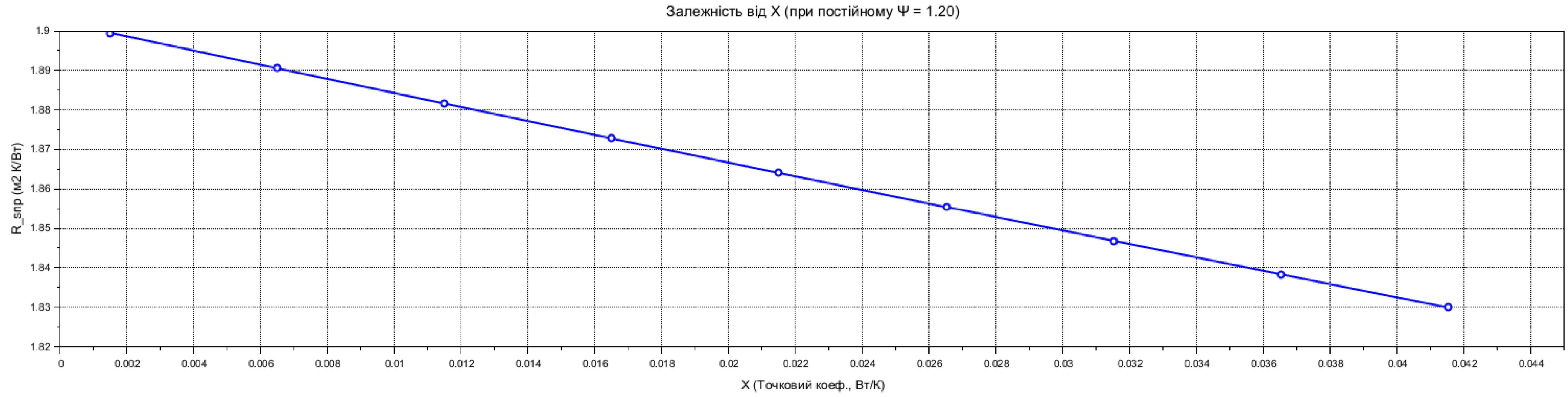


Вузол примикання зовнішньої стіни до віконного блоку

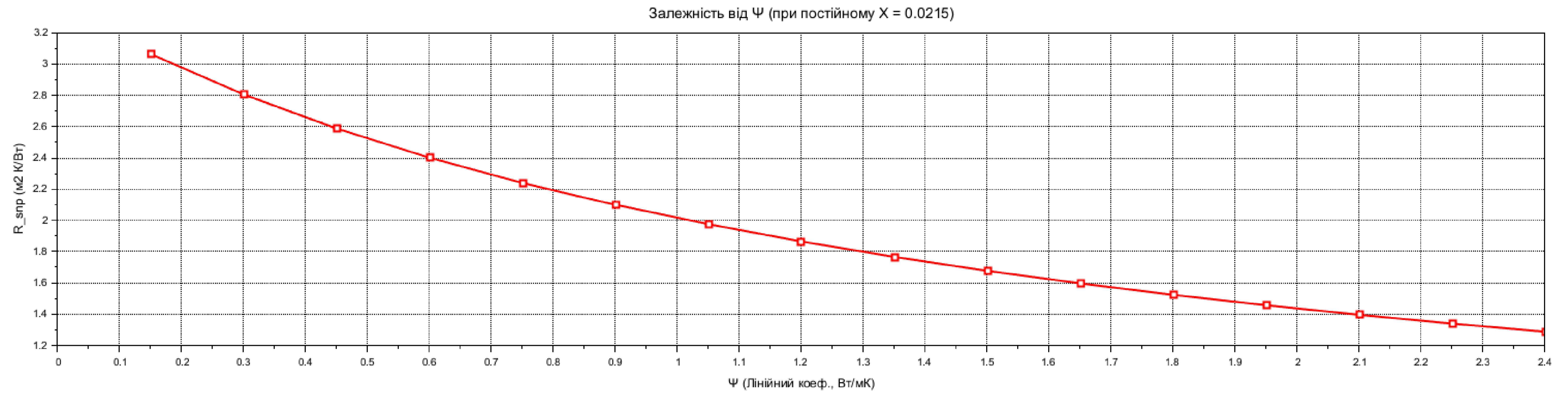


						Атестаційна випускна робота		
						Вплив теплопровідних включень на приведений опір теплоізоляційної оболонки будівлі		
Зм.	Кільк.	Аркуші	Жакоз.	Підпис	Дата	Розділ 4. Аналіз впливу теплопровідних включень		
						Стадія	Аркуші	Аркушів
						КР	7	11
Розробив Загорський						Модель вузлів примикання у програмі CFD		
Керівник Погосов						ТВМ-24-1		
Зав. кафедрою Кириченко								

Графік залежності від  $\chi$  (при постійному  $\psi = 1.20$ )

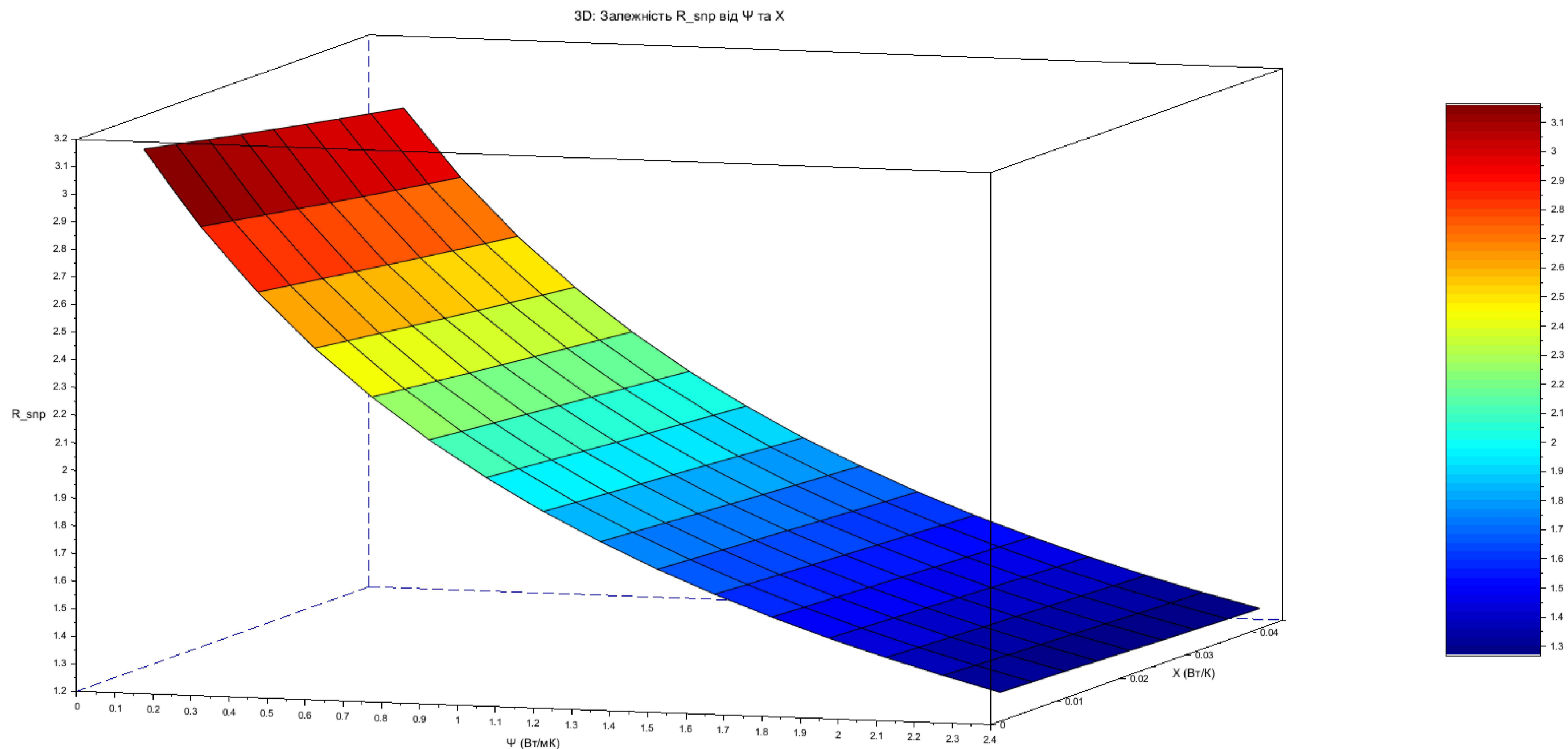


Графік залежності від  $\psi$  (при постійному  $\chi = 0.0215$ )



						Атестаційна випускна робота				
						Вплив теплопровідних включень на приведений опір теплоізляційної оболонки будівлі				
Зм.	Кільк.	Аркуш	Жакоз.	Підпис	Дата					
						Розділ 4. Аналіз впливу теплопровідних включень				
						Стадія	Аркуш	Аркушів		
						KP	8	11		
						Графік залежності від $\psi$ при постійному $\chi$ . Графік залежності від $\chi$ при постійному $\psi$ .				
Розробив	Загорський				ТВМ-24-1					
Керівник	Погосов									
Зав. кафедри	Кириченко									

### 3D візуалізація залежності R від $\psi$ та $\chi$



таблиця залежності приведенного опору теплопередачі від характеристик теплопровідних включень

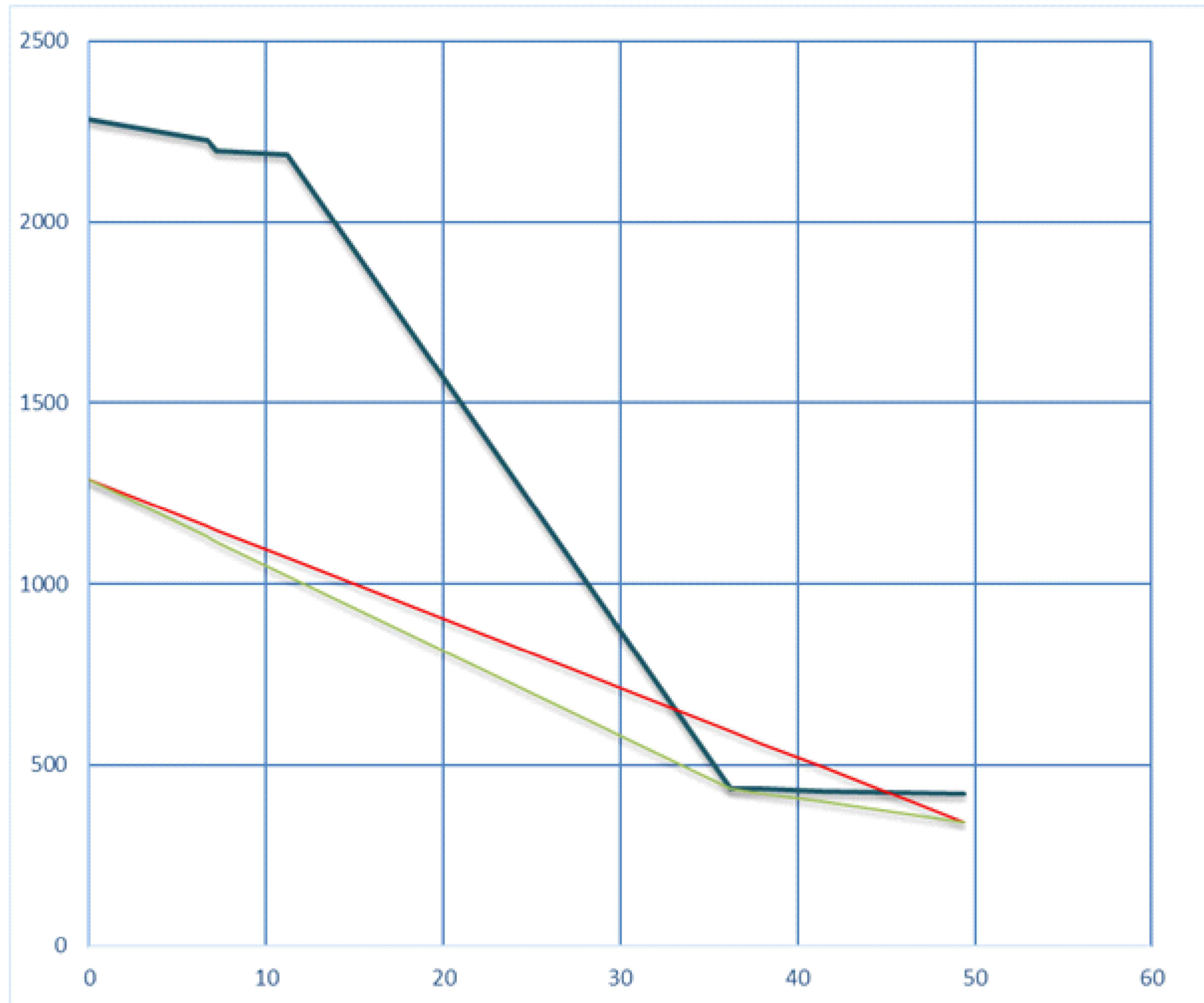
$\Psi$ (Вт/(м·К))	$\chi$ (Вт/К)	$R_{сnp}$ (м <sup>2</sup> ·К/Вт)
0,15	0,0015	3,1599
0,15	0,0165	3,0868
0,15	0,0315	3,0169
0,6	0,0015	2,4602
0,6	0,0165	2,4157
0,6	0,0315	2,3727
1,05	0,0015	2,0142
1,05	0,0165	1,9843
1,05	0,0315	1,9552
1,5	0,0015	1,7051
1,5	0,0165	1,6836
1,5	0,0315	1,6626
1,95	0,0015	1,4783
1,95	0,0165	1,4621
1,95	0,0315	1,4462
2,4	0,0015	1,3047
2,4	0,0165	1,292
2,4	0,0315	1,2796

$$R_{сnp} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i (A_i / R_{\Sigma i}) + \sum_m (I_m \cdot \Psi_m) + \sum_j (N_j \cdot \chi_j)}$$

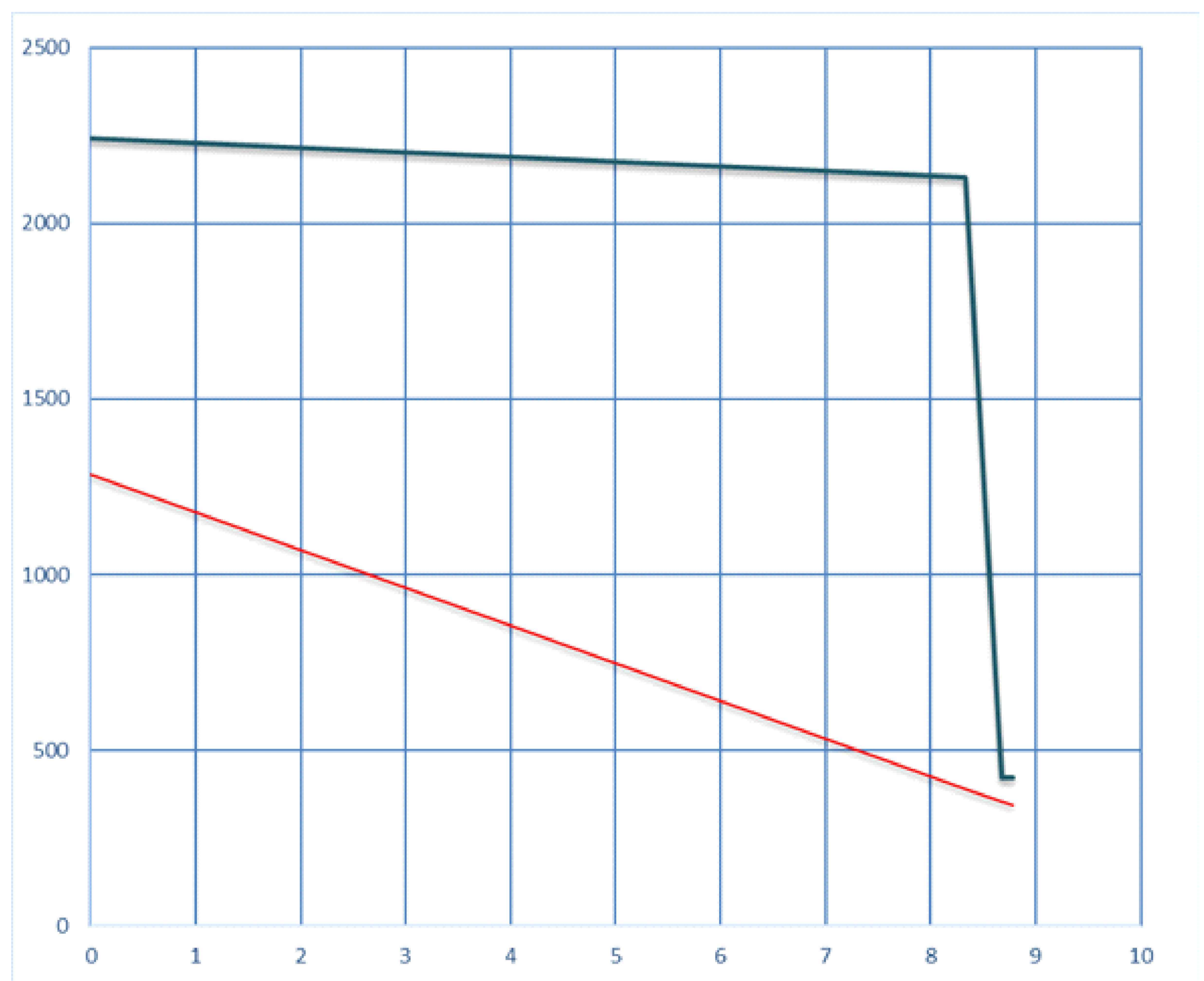
- де  $A_{\Sigma}$  — загальна площа огорожувальної конструкції, обчислена за внутрішнім виміром із додаванням площ внутрішніх укосів прорізів та відніманням площ прорізів, м<sup>2</sup>;  
 $A_i$  — площа  $i$ -ї термічно однорідної частини непрозорої конструкції, що не містить площі внутрішніх укосів прорізів та площі ділянок зовнішніх огорожень будівлі, які контактують з іншими теплопровідними включеннями, м<sup>2</sup>;  
 $R_{\Sigma i}$  — опір теплопередачі  $i$ -ї термічно однорідної частини конструкції, м<sup>2</sup>

						Атестаційна випускна робота		
						Вплив теплопровідних включень на приведений опір теплоізоляційної оболонки будівлі		
Зм.	Кільк.	Аркуш	Жакоз.	Підпис	Дата			
						Розділ 4. Аналіз впливу теплопровідних включень		
						Стадія	Аркуш	Аркушів
						КР	9	11
Розробив Загорський						3D візуалізація залежності R від $\psi$ та $\chi$		
Керівник Погосов						ТВМ-24-1		
Зав. кафедрою Кириченко								

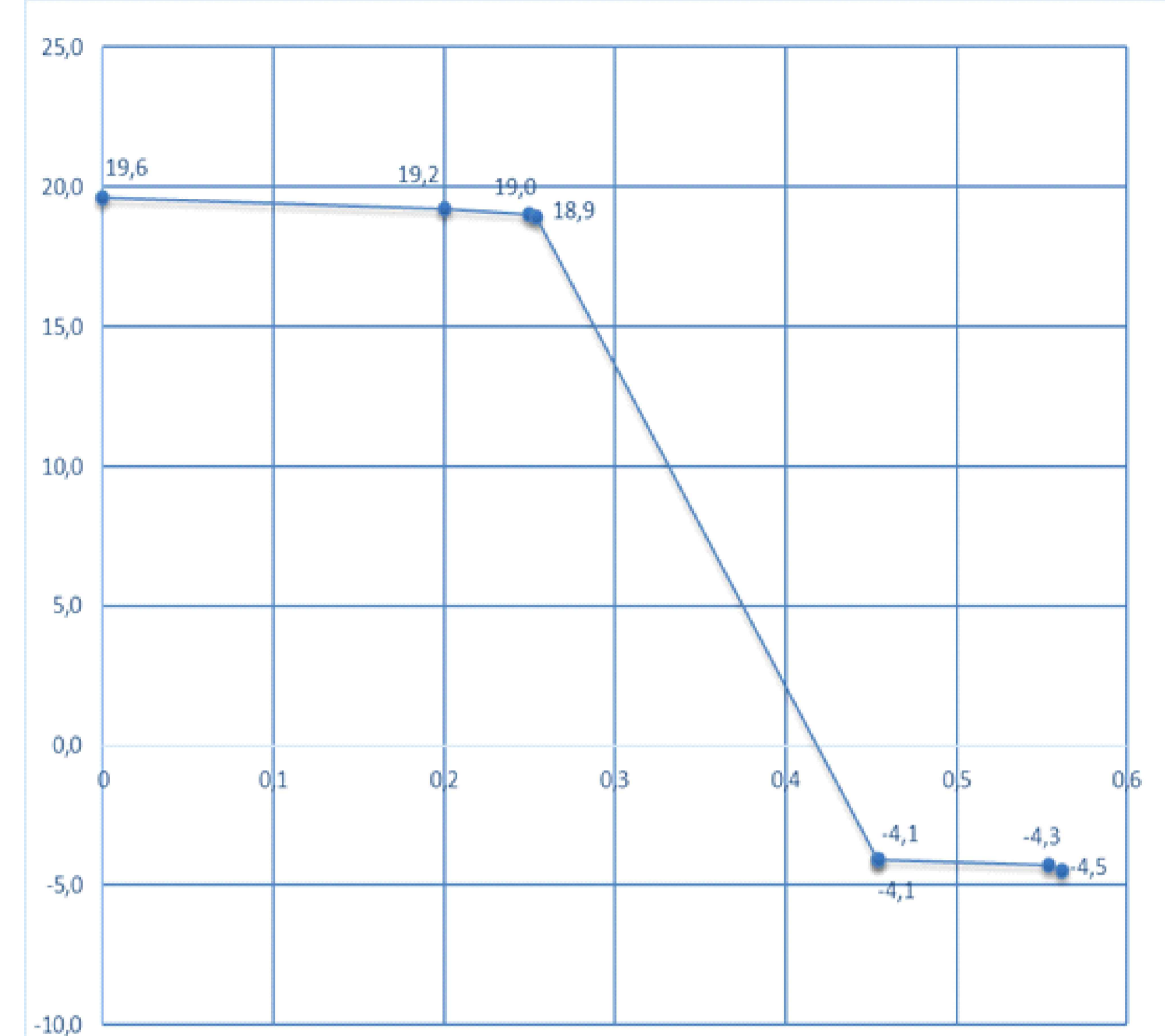
Розподіл парціальних тисків у товщі суміщеного перекриття



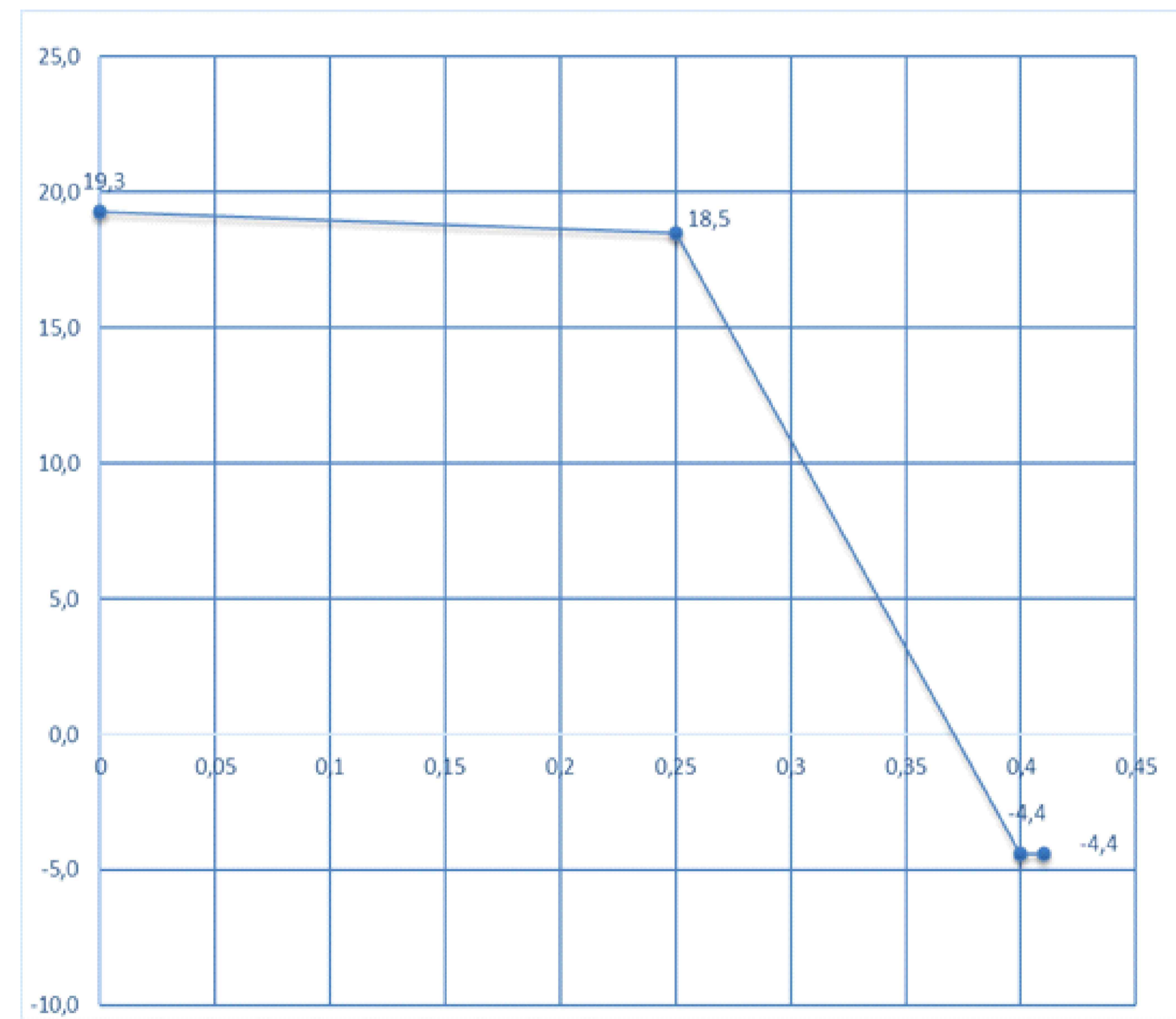
Розподіл парціальних тисків у товщі зовнішньої стіни



Розподіл температур у товщі суміщеного перекриття

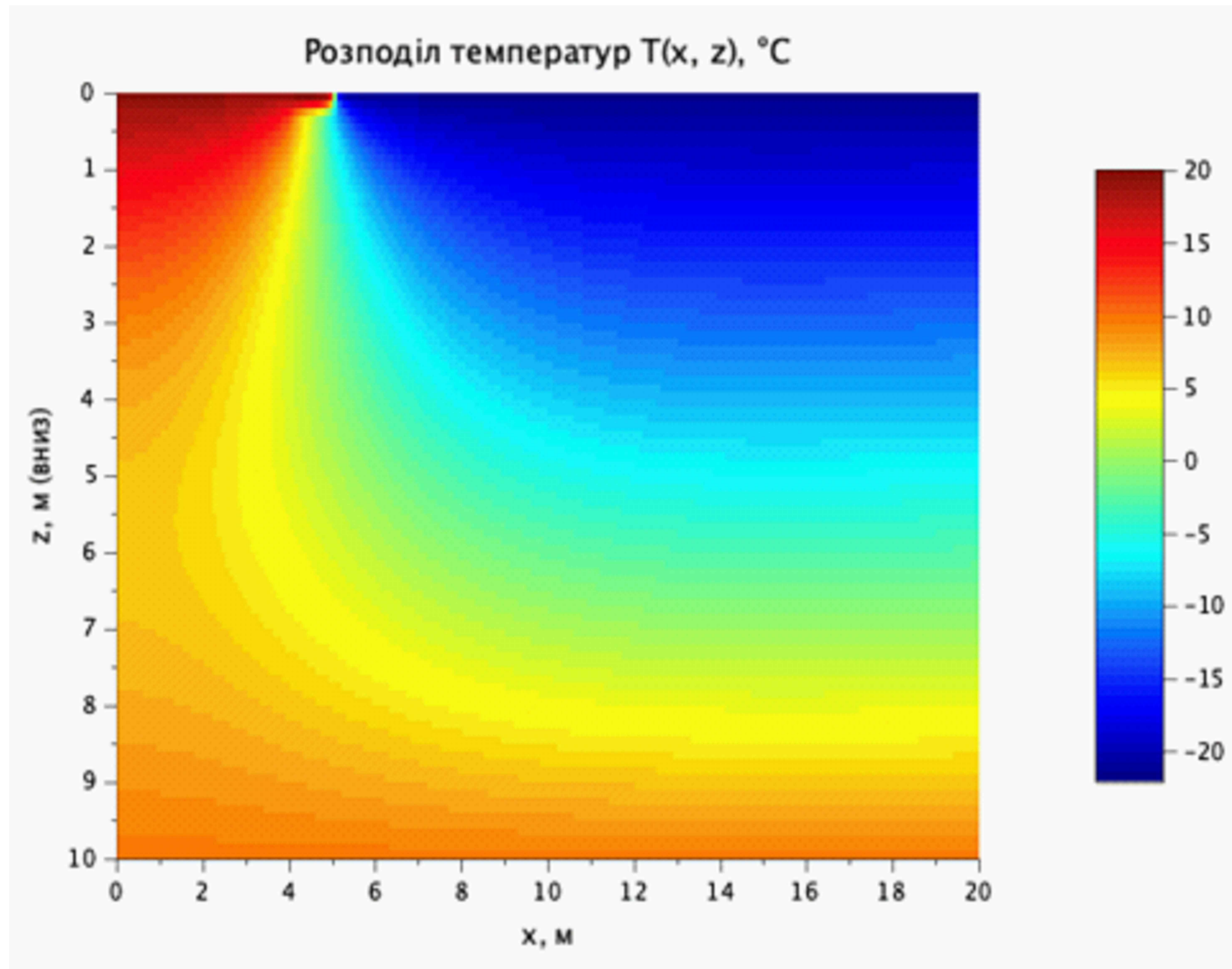


Розподіл температур у товщі зовнішньої стіни



						Атестаційна випускна робота		
						Вплив теплопровідних включень на приведений опір теплоізоляційної оболонки будівлі		
Зм.	Кільк.	Аркуш	Жакоз.	Підпис	Дата	Розділ 4. Аналіз впливу теплопровідних включень		
						Стадія	Аркуш	Аркушів
						КР	10	11
Розробив Загорський						Графіки розподілу температур та парціальних тисків		
Керівник Погосов						ТВМ-24-1		
Зад. кафедри Кириченко								

Розподіл температурних полів при утепленні смуги плити шириною 1 м



Розподіл температурних полів при утепленні всієї площини плити підлоги

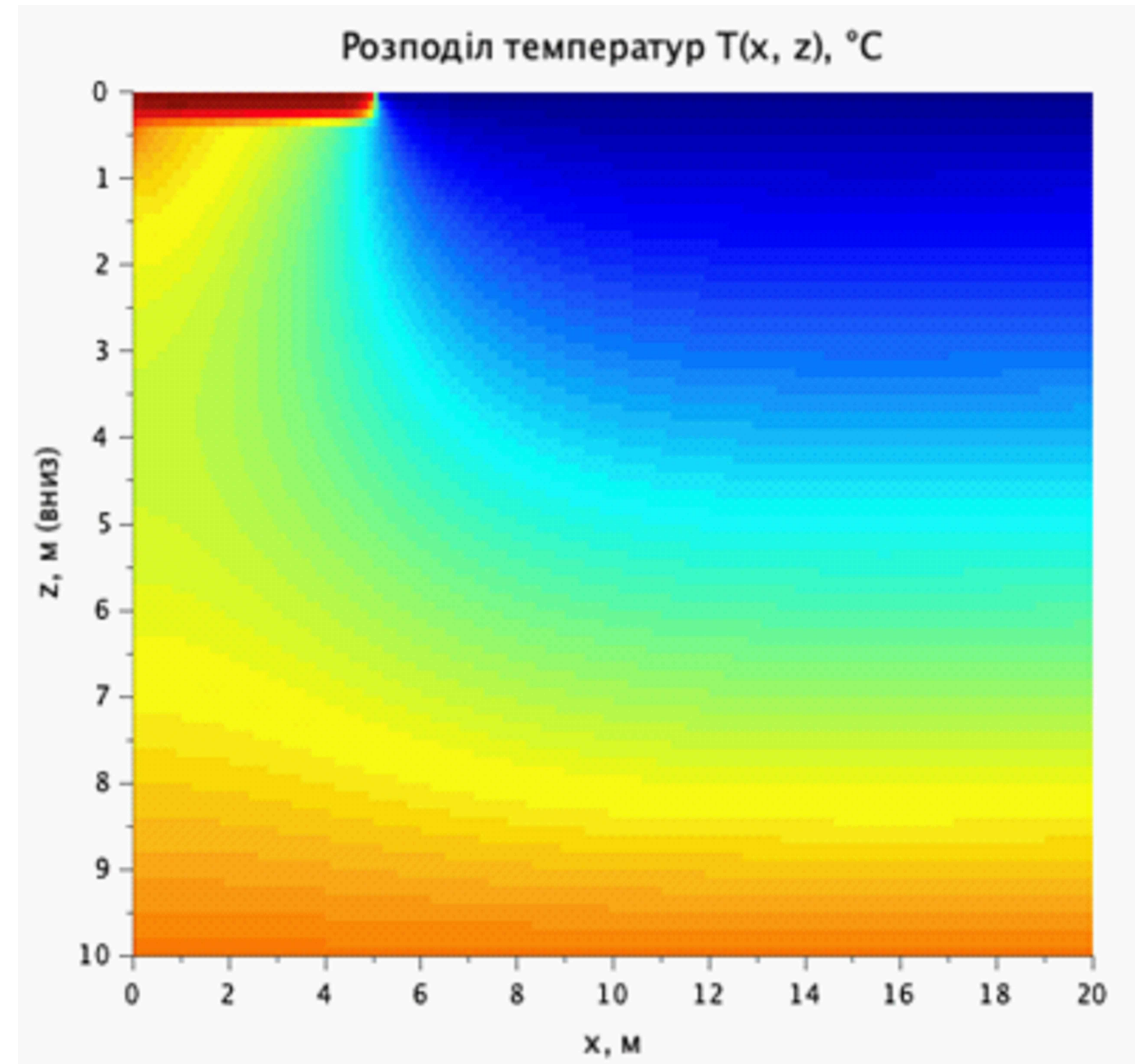
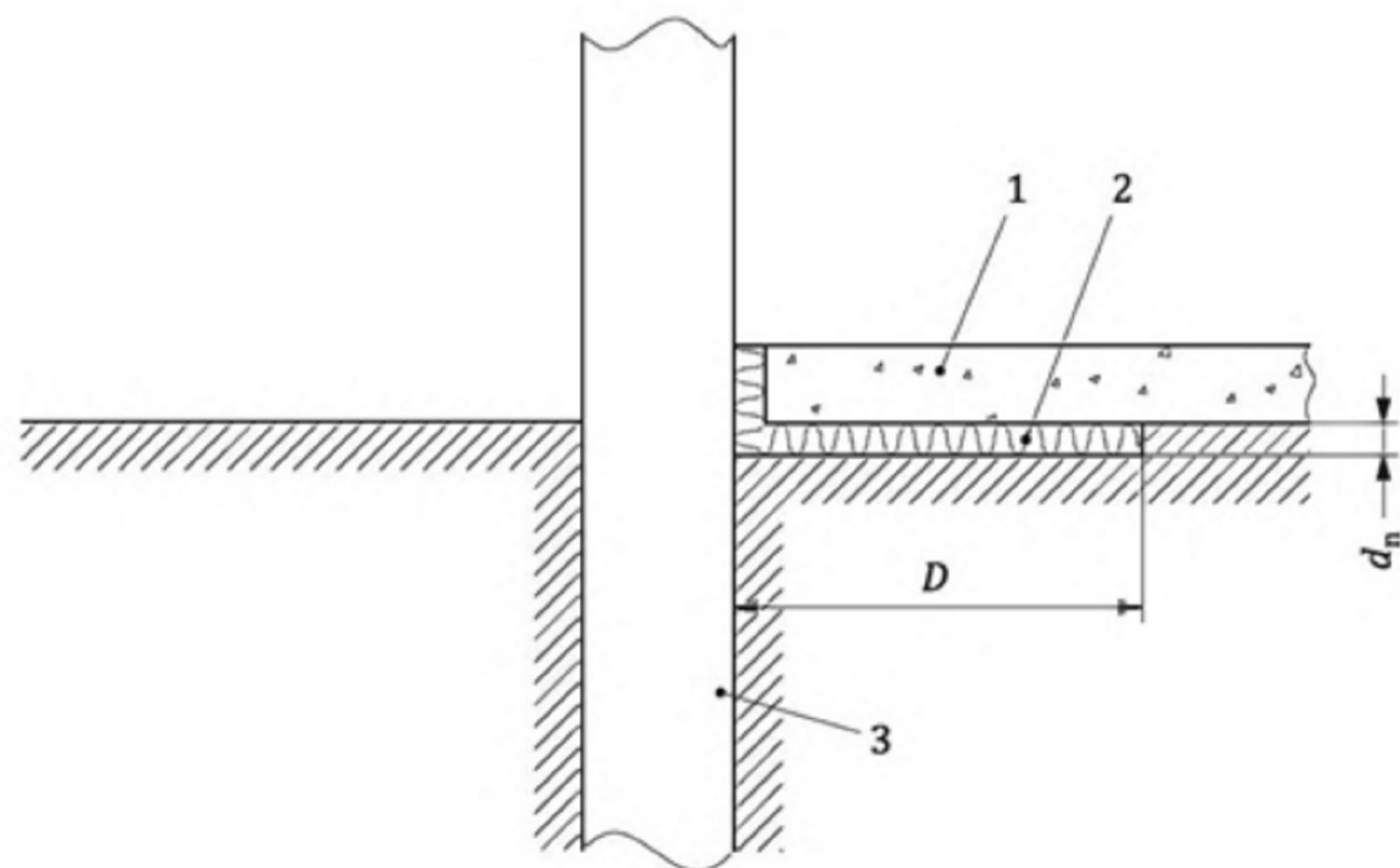


Схема утеплення крайової зони підлоги на ґрунті  
1- шар підлоги; 2 - горизонтальне теплоізолювання; 3 - стіна фундаменту;  $d_n$  - товщина утеплювача;  $D$  - ширина утеплення



Результати розрахунку моделі і ISO 13370

Lins, м	Q (за комп'ютерною моделлю), Вт	Q (за ISO 13370), Вт
<b>0 (неутеплена плита)</b>	2633.8	3166.8
<b>1</b>	2321.5	2994.1
<b>2</b>	2136.0	2737.4
<b>3</b>	2007.6	2291.1
<b>4</b>	1895.3	1536.3
<b>5 (повне утеплення)</b>	1739.6	926.2

						Атестаційна випускна робота		
						Вплив теплопровідних включень на приведеній отір теплоізоляційної оболонки будівлі		
Зм.	Кільк.	Аркуш	Жакоз.	Підпис	Дата			
						Розділ 4. Аналіз впливу теплопровідних включень		
						Стадія	Аркуш	Аркушів
						КР	11	11
						Розподіл температурних полів при утепленні площини плити		
						ТВМ-24-1		