



Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki

POLITECHNIKA KRAKOWSKA im. TADEUSZA KOŚCIUSZKI

Wydział Inżynierii Środowiska

Instytut Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza



MARCIN CHRAPEK

**ANALIZA WPŁYWU SPOSOBU
UWZGLĘDNIENIA MOSTKÓW CIEPLNYCH NA
WYNIK OBLICZEŃ STRAT PRZENIKANIA CIEPŁA
W BUDOWNICTWIE.**

Praca : magisterska

Studia: **niestacjonarne II stopnia**

Kierunek studiów: **Inżynieria Środowiska**

Specjalność: **Instalacje i urządzenia ciepłe i zdrowotne**

Praca wykonana pod kierunkiem
dr hab. inż. **Marian Hopkowicz Prof. P.K.**

Recenzent: dr inż. Agnieszka Lechowska

Ocena pracy:

Kraków, 2014

OŚWIADCZENIE KIERUJĄCEGO PRACĄ

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie tytułu zawodowego.

.....
Data

.....
Podpis kierującego pracą

Załącznik do Zarządzenia nr 21 Rektora PK
z dnia 15 czerwca 2012 r.

....., dnia r.

Marcin Chrapek
imię i nazwisko
85193
nr albumu
Inżynieria Środowiska
wydział PK
Inżynieria Środowiska
kierunek studiów
studia niestacjonarne II stopnia
forma studiów i poziom kształcenia

OŚWIADCZENIE O SAMODZIELNYM WYKONANIU PRACY DYPLOMOWEJ

Oświadczam, że przedkładana przeze mnie praca dyplomowa magisterska/
inżynierska/licencyjna¹ pt.:

"Analiza wpływu sposobu uwzględnienia mostków cieplnych na wynik obliczeń strat przenikania ciepła w budownictwie."

została napisana przeze mnie samodzielnie. Jednocześnie oświadczam, że ww. praca:
1) nie narusza praw autorskich w rozumieniu ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz.U. z 2006 r. Nr 90, poz. 631 z późn. zm.) oraz dóbr osobistych chronionych prawem cywilnym, a także nie zawiera danych i informacji, które uzyskałem/am* w sposób niedozwolony,

2) nie była wcześniej podstawą żadnej innej procedury związanej z nadawaniem tytułów zawodowych, stopni lub tytułów naukowych.

Jednocześnie przyjmuję do wiadomości, że w przypadku stwierdzenia popełnienia przeze mnie czynu polegającego na przypisaniu sobie autorstwa istotnego fragmentu lub innych elementów cudzej pracy, lub ustalenia naukowego, właściwy organ stwierdzi nieważność postępowania w sprawie nadania mi tytułu zawodowego (art. 193 ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym, Dz.U. z 2012 r. poz. 572).

.....
podpis

¹ niepotrzebne skreślić

1.	Wstęp.....	5
2.	Cel i zakres pracy	5
3.	Definicje	6
4.	Założenia do analizy.....	8
4.1.	Metoda obliczeniowa projektowanej straty ciepła $\Phi T, i$	8
4.2.	Uproszczona metoda uwzględniania mostków cieplnych wg PN-EN 12831:2006.....	9
4.3.	Metoda uwzględniania mostków cieplnych wg PN-EN 14683:2008.....	11
4.4.	Metoda uwzględniania mostków cieplnych przy wykorzystaniu programu Antherm.....	14
4.5.	Inne programy do wyznaczania współczynników Ψ , liniowych mostków cieplnych.	15
5.	Obliczenia cieplne dla przykładowego obiektu - budynek mieszkalny jednorodzinny.....	18
5.1.	Charakterystyka techniczno – użytkowa budynku	18
5.1.	Podkłady architektoniczne analizowanego budynku jednorodzinnego.....	20
5.2.	Założenia do obliczeń projektowanej straty ciepła	24
5.3.	Wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych.....	25
5.4.	Program do obliczeń projektowanej straty ciepła	26
6.	Mostki cieplne występujące w budynku	28
6.1.	C1 - Naroże ścian zewnętrznych	28
6.2.	C2 - Naroże ścian zewnętrznych z rdzeniem żelbetowym	30
6.3.	IW1 - Połączenie ściany wewnętrznej i zewnętrznej	32
6.4.	W1 - Montaż okna w ścianie zewnętrznej.....	34
6.5.	W2 - Montaż okna w ścianie zewnętrznej - nadproże.....	36
6.6.	W3 - Montaż okna dachowego.....	38
6.7.	P1 - Rdzeń żelbetowy w ścianie zewnętrznej poddasza.....	40
6.8.	P2 - Konstrukcja drewniana w ścianie zewnętrznej	42
6.9.	P3 - Krokiew z izolacją termiczną dachu	44
6.10.	P4 - Jętki z izolacją termiczną dachu	45
6.11.	IF1 - Płyta spocznikowa żelbetowa z ścianą zewnętrzną.....	47
6.12.	IF2 - Wieniec żelbetowy stropu w ścianie zewnętrznej	49
6.13.	GF1 - Szczegół fundamentu	51
6.14.	GF2 - Połączenie płyty schodów z ścianą zewnętrzną oraz fundamentem.....	53
6.15.	R1 - Połączenie dachowa z ścianą zewnętrzną.....	55
7.	Zestawienie współczynników Ψ wyznaczonych na podstawie poszczególnych metod obliczeniowych.....	58

8.	Wyniki końcowe obliczeń strat ciepła dla budynku, uwzględniające 3 metody uwzględniania mostków cieplnych	60
9.	Wnioski końcowe	68
10.	Obliczenia projektowanych strat ciepła a rozwój budownictwa	72
	Bibliografia	73
	Spis tabel	74
	Spis rysunków	75
	Załączniki	77

1. Wstęp

Praca projektanta instalacji sanitarnych w ostatnim dziesięcioleciu bardzo się zmieniła. Począwszy od zmian sprzętowych, obowiązujących norm i rozporządzeń aż po znaczne rozszerzenie możliwych do zastosowania materiałów budowlanych oraz rozwiązań architektoniczno-konstrukcyjnych.

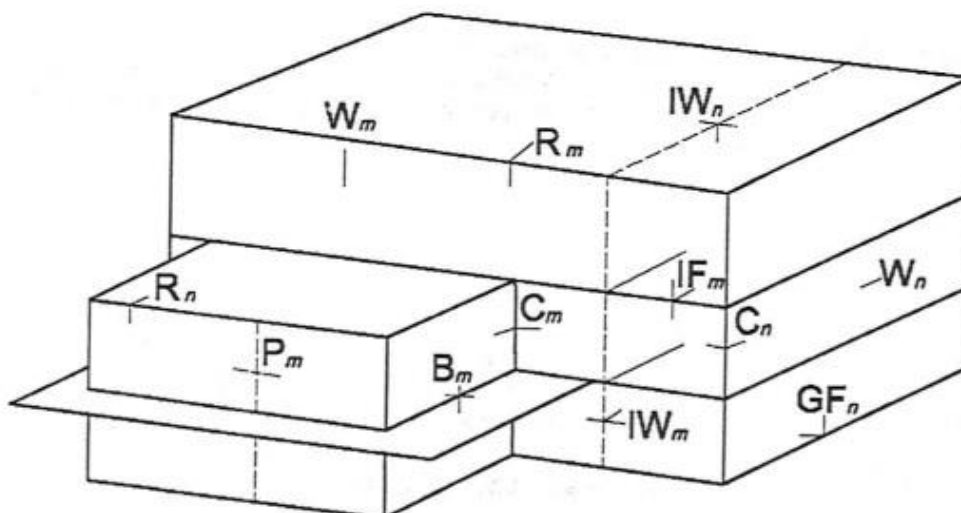
Obliczenia, które były wykonywane jeszcze kilkanaście lat temu były oparte na bardzo uproszczonych algorytmach, powodujących często znaczne przewymiarowanie. Dotyczyło to także oceny wielkości projektowego zapotrzebowania na moc cieplną do ogrzewania, będącego podstawą do zaprojektowania instalacji ogrzewania. Wynikało to stąd, że nie były popularne idee oszczędzania energii i dążenia do jej poszanowania na każdym etapie procesu inwestycyjnego i w późniejszej eksploatacji zbudowanego obiektu. Dzisiaj, gdy na każdym kroku liczy się poszanowanie energii i dążenie do ograniczania niekorzystnego oddziaływania na środowisko (ekologia) bardzo ważnym staje się opracowanie precyzyjnego projektu instalacji ogrzewania. Dostępne oprogramowanie daje nam duże możliwości symulowania skutków przyjętych rozwiązań oraz bardzo dokładnego analizowania procesów wymiany ciepła budynku z otoczeniem, pod kątem oceny potrzeb cieplnych w zakresie ogrzewania. Dotyczy to także dokładnych obliczeń współczynników przenikania ciepła oraz strat przenikania ciepła przez przegrody z uwzględnieniem wpływu mostków cieplnych.

2. Cel i zakres pracy

Celem analiz podjętych w pracy była ocena wpływu sposobu uwzględniania mostków cieplnych na wynik obliczeń wielkości strat przenikania ciepła jednorodzinne go budynku mieszkalnego. Po wstępnej analizie możliwości obliczeniowych służących uwzględnieniu wpływu mostków cieplnych dla przykładowego budynku zostały obliczone straty przenikania ciepła przy wykorzystaniu różnych metod wykorzystywanych dla uwzględnienia wpływu mostków cieplnych, występujących w rozważanym budynku. Na koniec przeanalizowano skutki w postaci przeniesienia dokładności obliczeń uwzględniających mostki cieplne na ocenę wielkości strat przenikania ciepła, całkowitych strat ciepła oraz udziału w stratach przenikania tej części, która jest spowodowana obecnością mostków cieplnych.

3. Definicje

- Przegrodą budowlaną - (w sensie fizyki budowli) nazywa się przegrodę rozdzielającą różne środowiska: wewnętrzne, zewnętrzne lub zewnętrzne od wewnętrznych i ich kombinacje. [12]
- Współczynnik przenikania ciepła U_0 jest to charakterystyka przegrody pozbawionej mostków termicznych (patrz mostek termiczny), wielkość ta wyrażona jest w $W/(m^2K)$. [12]
- Mostek termiczny - każde zaburzenie przepływu ciepła przez przegrodę, powodujące lokalnie zmianę kierunku i gęstości strumienia ciepła a wywołane lokalną anomalią – odstępstwem od typowej budowy danej przegrody. Odstępstwo to może mieć charakter materiałowy lub gabarytowy. Innymi słowy prosta przegroda budowlana w części charakteryzującej się jednorodnym, równoległym układem warstwowym (warstw do siebie nawzajem i do środowisk otaczających) ma w tej części budowę podstawową, zaś inna strefa przegrody będąca odstępstwem gabarytowym, posiadająca wręt (wkładkę) z innego materiału lub ubytek materiałowy jest mostkiem termicznym dla tej przegrody. [12]
- Mostek termiczny liniowy - zaburzenie j.w. o charakterze liniowym tj. takim, któremu możemy przyporządkować jego długość w danej przegrodzie i intensywność na jednostkę długości. Liniowe mostki cieplne mogą zasadniczo występować w wymienionych niżej miejscach w obudowie budynku:
 - przy połączeniach elementów zewnętrznych (naroża ścian, połączenia ściany z dachem; ściany ze stropem);
 - przy połączeniach ścian wewnętrznych ze ścianami zewnętrznymi i dachami;
 - przy połączeniach stropów pośrednich ze ścianami zewnętrznymi;
 - przy słupach w ścianach zewnętrznych;
 - wokół okien i drzwi. [12]



Rysunek 3.1 - Typowe miejsca występowania mostków cieplnych [7]

- Mostek termiczny punktowy - zaburzenie j.w. o charakterze skupionym, któremu nie możemy porządkować długości lecz tylko miejsce jego przyczyny. [12]

4. Założenia do analizy

Analiza została przeprowadzona w oparciu o procedury obliczeniowe zawarte w aktualnie obowiązującej normie dla obliczeń projektowanej straty ciepła PN-EN 12831 z roku 2006, która zakłada uwzględnianie mostków cieplnych na jeden z trzech sposobów:

- metodą uproszczoną, stosując dodatek ΔU_{tb} do wartości współczynnika przenikania U ,
- stosując liniowe współczynniki Ψ mostków cieplnych, których wartości dla typowych mostków można odczytać z tabeli zawartej w normie PN-EN 14683,

lub

- stosując liniowe współczynniki Ψ mostków cieplnych, wyznaczone przy wykorzystaniu obliczeń numerycznych.

4.1. Metoda obliczeniowa projektowanej straty ciepła $\Phi_{T,i}$

Norma PN-EN 12831 wprowadza nową metodykę obliczeń oraz nowy system pojęć. Dopuszcza dwie metody obliczeniowe : szczegółową i uproszczoną. Pierwsza znajduje zastosowanie w podstawowych przypadkach, tzn. w budynkach z pomieszczeniami, których wysokość nie przekracza 5 m, ogrzewanych w warunkach projektowych do stanu ustalonego, natomiast druga ograniczona jest do budynków mieszkalnych charakteryzujących się dużą szczelnością obudowy.

Norma podaje sposób obliczenia obciążenia cieplnego :

- dla poszczególnych pomieszczeń (przestrzeni ogrzewanych) w celu doboru grzejników,
- dla całego budynku lub jego części w celu doboru źródła ciepła,

Projektową stratę ciepła przestrzeni ogrzewanej przez przenikanie, oblicza się z następującego wzoru:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad [W] \quad (4.1)$$

gdzie:

$H_{T,ie}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do otoczenia (e) przez obudowę budynku, [W/K];

$H_{T,iue}$ – współczynnik straty przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do otoczenia (e) przez przestrzeń nieogrzewaną (u), [W/K];

$H_{T,ig}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do gruntu (g) w warunkach ustalonych, [W/K];

$H_{T,ij}$ - współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do sąsiedniej przestrzeni (j) ogrzewanej do znacząco różnej temperatury, tzn. przyległej przestrzeni ogrzewanej w tej samej części budynku lub w przyległej części budynku, [W/K];

$\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), [°C];

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, [°C].

Według zawartej tam metodyki najpierw oblicza się współczynniki projektowych strat ciepła, a dopiero później mnoży się ich sumę przez różnicę temperatury wewnętrznej i zewnętrznej.

Wartość jednostkowego współczynnika strat ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i), na zewnątrz (e) $H_{T,ie}$, zależna jest od wymiarów i cech charakterystycznych elementów budynku oddzielających przestrzeń ogrzewaną od środowiska zewnętrznego, takich jak ściany, podłogi, stropy drzwi i okna. [2], [10]

4.2. Uproszczona metoda uwzględniania mostków cieplnych wg PN-EN 12831:2006

Uproszczona metoda uwzględniania mostków cieplnych polega na przyjęciu tzw. skorygowanej wartości współczynnika przenikania ciepła według zależności:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb}, \text{ [W/m}^2\text{K]}, \quad (4.2)$$

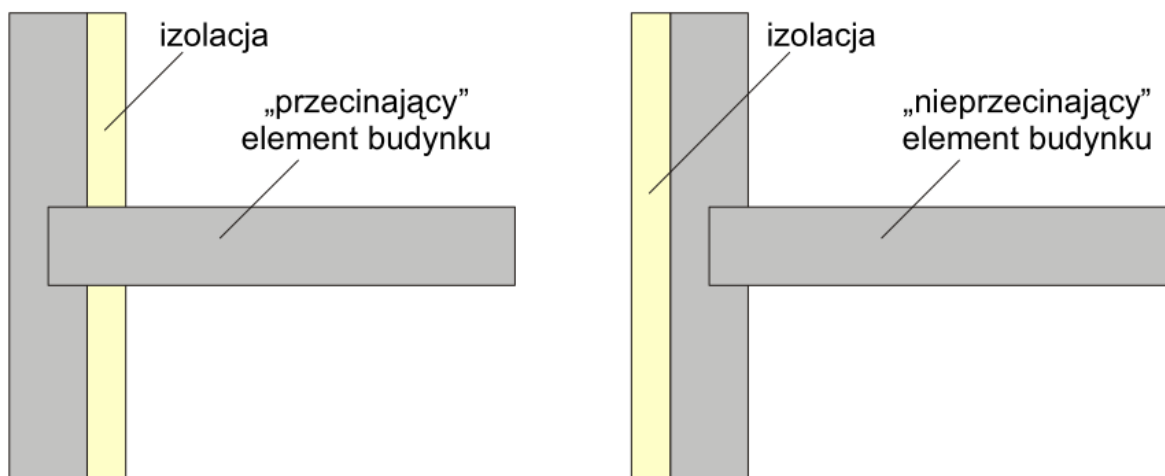
gdzie:

U_{kc} - skorygowany współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych, W/m²K;

U_k - współczynnik przenikania ciepła elementu budynku w strefie podstawowej (k), W/m²K;

ΔU_{tb} - współczynnik korekcyjny, dobierany w zależności od typu elementu budynku, W/m²K.

Orientacyjne wartości współczynnika korekcyjnego ΔU_{tb} podano w tabeli nr 4.1. Pojęcie elementu budynku "przecinającego" i "nieprzecinającego" izolację termiczną zostało przybliżone przez zobrazowane ich przykłady na rys. nr 4.1.



Rysunek 4.1. - Element budynku "przecinający" i "nieprzecinający" izolację. [10]

Tabela 4.1. Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} dla pionowych elementów budynku. [10]

Liczba stropów przecinających izolację	Liczba przecinanych ścian	ΔU_{tb} , W/m ² K	
		kubatura przestrzeni ≤100 m ³	kubatura przestrzeni >100m ³
0	0	0,05	0
	1	0,10	0
	2	0,15	0,05
1	0	0,20	0,10
	1	0,25	0,15
	2	0,30	0,20
2	0	0,25	0,15
	1	0,30	0,20
	2	0,35	0,25

Tabela 4.2. Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} dla poziomych elementów budynku. [10]

Element budynku		ΔU_{tb} , W/m ² K	
Lekka podłoga (drewno, metal itd.)		0	
Ciężka podłoga (beton, itd.)	Liczba boków będących w kontakcie ze środowiskiem zewnętrznym	1	0,05
		2	0,10
		3	0,15
		4	0,20

Tabela 4.3. Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} dla otworów. [10]

Powierzchnia elementu budynku	ΔU_{tb} , W/m ² K
0-2 m ²	0,50
>2 - 4 m ²	0,40
>4 - 9 m ²	0,30
>9 - 20 m ²	0,20
>20m ²	0,10

Mając obliczony skorygowany współczynnik przenikania ciepła U_{kc} można obliczyć współczynnik strat ciepła przez przenikanie $H_{T,ie}$.

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k, \text{ [W/K]}, \quad (4.3)$$

gdzie:

A_k – powierzchnia elementu budynku (k), [m²];

U_{kc} - skorygowany współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych, [W/m²K];

W oparciu o powyższe, pozyskane z tablic wartości współczynnika korekcyjnego można ze wzoru (4.1) wyznaczyć projektowaną stratę ciepła przez przenikanie. [2], [10]

4.3. Metoda uwzględniania mostków cieplnych wg PN-EN 14683:2008

W metodzie szczegółowej przy obliczaniu współczynnika strat ciepła przez przenikanie $H_{T,ie}$, obecność i oddziaływanie mostków cieplnych ujmuje się poprzez przyjęcie odpowiedniego, liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ , mostka cieplnego. W tym przypadku, jako podstawę do oceny wielkości współczynników Ψ możemy przyjąć tabelę A.2 w załączniku do normy PN-EN 14683:2008.

Współczynnik strat ciepła przez przenikanie oblicza się ze wzoru :

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \Psi_l \cdot l_l \cdot e_l, \text{ [W/K]}, \quad (4.4)$$

gdzie:

A_k – powierzchnia elementu (k) budynku, m^2 ;

U_k – współczynnik przenikania ciepła przegrody (k), $W/(m^2K)$;

Ψ_l – współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego (l), $W/(mK)$;

l_l – długość liniowego mostka cieplnego (l) między przestrzenią wewnętrzną a zewnętrzną;

e_k, e_l – współczynniki korekcyjne ze względu na orientację, z uwzględnieniem wpływu klimatu, takich jak: różne izolacje, absorpcja wilgoci przez elementy budynku, prędkość wiatru i temperatura powietrza, w przypadku gdy wpływy te nie zostały wcześniej uwzględnione przy określaniu wartości współczynnika U_k .

Współczynnik przenikania ciepła U_k należy obliczać według:

- normy EN ISO 6946 – dla elementów nieprzeźroczystych,
- normy EN ISO 10077-1 – dla drzwi i okien,
- na podstawie zaleceń podanych w europejskich aprobatkach technicznych.

Orientacyjne wartości współczynników korekcyjnych podane są w załączniku krajowym do normy PN-EN 12831:2006, i wynoszą :

$e_k=1,0$;

$e_l=1,0$;

W związku z tym, równanie (4.4) w praktyce upraszcza się do następującej postaci:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k + \sum_l \Psi_l \cdot l_l, \text{ [W/K]}, \quad (4.5)$$

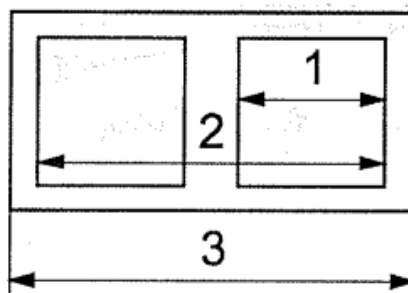
Wykorzystując wartości współczynników Ψ_l mostków cieplnych z tabeli A.2 normy PN-EN 14683:2008, należy zwrócić uwagę na to, iż zostały one wyznaczone w oparciu o przykładowe parametry przegród budowlanych. [2], [10]

Tabela 4.4 Parametry przegród stosowane przy wyznaczeniu współczynników Ψ zamieszczonych w tabeli A.2 normy PN-EN 14683:2008. [7]

Wszystkie detale:		$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
Ściany zewnętrzne:		$d = 300 \text{ mm}$
Ściany wewnętrzne:		$d = 200 \text{ mm}$
Ściany z warstwą izolacyjną:	- współczynnik przenikania ciepła	$U = 0,343 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
	- opór cieplny warstwy izolacyjnej	$R = 2,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
Ściany lekkie:		$U = 0,375 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Podłogi na gruncie:	- płyta podłogi	$d = 200 \text{ mm}$
	- współczynnik przewodzenia ciepła gruntu	$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
	- opór cieplny warstwy izolacyjnej	$R = 2,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
Stropy międzykondygnacyjne:		$d = 200 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
Dachy:	- współczynnik przenikania ciepła	$U = 0,365 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
	- opór cieplny warstwy izolacyjnej	$R = 2,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
Ościeżnice:		$d = 60 \text{ mm}$
Słupy:		$d = 300 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Bardzo istotną sprawą przy obliczaniu strat ciepła jest metoda wymiarowania przegród budowlanych. Ma ona wpływ na to, czy dany mostek cieplny będzie miał wartości dodatnie czy też ujemne.

Dopuszcza się 3 metody wymiarowania :



Rysunek 4.2. - Metody wymiarowania. [8]

- (1) wymiary wewnętrzne, mierzone między wykończonymi wewnętrznymi powierzchniami każdego pomieszczenia budynku,
- (2) całkowite wymiary wewnętrzne, mierzone między wykończonymi wewnętrznymi powierzchniami zewnętrznych elementów budynku,

(3) wymiary zewnętrzne, mierzone między wykończonymi zewnętrznymi powierzchniami zewnętrznych elementów budynku.

4.4. Metoda uwzględniania mostków cieplnych przy wykorzystaniu programu Antherm.

Współczynnik strat ciepła przez przenikanie jest obliczany wg wzoru (4.5), natomiast wartość współczynnika przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego Ψ , będzie w tym przypadku wyznaczana na podstawie komputerowych obliczeń numerycznych.

Do obliczeń współczynnika Ψ w pracy posłużył program Antherm, autorstwa Tomasza Kornickiego.



Program stosuje się do obliczania rozkładu temperatury, strumienia ciepła, linii prądu dla strumienia cieplnego oraz linii prądu dla strumienia dyfundującej pary wodnej w konstrukcjach budowlanych o dowolnej, skomplikowanej formie i dla dowolnej kombinacji materiałów. Dodatkowo program oblicza i obrazuje rozkład granicznej wilgotności powietrza na wszystkich powierzchniach konstrukcji oraz rozkład ciśnienia cząstkowego pary wodnej wewnątrz konstrukcji. Program ten stosuje się również w analizie dynamicznego zachowania się budowli, spowodowanego okresową, periodyczną lub harmoniczną zmianą warunków brzegowych.

Dla wyznaczenia wartości współczynnika Ψ należy zbudować model dwuwymiarowy badanego mostka cieplnego. Bardzo ważną sprawą jest tutaj zachowanie tych samych wymiarów, grubości oraz współczynników λ poszczególnych elementów przegrody.

Wynikiem obliczeń poszczególnych mostków cieplnych jest współczynnik sprzężenia cieplnego L^{2D} [W/mK]. Aby obliczyć współczynnik Ψ należy skorzystać ze wzoru:

$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i), \quad [W/(mK)], \quad (4.6)$$

gdzie :

L^{2D} - współczynnik sprzężenia cieplnego rozpatrywanego mostka dwuwymiarowego, wyliczony wg programu Antherm [W/(mK)]

U_i - współczynnik przenikania ciepła przegrody (bez mostków cieplnych)

l_i - długość modelu geometrycznego rozpatrywanego mostka cieplnego

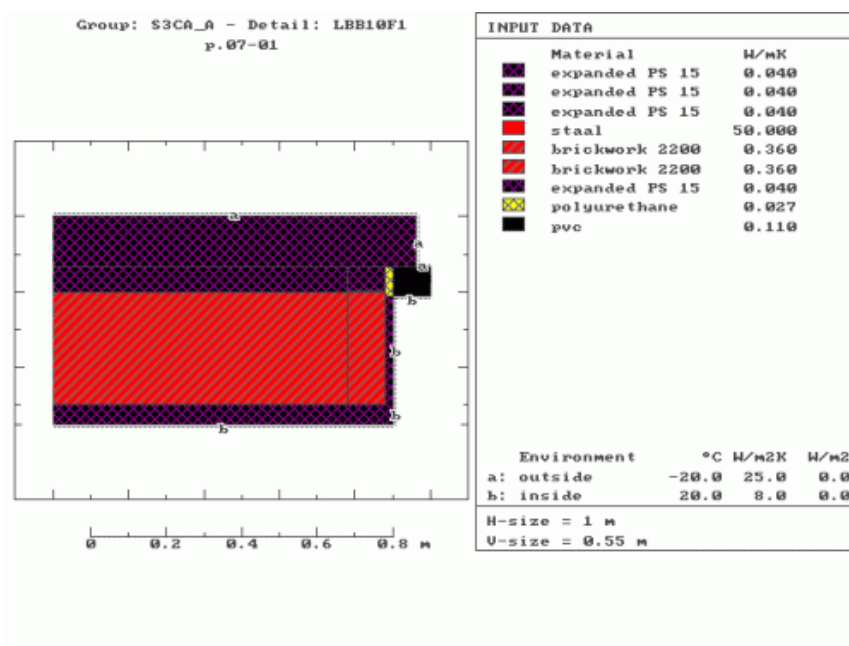
W analizie mostków cieplnych nie były uwzględnione wzajemne wpływy innych mostków cieplnych. [14]

4.5. Inne programy do wyznaczania współczynników Ψ , liniowych mostków cieplnych.

Na rynku istnieje jeszcze kilka innych programów, które pozwalają modelować mostki cieplne.

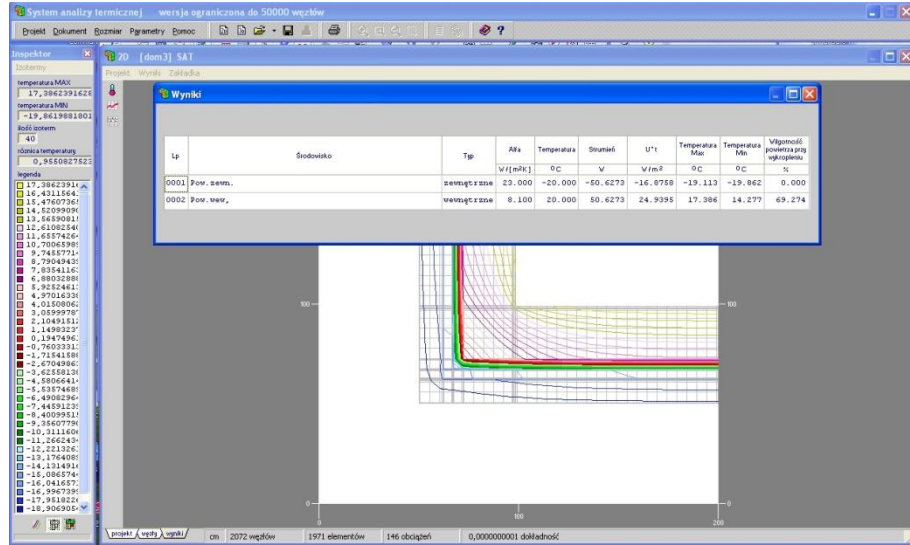
Są to między innymi:

- Program KOBRA



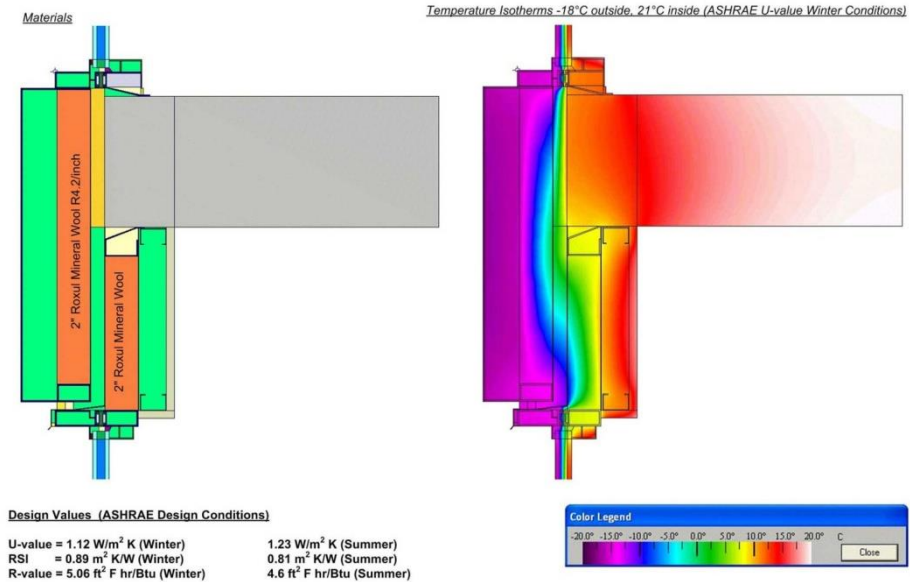
Rysunek 4.3. - Zrzut ekranu programu KOBRA. [17]

- Program: System Analizy Termicznej SAT



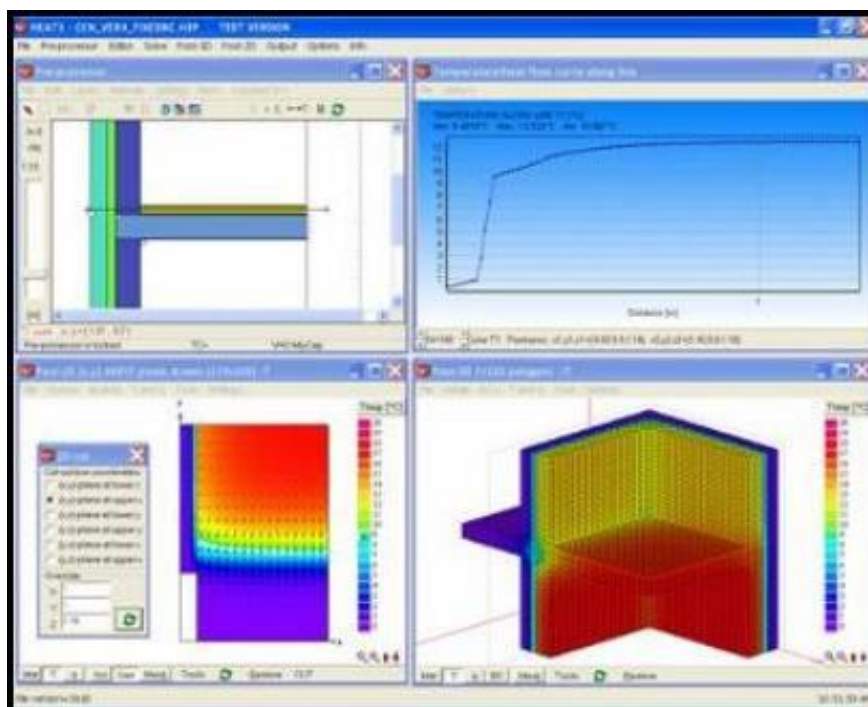
Rysunek 4.4. - Zrzut ekranu programu SAT. [18]

- Program Therm



Rysunek 4.5. - Zrzut ekranu programu Therm. [19]

- Heat2 , Heat3



Rysunek 4.6. - Zrzut ekranu programu Heat2, 3. [20]

5. Obliczenia cieplne dla przykładowego obiektu - budynek mieszkalny jednorodzinny

Analiza uwzględniania wpływu mostków cieplnych różnymi metodami wymagała przedstawienia na rzeczywistym przykładzie, jaki jest wpływ ich wartości na wyniki obliczeń strat przenikania ciepła. Wyniki obliczeń wartości współczynników Ψ przy wykorzystaniu różnych metodami mogą różnić się znacznie (nawet kilkukrotnie), ale ich wpływ na wielkość całkowitych strat przenikania ciepła może być niewielki.

Do tego celu zostanie jako obiekt poddany obliczeniom został wykorzystany budynek mieszkalny jednorodzinny, który został zbudowany w miejscowości Mnich, a który został zaprojektowany przez Antoniego Duźniaka z biura projektowego Proj-Rem w Chybiu.

5.1. Charakterystyka techniczno – użytkowa budynku

Tabela 5.1. – Ogólna charakterystyka budynku

Przeznaczenie budynku		Budynek mieszkalny jednorodzinny
Liczba kondygnacji		2
Liczba kondygnacji ogrzewanych		2
Powierzchnia użytkowa		100,65 m ²
Powierzchnia użytkowa ogrzewana	A_f	117,41 m ²
Kubatura ogrzewana budynku po obrysie zewnętrznym	V_e	300,17 m ³
Powierzchnia ścian zewnętrznych	A	501 m ²
Współczynnik kształtu	A/V_e	1,67 m ⁻¹

Analizowanym obiektem jest budynek mieszkalny jednorodzinny. Posiada on typowy układ użytkowy, najczęściej spotykany w budownictwie mieszkaniowym. Na parterze znajduje się część kuchenna z pokojem dziennym, WC oraz częścią techniczną i garażem dla jednego samochodu. Na poddaszu znajduje się część nocna tj. pokoje dla dzieci, sypialnia rodziców oraz łazienka.

Budynek został zaprojektowany w konstrukcji murowanej ze ścian dwuwarstwowych z dociepleniem ze styropianu. Dach posiada izolację termiczną z wełny mineralnej umiejscowionej między krokiewiami i jętkami. Podłoga na gruncie

jest zaizolowana styropianem. Stolarka okienna i drzwiowa posadowiona jest licem do ściany zewnętrznej. Budynek posiada balkon o konstrukcji drewnianej, podwieszany.

Charakterystyka termiczna oraz rozwiązania poszczególnych detali konstrukcyjnych należą do najczęściej spotykanych aktualnie rozwiązań w budownictwie mieszkaniowym.

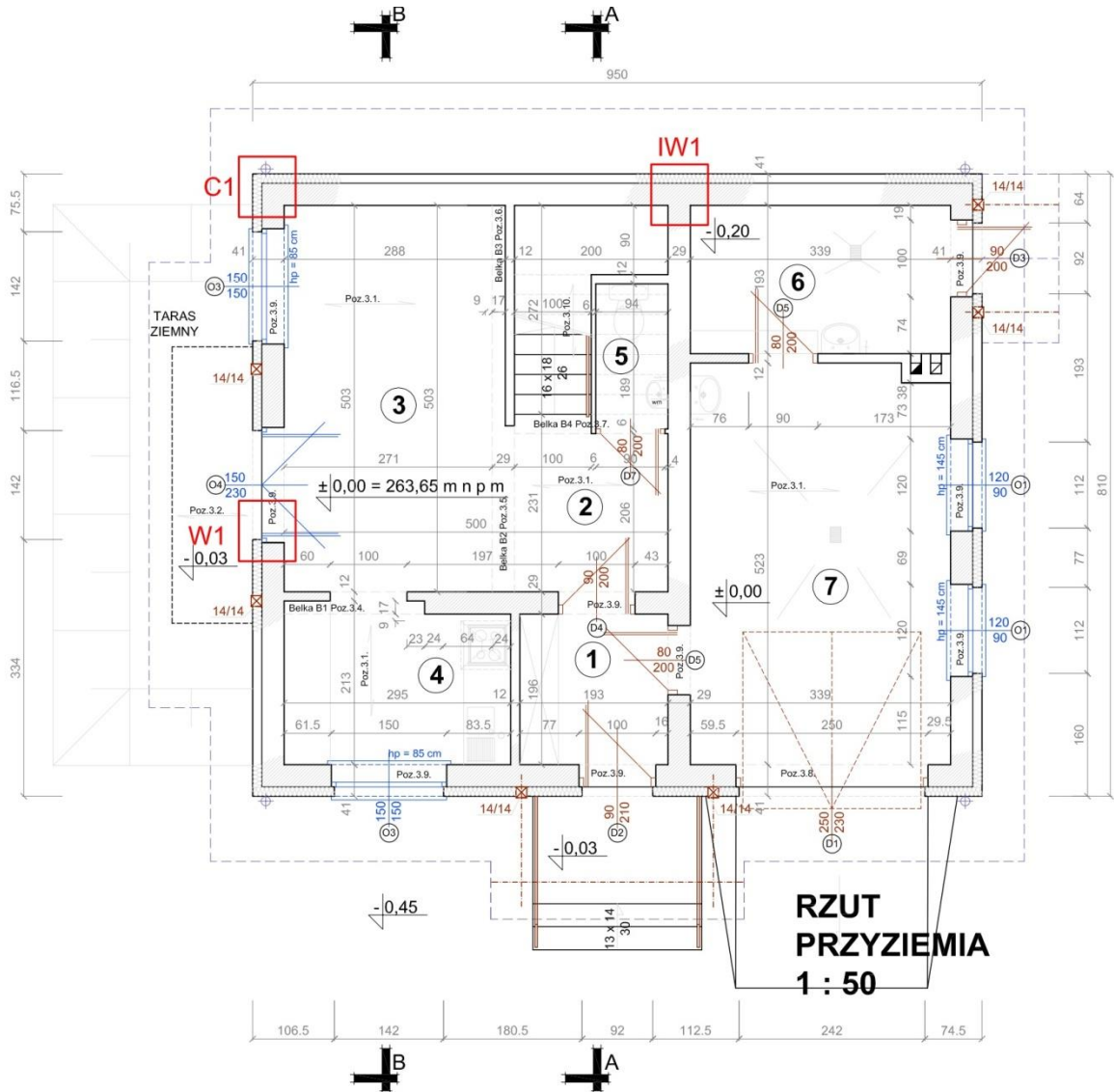
Poniżej w tabeli nr 5.2 przedstawiono listę pomieszczeń z opisem ich funkcji, przyjętymi temperaturami oraz powierzchniami i kubaturami wewnętrznymi.

Tabela 5.2. - Zestawienie pomieszczeń analizowanego budynku mieszkalnego

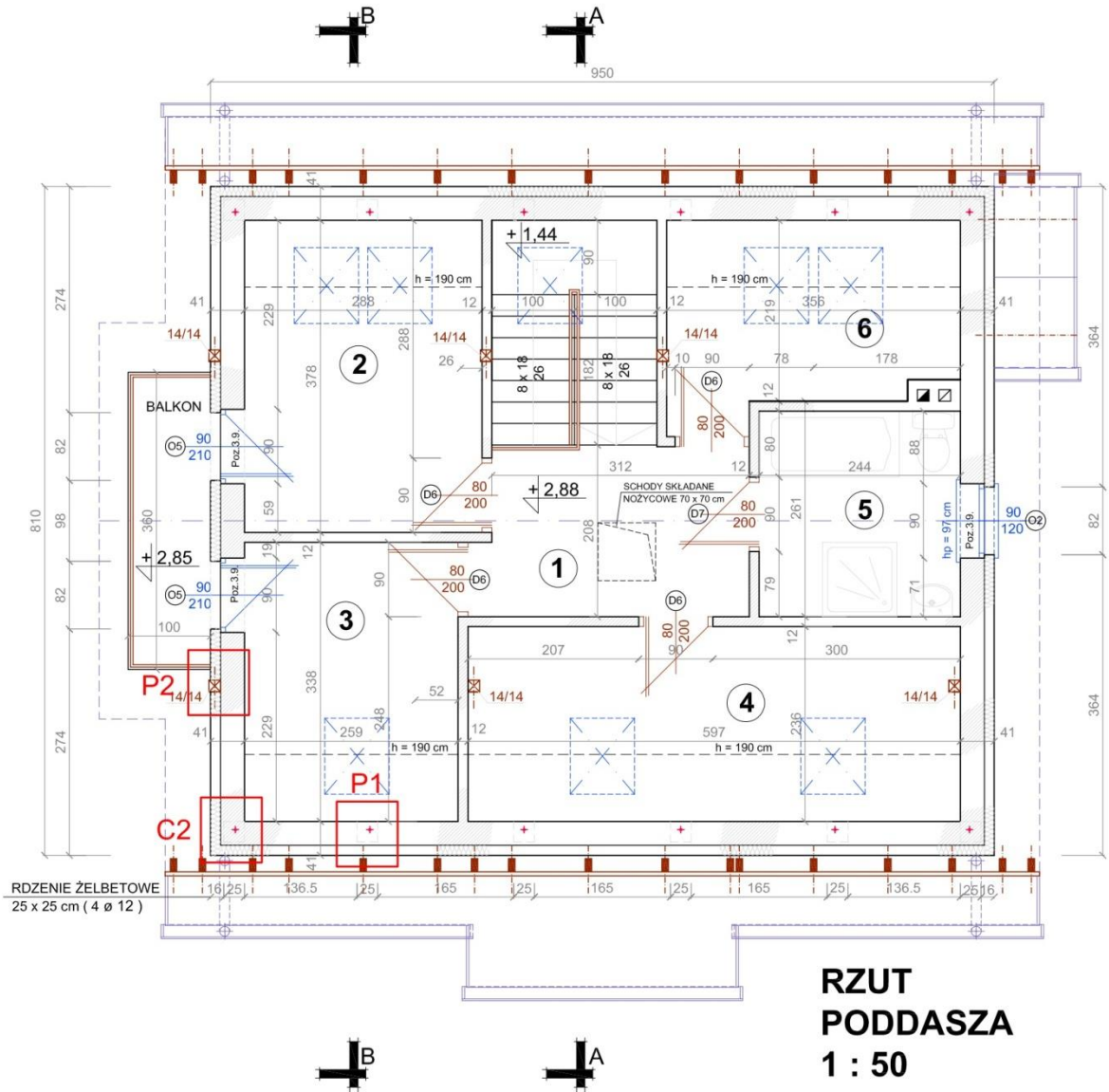
Nr pomieszczenia	Nazwa pomieszczenia	Projektowana temperatura [°C]	Powierzchnia pomieszczenia [m ²]	Kubatura wewnętrzna pomieszczenia [m ³]
PARTER				
1	Wiatrołap	+16	3,78	9,91
2	Holl	+20	8,1	21,1
3	Pokój dzienny	+20	14,3	37,5
4	Kuchnia	+20	6,03	15,8
5	W.C.	+20	1,78	4,66
6	Kotłownia	+16	6,53	17,1
7	Garaż	+16	17,3	45,3
SUMA:			57,82	151,37
PODDASZE				
1	Klatka schodowa	+20	12,2	31
2	Pokój	+20	10,7	27,3
3	Pokój	+20	8,76	22,3
4	Pokój	+20	14,1	35,9
5	Łazienka	+24	6,07	15,5
6	Pokój	+20	7,76	16,8
SUMA:			59,59	148,8
OGÓLEM:			117,41	300,17

5.1. Podkłady architektoniczne analizowanego budynku jednorodzinnego

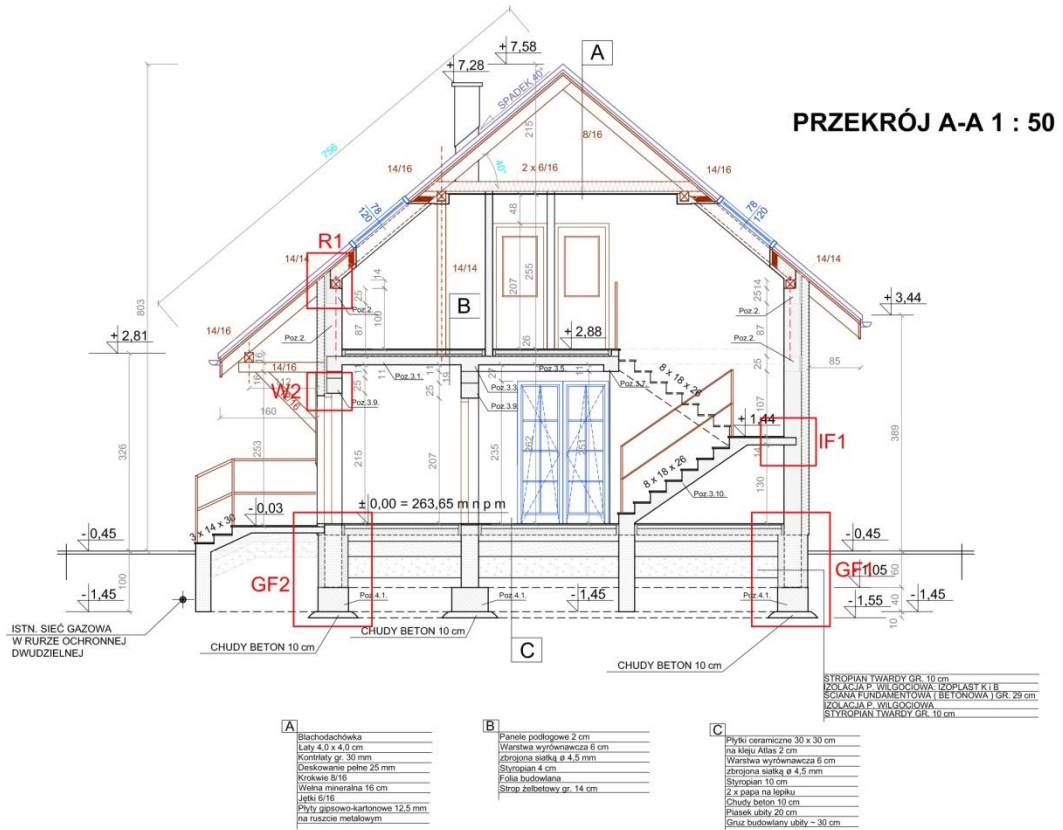
Poniżej przedstawiono rzuty, przekroje oraz elewacje analizowanego budynku. Na podkładach kolorem czerwonym zaznaczono mostki cieplne, które dalej będą dokładnie analizowane w rozdziale 6.



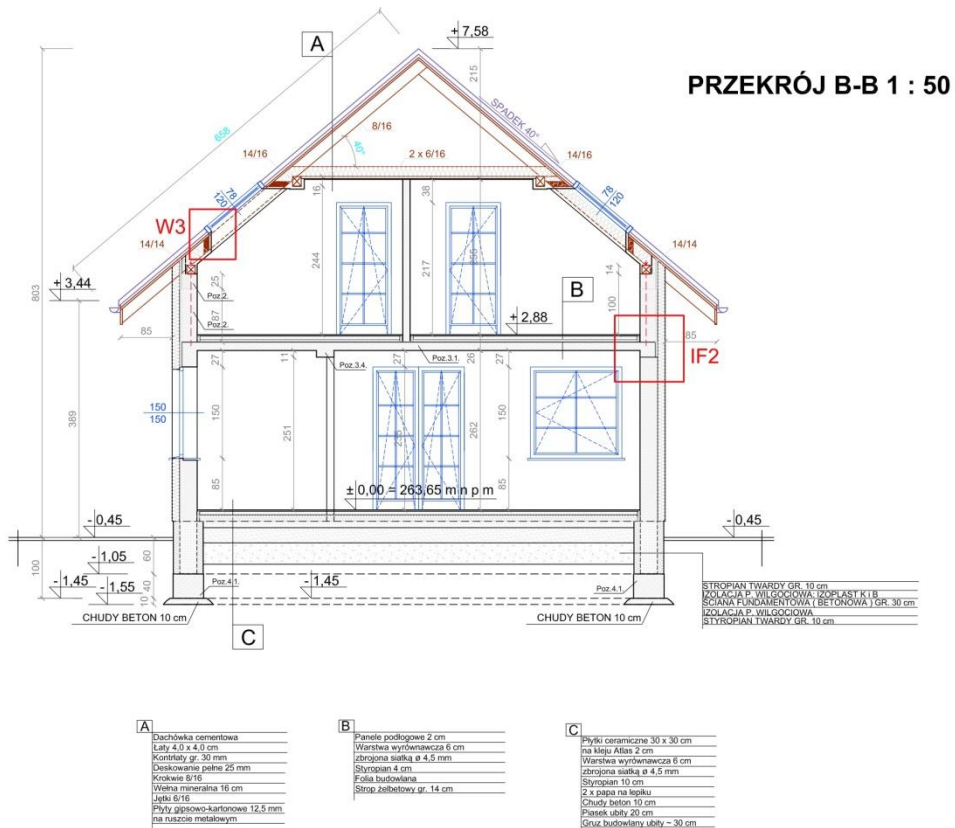
Rysunek 5.1. - Rzut Parteru [Załącznik nr 1]



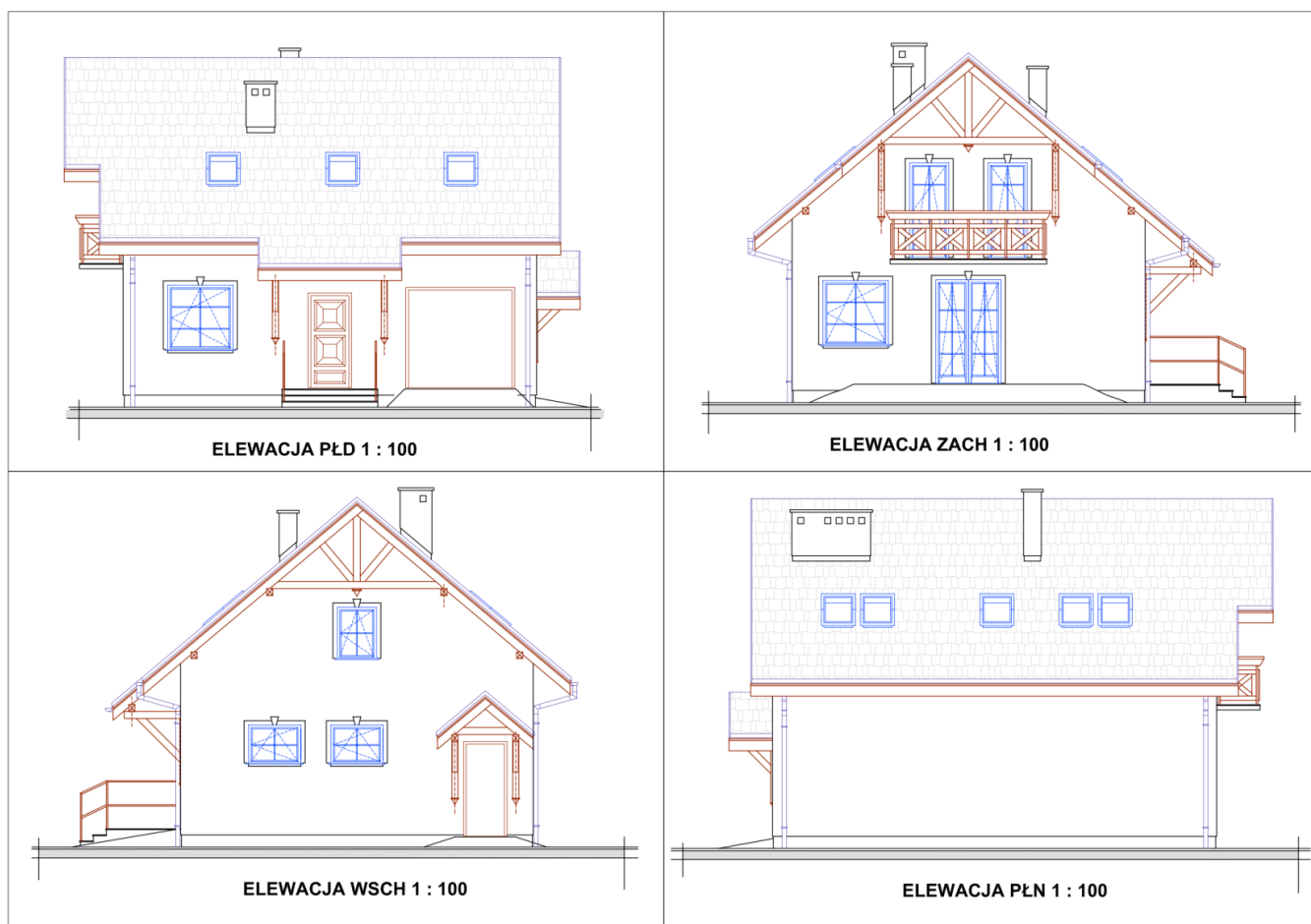
Rysunek 5.2. - Rzut Poddasza [Załącznik nr 1]



Rysunek 5.3. - Przekrój A-A [Załącznik nr 1]



Rysunek 5.4. - Przekrój B-B [Załącznik nr 1]

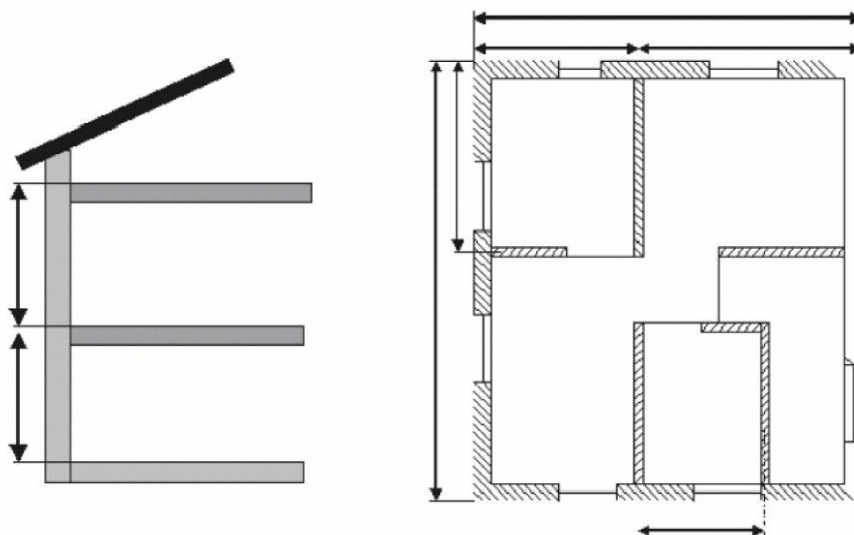


Rysunek 5.5. - Elewacje budynku [Załącznik nr 1]

5.2. Założenia do obliczeń projektowanej straty ciepła

Dla potrzeb obliczenia strat ciepła przez przenikanie założono następujące dane:

- Temperatura zewnętrzna (III strefa) $\theta_e = -20^{\circ}\text{C}$
- Temperatury wewnętrzne wg tab. nr 5.2
- Metoda obliczeń strat ciepła do gruntu PN-EN ISO 13370
- Wymiarowanie przegród budowlanych przeprowadzane będzie na podstawie wymiarów zewnętrznych. Podstawą wymiarów pionowych jest odległość od powierzchni podłogi do powierzchni podłogi na kondygnacji wyższej. Przy rozpatrywaniu wymiarów poziomych, w przypadku ścian wewnętrznych bierze się pod uwagę połowę grubości ściany wewnętrznej.



Rysunek 5.6. – Przyjęta metoda wymiarowania. [2]

Do celów obliczeń dotyczących oceny wpływu mostków cieplnych w całkowitej projektowanej stracie ciepła (przez przenikanie i wentylację) należy założyć dane, które mają wpływ na wielkość straty przez wentylację tj.:

- Typ wentylacji - mechaniczna z odzyskiem ciepła
- Sprawność odzysku ciepła - 80%
- Wydatek powietrza wentylacyjnego - $165\text{m}^3/\text{h}$
- Szczelność budynku - wysoka, $n_{50} = 1,5 \text{ 1/h}$

Pomieszczenia mieszkalne objęte są systemem wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła. Pomieszczenie garażu i kotłowni, oddzielone od pozostałej części budynku będzie posiadało wentylację grawitacyjną.

Tabela 5.3. - Wartości strumienia powietrza wentylacyjnego

Nr pomieszczenia	Nazwa pomieszczenia	Kubatura wewnętrzna pomieszczenia [m ³]	Strumień powietrza nawiewanego V _{SU} [m ³ /h]	Strumień powietrza wywiewanego V _{EX} [m ³ /h]	Strumień powietrza (wentylacja naturalna) V _{min} [m ³ /h]	Strumień powietrza infiltrującego V _{inf} [m ³ /h]
1	Wiatrołap	9,91		15		0,59
2	Holl	21,1	-	-		0,00
3	Pokój dzienny	37,5	65			3,38
4	Kuchnia	15,8		70		0,98
5	W.C.	4,66		30		0,00
6	Kotłownia	17,1	-	-	17,1	1,03
7	Garaż	45,3	-	-	90,6	4,08
1	Klatka schodowa	31	-	-		1,86
2	Pokój	27,3	20			2,46
3	Pokój	22,3	20			2,01
4	Sypialnia	35,9	40			2,16
5	Łazienka	15,5	-	50		0,93
6	Pokój	16,8	20			1,19

5.3. Wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych

Poniżej przedstawiono podsumowanie wyników obliczeń współczynników U dla wszystkich przegród budowlanych występujących w budynku.

Tabela 5.4. – Współczynniki U dla przegród budowlanych (w strefie podstawowej)

Zestawienie przegród				
Nazwa przegrody	Typ	U [W/(m ² ·K)]	Opis	Uwagi
SZ	SZ	0,22	Ściana zewnętrzna – parteru	
SZ_Rdz	SZ	0,24	Ściana zewnętrzna z rdzeniami – poddasze	Przegroda przyjęta w metodzie uproszczonej

OZ	OZ	1,10	Okno zewnętrzne	
OZD	OZ	1,40	Okno zewnętrzne dachowe	
DZ	DZ	1,50	Drzwi zewnętrzne wejściowe	
DZB	DZ	1,10	Drzwi zewnętrzne balkonowe	
DZG	DZ	1,80	Drzwi zewnętrzne garażowe	
DZT	DZ	2,00	Drzwi zewnętrzne techniczne	
P	PG	0,28	Podłoga na gruncie	
StW	StW	0,65	Strop wewnętrzny	
SW 12	SW	2,04	Ściana wewnętrzna z cegły dziurawki	
SW 29	SW	0,55	Ściana wewnętrzna z pustaków MAX	
SW 6,5	SW	2,49	Ściana wewnętrzna z cegły dziurawki	
DW	DW	2,50	Drzwi wewnętrzne	
D_K	SD	0,28	Dach - przegroda z krokwiami	Przegroda przyjęta w metodzie uproszczonej
D_J	SD	0,30	Dach - przegroda z jętkami	Przegroda przyjęta w metodzie uproszczonej

Szczegółową budowę przegród wraz z przyjętymi wartościami współczynnika wnikania ciepła przedstawiono w zestawieniu wyników obliczeń strat ciepła - wydruk z programu Instal-OZC - (załącznik. 11.2)

5.4. Program do obliczeń projektowanej straty ciepła

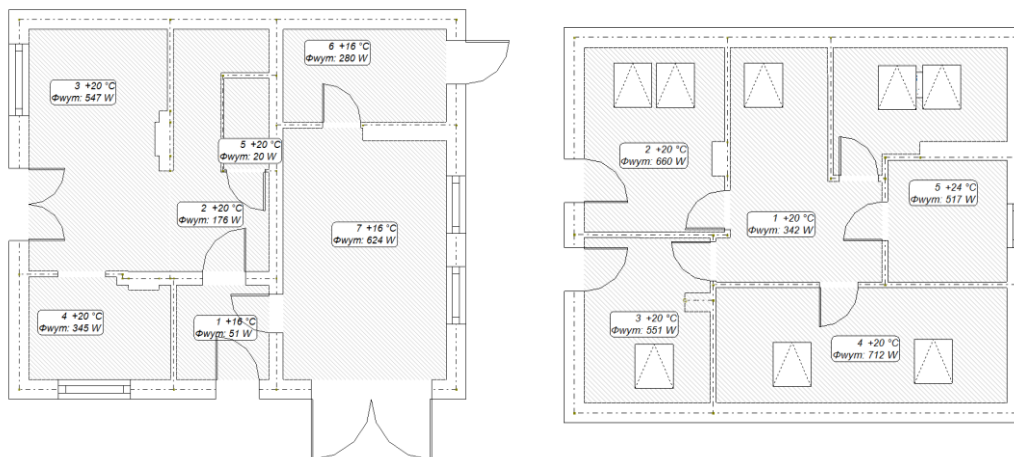
Do obliczeń strat ciepła przez przenikanie został wykorzystany program firmy Instalsoft z Chorzowa. W ramach pakietu dostępne są dwa programy do obliczeń cieplnych które współdzielą wartości obliczeniowe między sobą : Instal-therm oraz Instal-OZC.

Instal-therm służy do graficznego modelowania budynku dla potrzeb obliczeń wielkości projektowego obciążenia cieplnego. W nim definiuje się graficznie całą bryłę budynku z niezbędnymi wymiarami.

Instal-OZC stanowi uzupełnienie programu Instal-therm. Służy do wykonywania obliczeń współczynników przenikania ciepła „U” (lub oporu cieplnego „R”) przegród budowlanych, strat ciepła pomieszczeń oraz sezonowego zapotrzebowania na ciepło w budynkach. Dzięki szerokim możliwościom modyfikacji danych umożliwia m.in. wykonywanie analiz zależności strat ciepła od poszczególnych parametrów budynku, np. parametrów izolacji cieplnej, wymiarów okien, itd. oraz oceny efektów możliwych

działań termomodernizacyjnych w istniejącym budynku, przez obliczenie zapotrzebowania energii do ogrzewania bez oraz z uwzględnieniem efektów tych działań. [16]

Poniżej przedstawiono rzuty kondygnacji wymodelowane w programie Instal-therm.



Rysunek 5.7. - Rzut parteru i poddasza - model graficzny wykonany z użyciem programu Instal-therm.

6. Mostki cieplne występujące w budynku

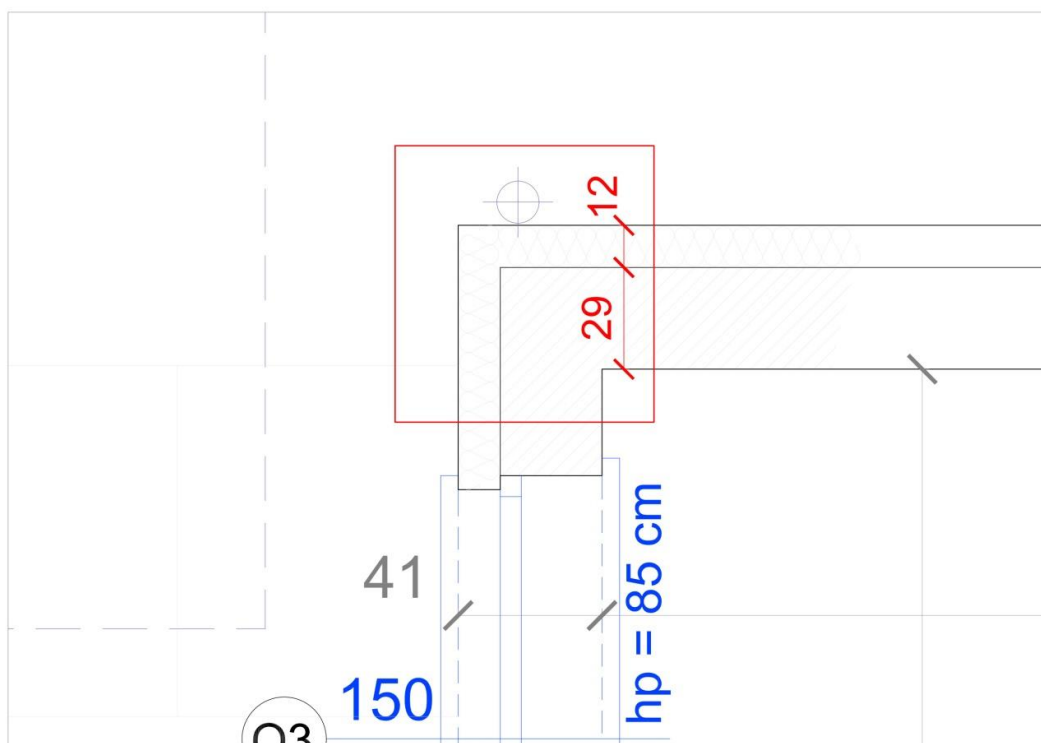
Dla potrzeb analizy wpływu uwzględniania mostków cieplnych na wynik obliczeń strat przenikania ciepła, zostało przeanalizowanych 14 głównych mostków cieplnych, które występują w przedmiotowym budynku. Dla każdego mostka był wyliczony:

- dodatek ΔU_{tb} stosowany w metodzie uproszczonej normy PN-EN 12831
- współczynnik Ψ , odczytany z tabeli normy PN-EN 14683
- współczynnik Ψ , przy wykorzystaniu obliczeń numerycznych z użyciem programu Antherm.

Poniżej zostały przedstawione te mostki oraz otrzymane dla nich dodatki ΔU_{tb} i współczynniki Ψ , odczytane z tabeli stanowiącej załącznik do normy PN-EN 14683 oraz ustalone przy wykorzystaniu programu Antherm.

6.1. C1 - Naroże ścian zewnętrznych

Połączenie ścian zewnętrznych z izolacją termiczną.



Rysunek 6.1. - Rzut mostka cieplnego - C1

6.1.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Dla obliczeń strat przez przenikanie dla pionowych elementów budynku: liczba stropów przecinających izolacji = 0, liczba przecinanych ścian = 0

$$\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K};$$

6.1.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

Na podstawie tabeli A.2 normy, wartość współczynnika liniowego Ψ dla mostka wynosi :

$$\Psi = - 0,05 \text{ W/(mK)}.$$

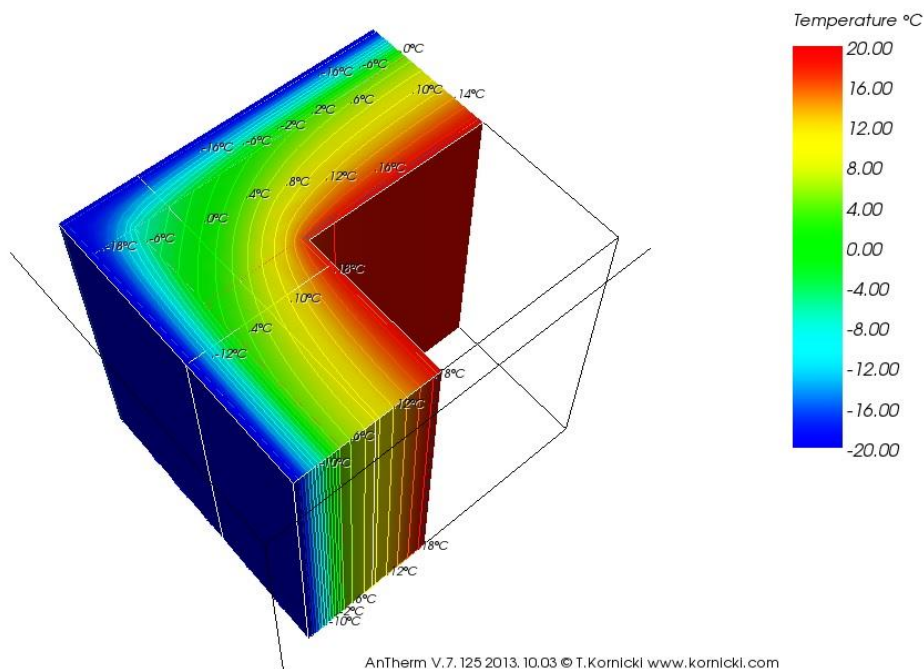
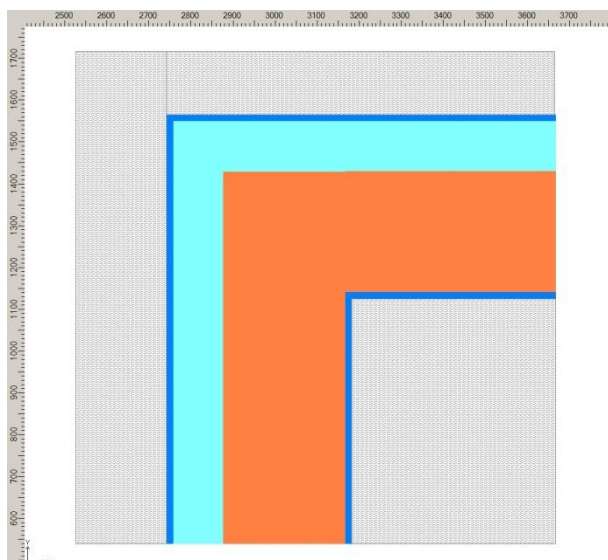
6.1.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Dane:

$$l = 2,0 \text{ [m]}$$

$$U_i = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820



Rysunek 6.2. - Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - C1

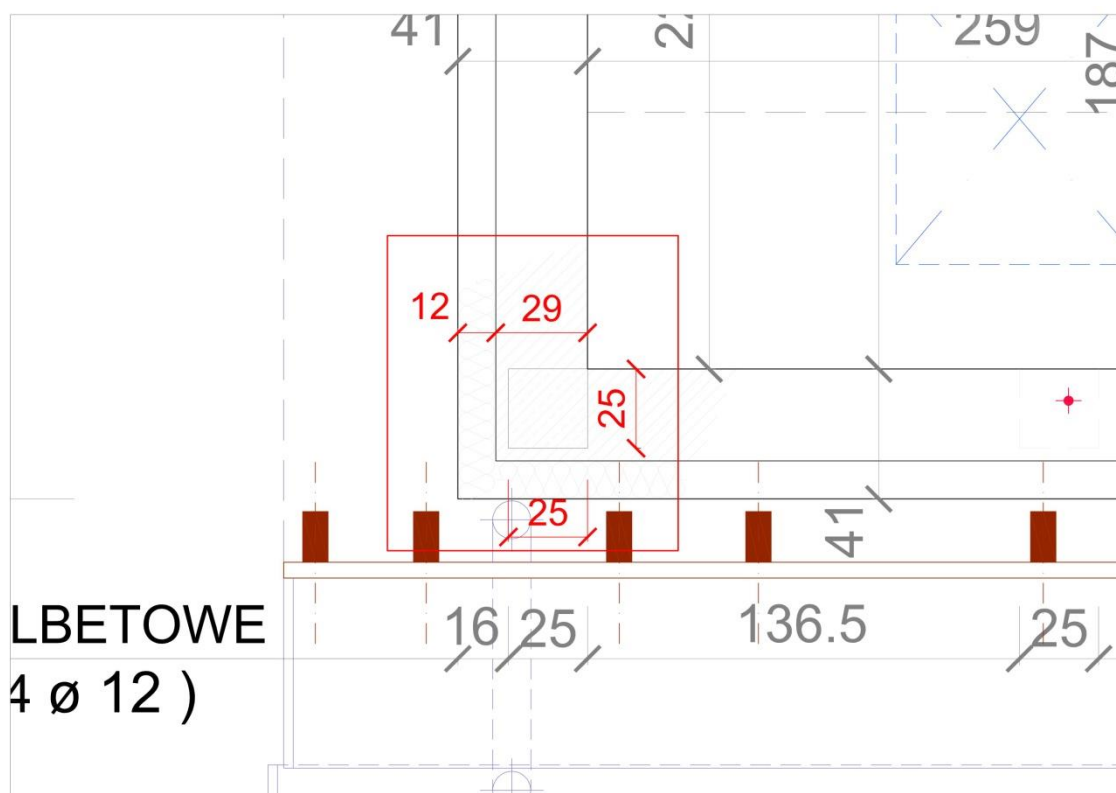
Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,3282 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ wg wzoru (4.6) pozwalają ustalić:

$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i) = 0,3282 - (0,2182 * 2,0) = -0,1082 \text{ W/(mK)}$$

6.2. C2 - Naroże ścian zewnętrznych z rdzeniem żelbetowym

Połączenie ścian występuje w ścianach na poziomie poddasza. Rdzeń nie przecina izolacji termicznej.



Rysunek 6.3. - Rzut mostka cieplnego - C2

6.2.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Dla obliczeń strat ciepła przez przenikanie dla pionowych elementów budynku:
liczba stropów przecinających izolacji = 0, liczba przecinanych ścian = 0

$$\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)};$$

6.2.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

Na podstawie tabeli A.2 z normy wartość Ψ wynosi :

$$\Psi = -0,05 \text{ W/(mK)}$$

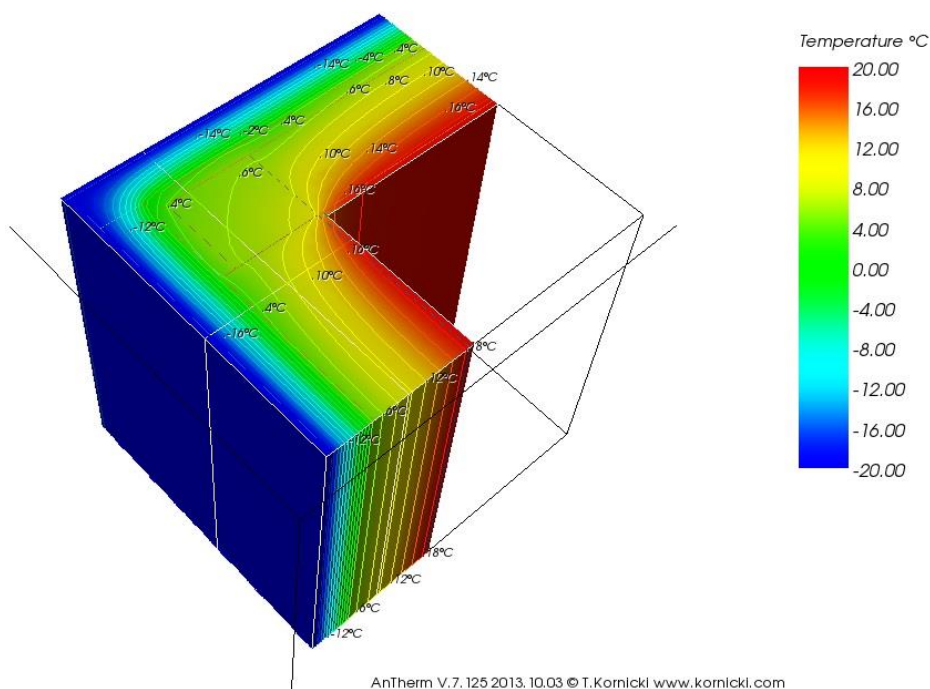
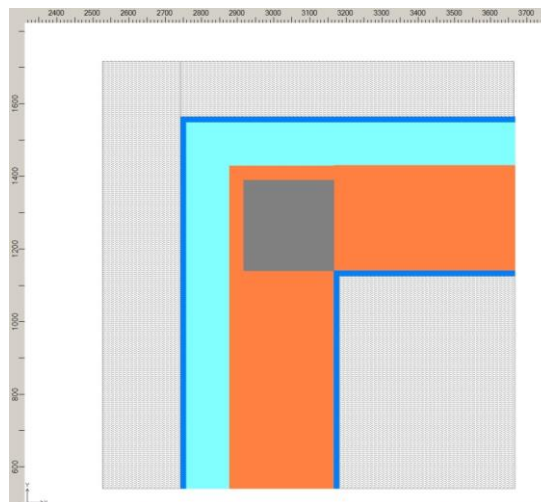
6.2.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Dane:

$$l = 2,0 \text{ [m]}$$

$$U_i = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820
	Żelbet	1,700



Rysunek 6.4. - Wizualizacja izoterm w obszarze oddziaływania mostka cieplnego - C2

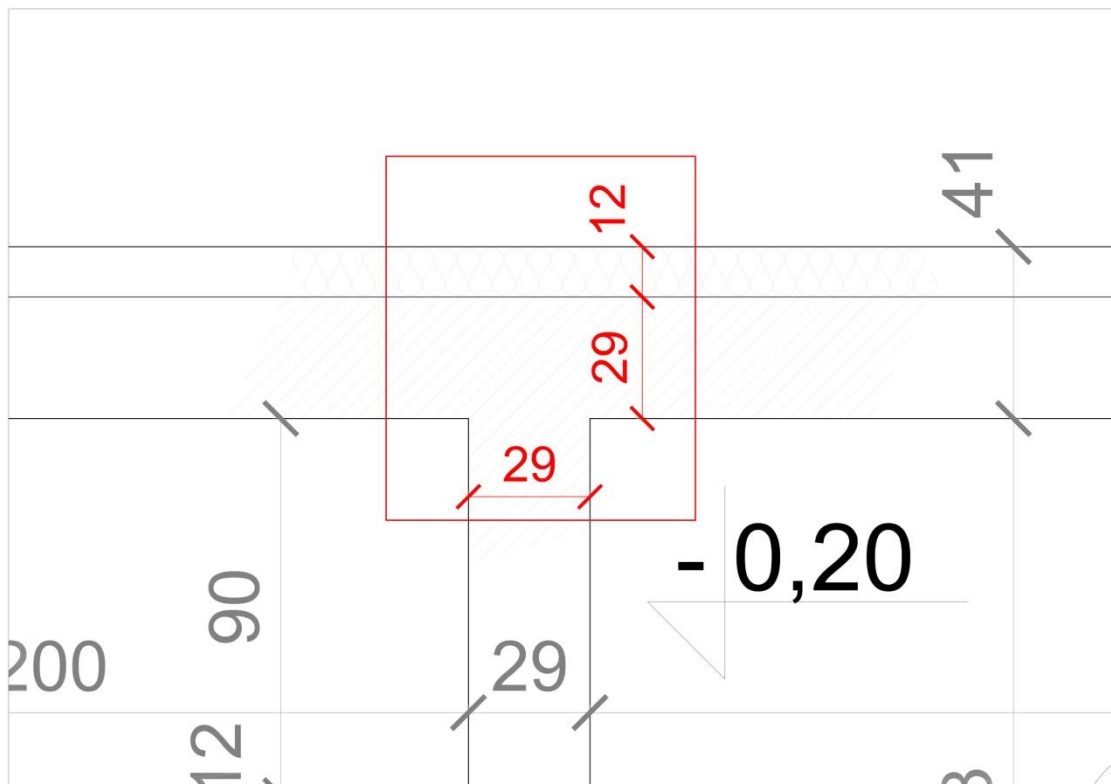
Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,3690 \text{ W/(mK)}$

Wynik obliczeń współczynnika Ψ wg wzoru (4.6) pozwala ustalić:

$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i) = 0,3690 - (0,2182 * 2,0) = -0,0674 \text{ W/(mK)}$$

6.3. IW1 - Połączenie ściany wewnętrznej i zewnętrznej

Ten mostek występuje przy połączeniu ścian wewnętrznych ze ścianami zewnętrznymi. Izolacja zewnętrzna jest ciągła na całej długości ściany zewnętrznej.



Rysunek 6.5. - Rzut mostka cieplnego - IW1

6.3.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Dla obliczeń strat przez przenikanie dla pionowych elementów budynku: liczba stropów przecinających izolacji = 0, liczba przecinanych ścian = 0

$$\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K});$$

6.3.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

Na podstawie tabeli A.2 z normy wartość Ψ wynosi :

$$\Psi = 0,00 \text{ W}/(\text{mK})$$

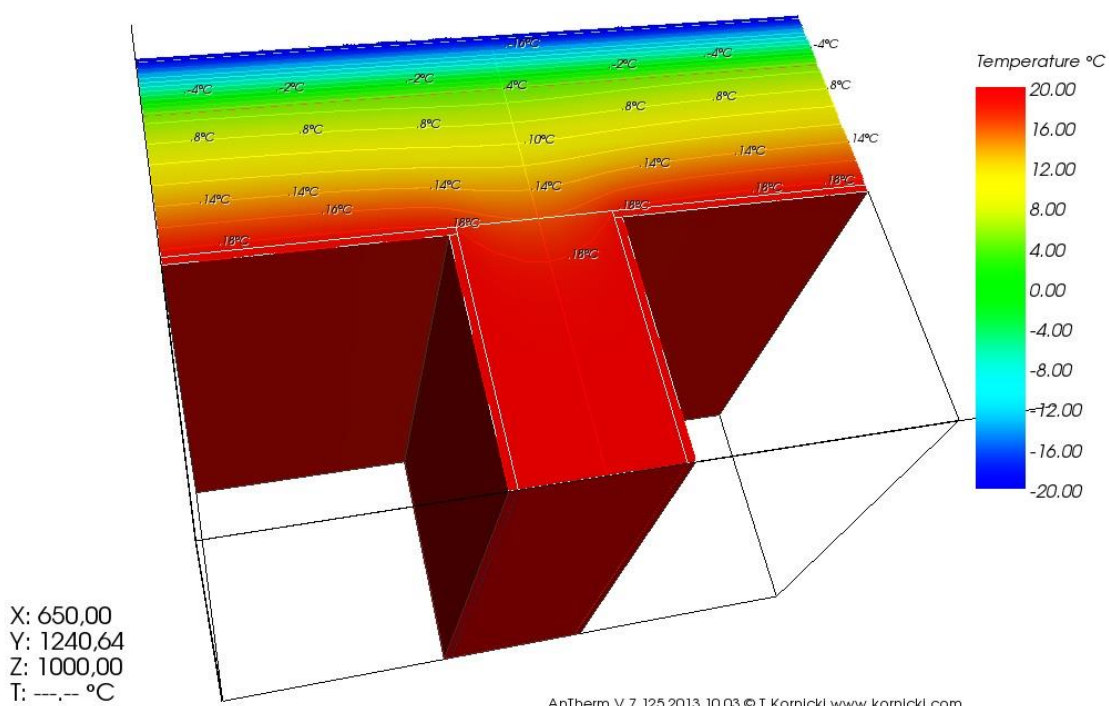
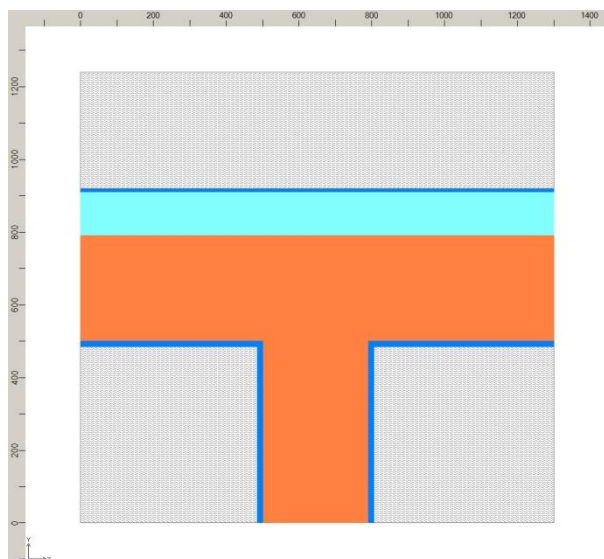
6.3.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Dane:

$$l = 1,3 \text{ [m]}$$

$$U_i = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820



Rysunek 6.6. - Wizualizacja izoterm mostka cieplnego - IW1

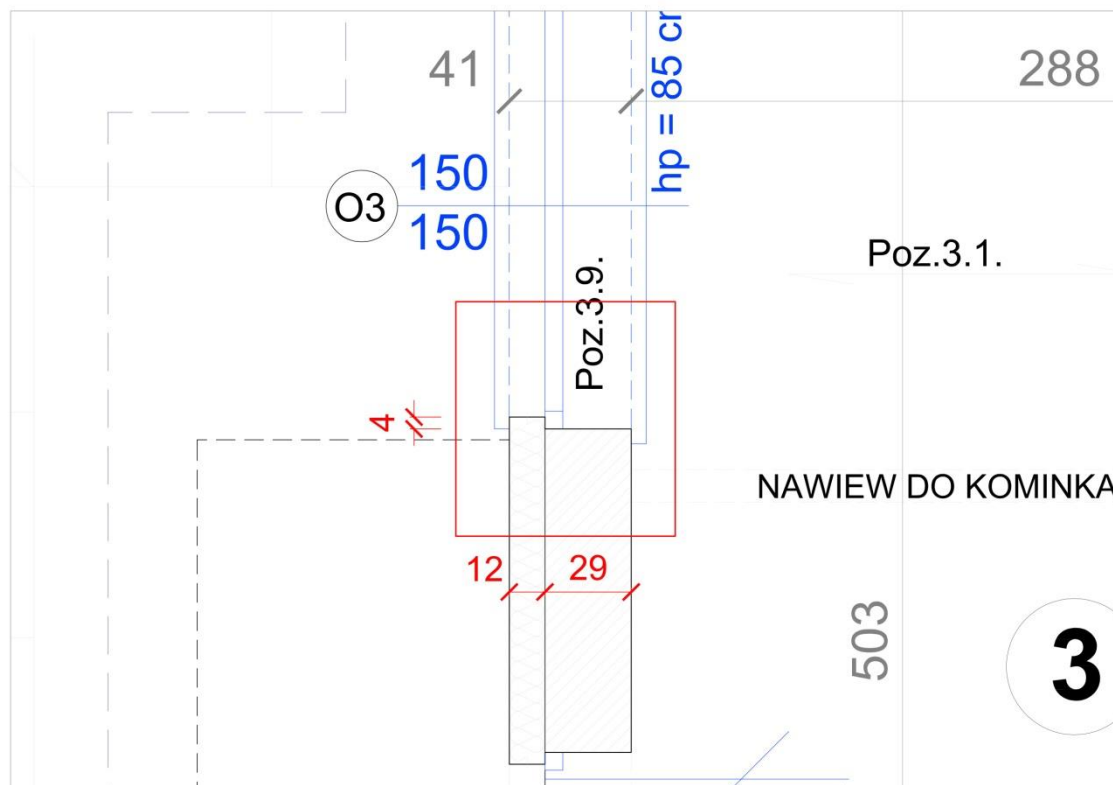
Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,2794 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ wg wzoru (4.6):

$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i) = 0,2794 - (0,2182 * 1,3) = -0,0043 \text{ W/(mK)}.$$

6.4. W1 - Montaż okna w ścianie zewnętrznej

Jest kilka różnych sposobów montażu okien zewnętrznych w ścianie zewnętrznej. Najczęstszym rozwiązaniem jest licowanie okien z ścianą. Izolacja zachodzi na ramę okienną - w tym przypadku ok. 4cm.



Rysunek 6.7. - Rzut mostka cieplnego - W1

6.4.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Zgodnie z powyższą normą dodatek ΔU_{tb} jest uzależniony od powierzchni otworu okiennego.

Dla otworu okiennego o powierzchni 0 - 2 m² $\Delta U_{tb} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;

Dla otworu okiennego o powierzchni >2 - 4 m² $\Delta U_{tb} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;

Dla otworu okiennego o powierzchni >4 - 9 m² $\Delta U_{tb} = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;

6.4.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

W tabeli A.2 zawartej w normie nie można odnaleźć rozpatrywanego przypadku. Przyjmuję współczynnik Ψ :

$$\Psi = 0,10 \text{ W}/(\text{mK})$$

6.4.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

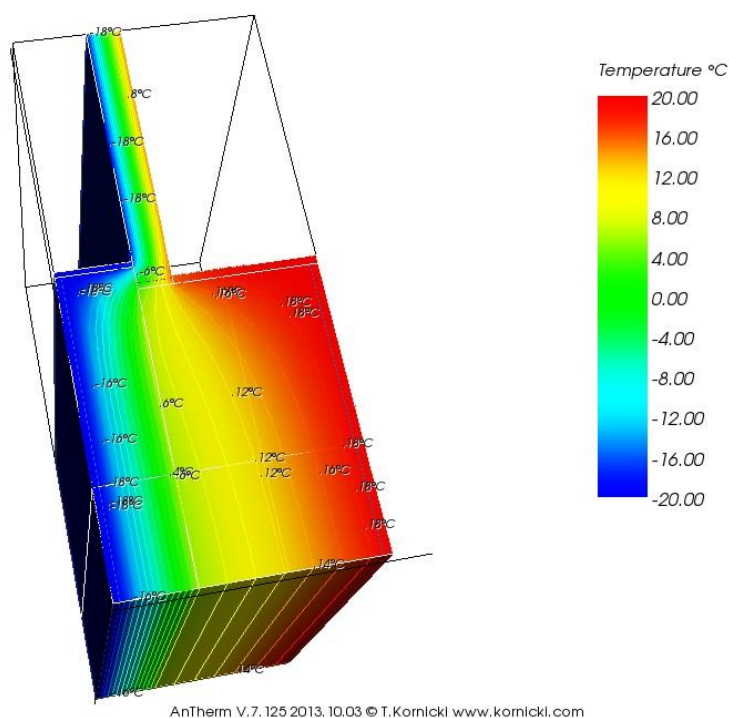
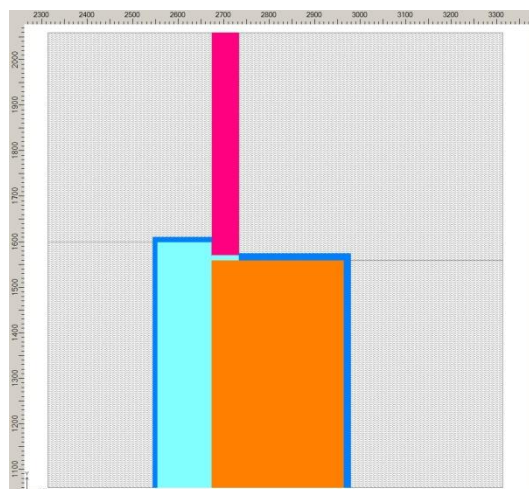
Dane:

$$l_{sc} = l_o = 0,5 \text{ [m]}$$

$$U_{i(sc)} = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$U_{i(ok)} = 1,1000 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820
	Okno	$U_{i(ok)} = 1,1$



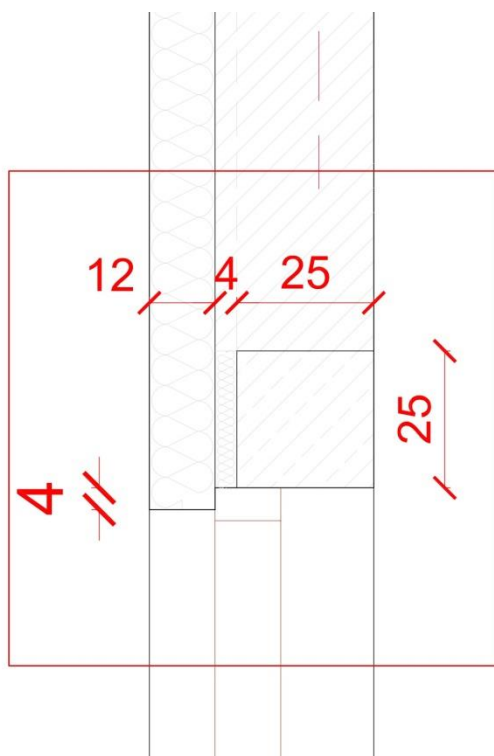
Rysunek 6.8. - Wizualizacja izoterm w obszarze oddziaływania mostka cieplnego - W1

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,6647 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ wg wzoru (4.6) :

$$\Psi = L^{2D} - (U_{sc} * l_{sc}) + (U_o * L_o) = 0,6647 - ((0,2182 * 0,5) + (1,1 * 0,5)) = \mathbf{0,0056 \text{ W/(mK)}}.$$

6.5. W2 - Montaż okna w ścianie zewnętrznej - nadproże



Rysunek 6.9. - Rzut mostka cieplnego - W2

6.5.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Zgodnie z powyższą normą dodatek ΔU_{tb} jest uzależniony od powierzchni otworu okiennego.

Dla otworu okiennego o powierzchni $0 - 2 \text{ m}^2$ $\Delta U_{tb} = 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$;

Dla otworu okiennego o powierzchni $>2 - 4 \text{ m}^2$ $\Delta U_{tb} = 0,4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$;

Dla otworu okiennego o powierzchni $>4 - 9 \text{ m}^2$ $\Delta U_{tb} = 0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$;

6.5.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

W tabeli A.2 zawartej w normie nie można odnaleźć rozpatrywanego przypadku.

Przyjmuję współczynnik Ψ :

$$\Psi = 0,10 \text{ W/(mK)}$$

6.5.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

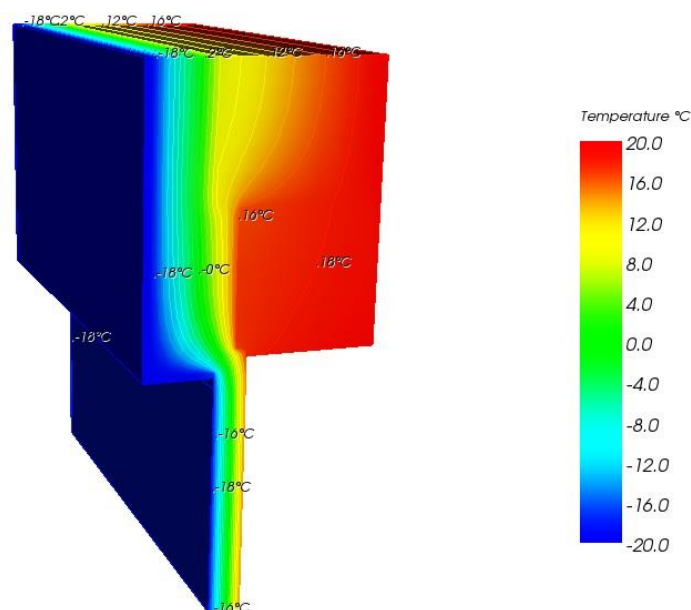
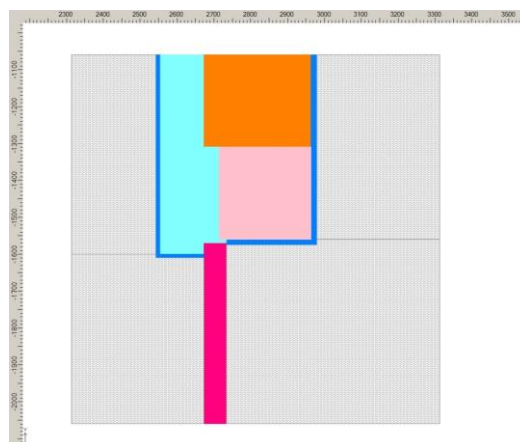
Dane:

$$l_{sc} = l_o = 0,5 \text{ [m]}$$

$$U_{i(sc)} = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$U_{i(ok)} = 1,1000 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820
	Żelbet	1,700
	Okno	$U_{i(ok)} = 1,1$



AnTherm V.7.125 2013.10.03 © T.Kornicki www.kornicki.com

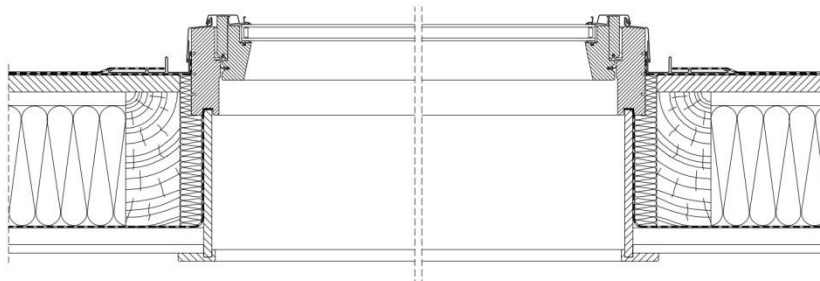
Rysunek 6.10. - Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - W2

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,6700 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ wg wzoru (4.6) wynoszą:

$$\Psi = L^{2D} - (U_{sc} * l_{sc}) + (U_o * l_o) = 0,6700 - ((0,2182 * 0,5) + (1,1 * 0,5)) = 0,0109 \text{ W/(mK)}.$$

6.6. W3 - Montaż okna dachowego



Rysunek 6.11 - Rzut mostka cieplnego - W3

6.6.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Zgodnie z powyższą normą dodatek ΔU_{tb} jest uzależniony od powierzchni otworu okiennego.

Dla otworu okiennego o powierzchni $0 - 2 \text{ m}^2$ $\Delta U_{tb} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;

Dla otworu okiennego o powierzchni $>2 - 4 \text{ m}^2$ $\Delta U_{tb} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;

Dla otworu okiennego o powierzchni $>4 - 9 \text{ m}^2$ $\Delta U_{tb} = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;

6.6.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

W tabeli A.2 wyżej wymienionej normy nie można odnaleźć rozpatrywanego przypadku. Przyjmuję współczynnik Ψ :

$$\Psi = 0,10 \text{ W}/(\text{mK})$$

6.6.1. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Dane:

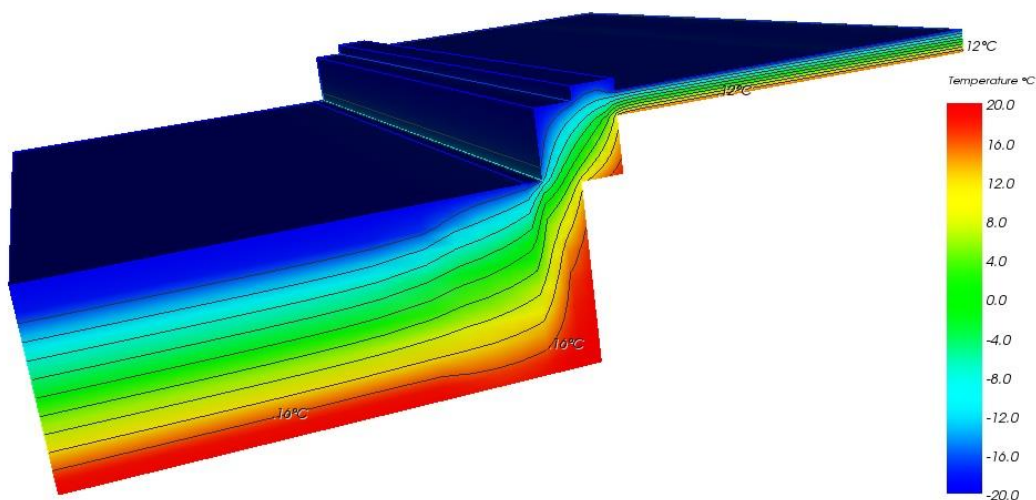
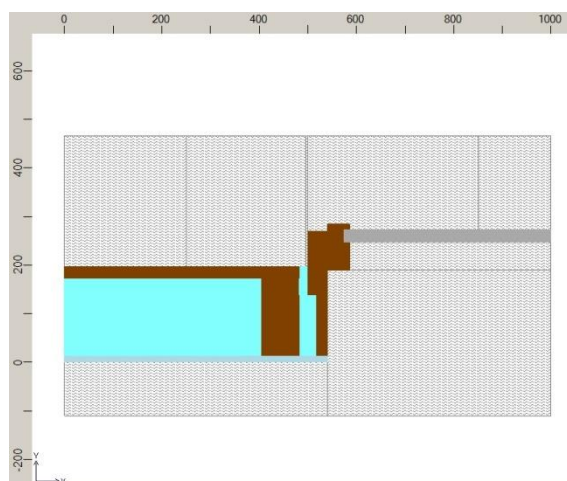
$$l_d = 0,5 \text{ [m]}$$

$$l_w = 0,5 \text{ [m]}$$

$$U_{i(d)} = 0,2284 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$U_{i(w)} = 1,400 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Włna min.	0,040
	Drewno	0,160
	Płyta GK	0,230
	Okno dachowe	$U_{i(w)} = 1,4$ W/m ² K



Rysunek 6.12 - Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - W3

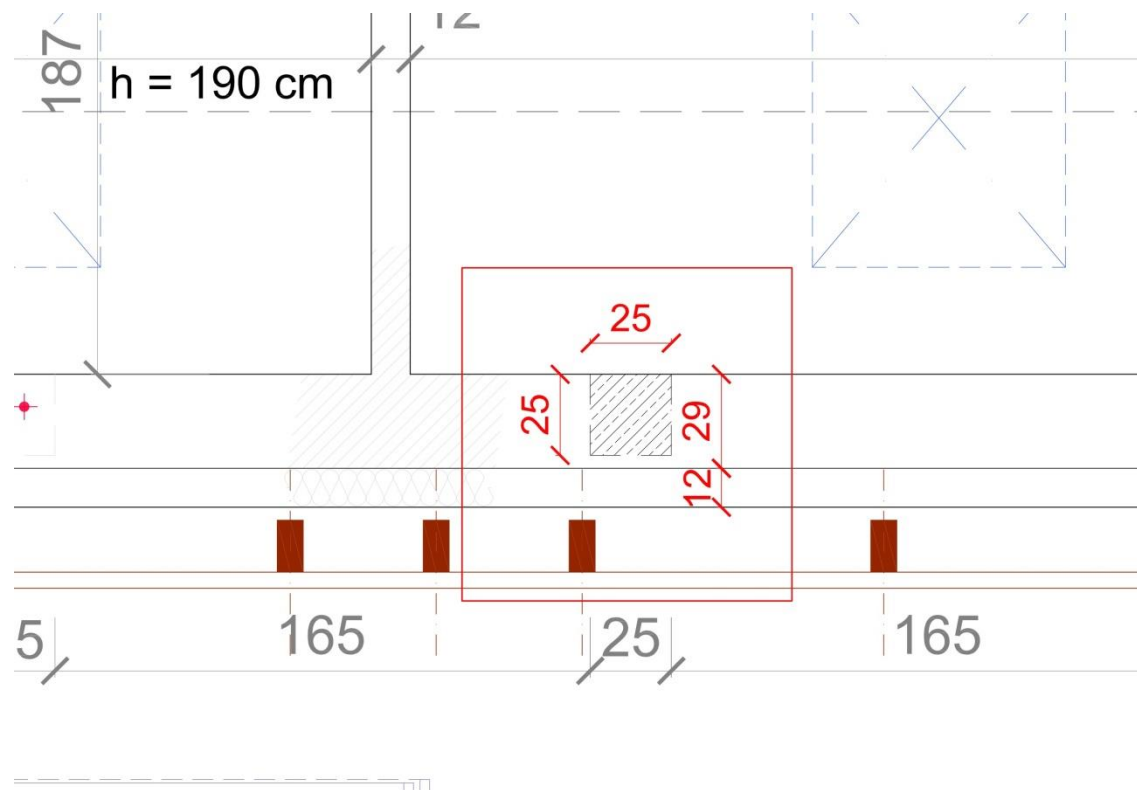
Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,9008 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

$$\begin{aligned} \Psi &= L^{2D} - (U_d * l_d) + (U_w * l_w) = \\ &= 0,9008 - ((0,2284 * 0,5) + (1,4 * 0,5)) = 0,0866 \text{ W/(mK)}. \end{aligned}$$

6.7. P1 - Rdzeń żelbetowy w ścianie zewnętrznej poddasza

Rdzeń żelbetowy znajduje się w ścianie zewnętrznej muru ceramicznego poddasza. Izolacja jest ciągła na całej długości.



Rysunek 6.13. - Rzut mostka cieplnego - P1

6.7.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Dla obliczeń strat przez przenikanie dla pionowych elementów budynku: liczba stropów przecinających izolacji = 0, liczba przecinanych ścian = 0

$$\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K});$$

6.7.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

W tabeli A.2 wyżej wymienionej normy nie znaleziono odpowiedniego przypadku. Przyjęto, że izolacja jest ciągła na całej długości przegrody.

$$\Psi = 0,00 \text{ W}/(\text{mK});$$

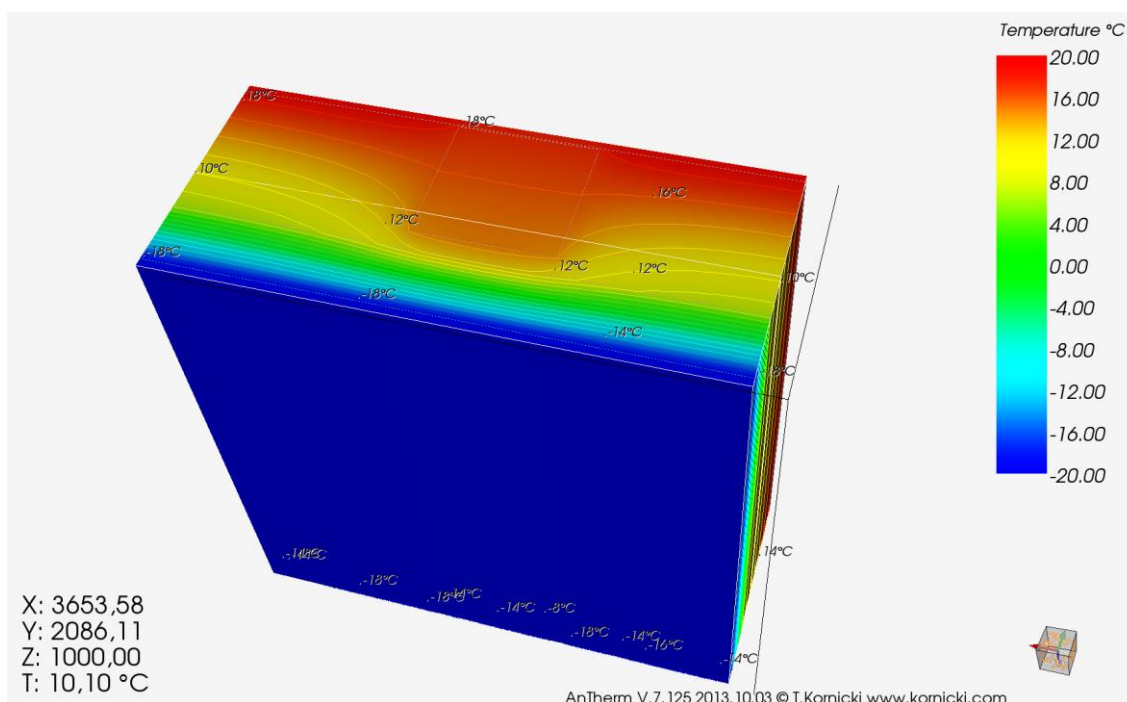
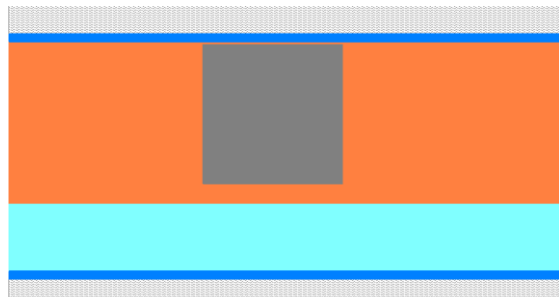
6.7.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Dane:

$$l = 2,0 \text{ [m]}$$

$$U_i = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820
	Żelbet	1,700



Rysunek 6.14. - Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - P1

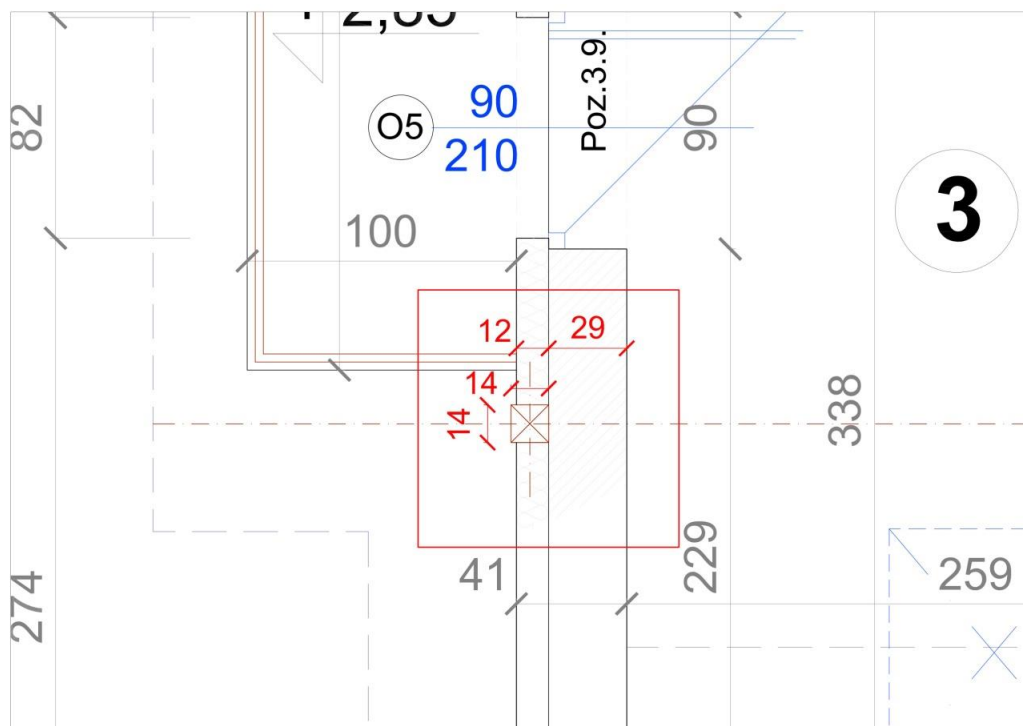
Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,4668 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i) = 0,4668 - (0,2182 * 2,0) = 0,0304 \text{ W/(mK)}.$$

6.8. P2 - Konstrukcja drewniana w ścianie zewnętrznej

Budynek posiada balkon podwieszany na konstrukcji drewnianej oraz dwa zadaszenia na drzwiach zewnętrznymi. Dla uproszczenia zostanie przyjęto przecięcie belką drewnianą izolacji termicznej.



Rysunek 6.15. - Rzut mostka cieplnego - P2

6.8.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Zgodnie z powyższą normą element konstrukcyjny (belka drewniana) przecina izolację.

$$\Delta U_{tb} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K});$$

6.8.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

W tabeli A.2 normy nie znaleziono odpowiedniego przypadku. Przyjęto współczynnik

$$\Psi = 0,00 \text{ W}/(\text{mK});$$

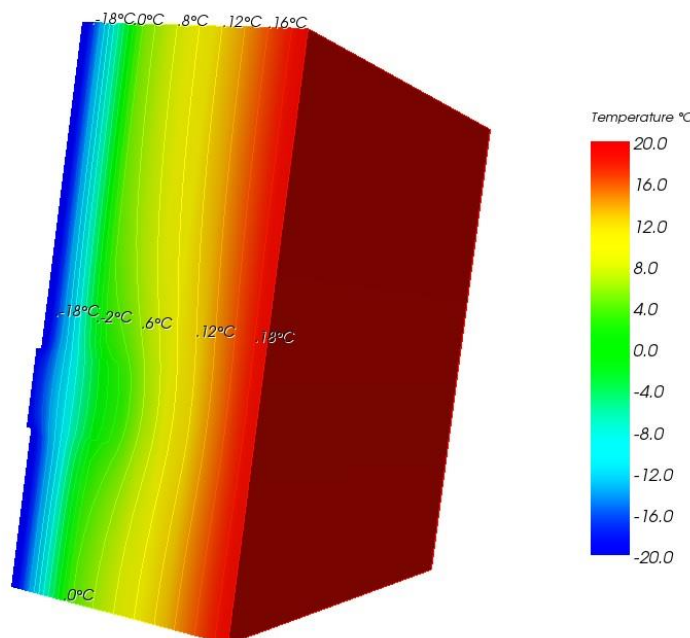
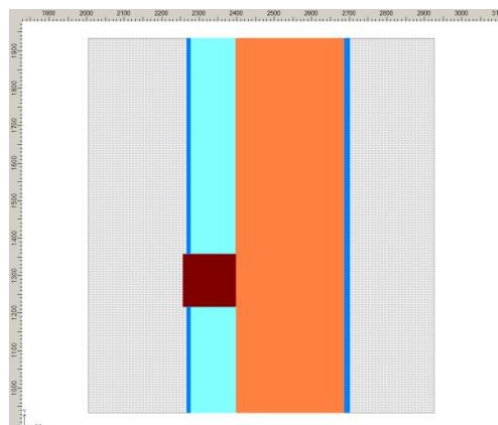
6.8.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Dane:

$$l = 1,0 \text{ [m]}$$

$$U_i = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820
	Drewno	0,16



AnTherm V.7.125 2013.10.03 © T.Kornicki www.kornicki.com

Rysunek 6.16. - Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - P2

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,2506 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i) = 0,2506 - (0,2182 * 1,0) = 0,0324 \text{ W/(mK)}.$$

6.9. P3 - Krokiew z izolacją termiczną dachu

W przegrodzie dachu, która składa się z wełny mineralnej oraz krokwi, przyjęto iż krokwie stanowią liniowy mostek cieplny. Takie też założenie przyjęto przy wyznaczaniu współczynnika Ψ przy pomocy programu Antherm.

6.9.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Mostek cieplny uwzględniono we współczynniku U dla danej przegrody- według tabeli nr 7.

6.9.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

Mostek cieplny uwzględniono we współczynniku U dla danej przegrody- według tabeli nr 7.

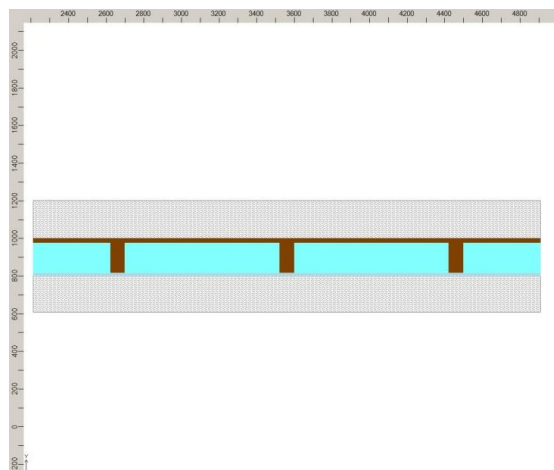
6.9.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Dane:

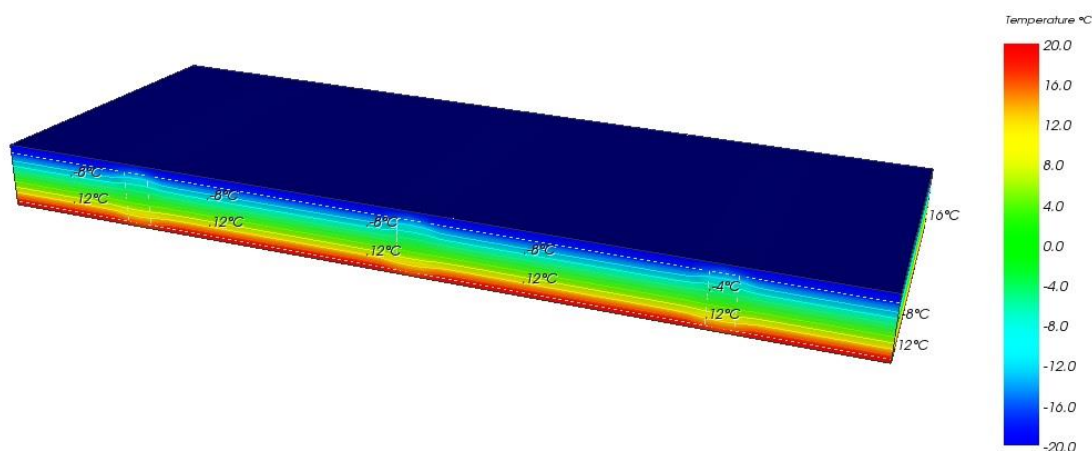
$$l = 2,7 \text{ [m]}$$

$$U_i = 0,2284 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$n = 3$ (ilość krokwi w badanym modelu)



Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Wełna min.	0,040
	Płyta G-K	0,230
	Drewno	0,160



AnTherm V.7.125 2013.10.03 © T.Kornicki www.kornicki.com

Rysunek 6.17. - Wizualizacja izoterm w obszarze wpływu mostka cieplnego - P3

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,7472 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

$$\Psi = (L^{2D} - (U_i * l_i)) / n = (0,7472 - (0,2284 * 2,7)) / 3 = 0,0435 \text{ W/(mK)}.$$

Do celów obliczeń strat przez przenikanie przyjmuje się uproszczenie, czyli wartość współczynnika L^{2D} przeliczona zostanie na skorygowany współczynnik U.

$$U = L^{2D} / l = 0,7472 / 2,7 = 0,2767 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

6.10. P4 - Jętki z izolacją termiczną dachu

W przegrodzie dachu, która składa się z wełny mineralnej oraz szeregu jętek z drewna, przyjęto iż jętki stanowią liniowy mostek cieplny. Takie też założenie przyjęto przy wyznaczaniu współczynnika Ψ przy pomocy programu Antherm.

6.10.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Mostek cieplny uwzględniono we współczynniku U dla danej przegrody- według tabeli nr 7.

6.10.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

Mostek cieplny uwzględniono we współczynniku U dla danej przegrody- według tabeli nr 7.

6.10.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

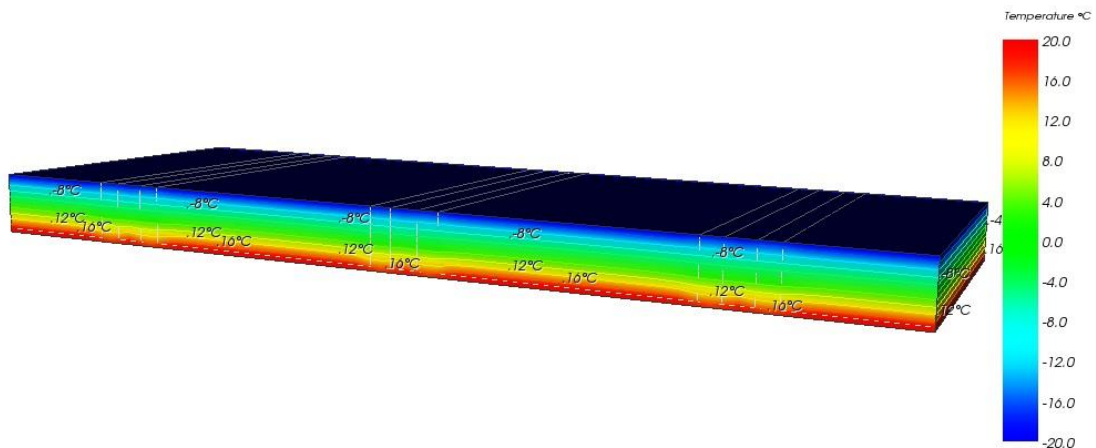
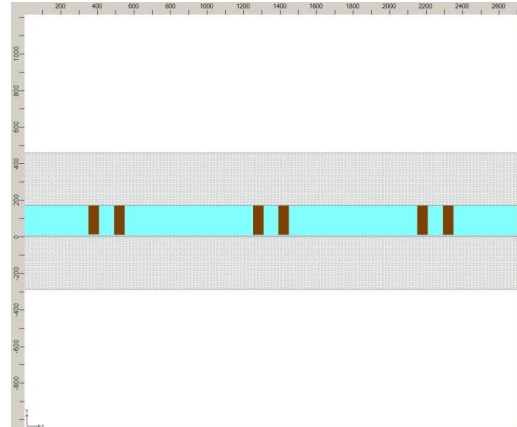
Dane:

$$l = 2,7 \text{ [m]}$$

$$U_i = 0,2385 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$n = 3$ (ilość podwójnych jętek)

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Wełna min.	0,040
	Płyta G-K	0,230
	Drewno	0,160



AnTherm V.7. 125 2013. 10.03 © T.Kornicki www.kornicki.com

Rysunek 6.18. - Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - P4

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,8674 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

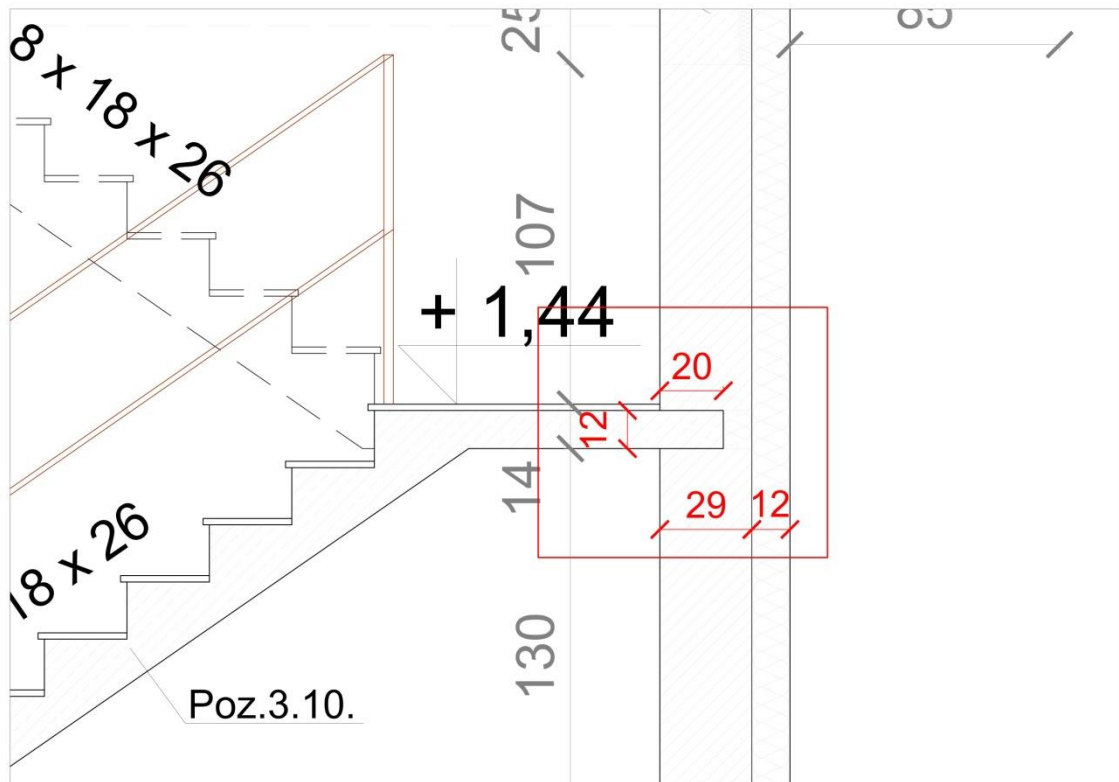
$$\Psi = (L^{2D} - (U_i * l_i)) / n = (0,8674 - (0,2385 * 2,7)) / 3 = \mathbf{0,0745 \text{ W/(mK)}}.$$

Do celów obliczeń strat przez przenikanie przyjmuje się uproszczenie, czyli wartość współczynnika L^{2D} przeliczona zostanie na skorygowany współczynnik U .

$$U = L^{2D} / 1 = 0,8674 / 2,7 = \mathbf{0,3213 \text{ W/(m}^2\text{K)}}.$$

6.11. IF1 - Płyta spocznikowa żelbetowa z ścianą zewnętrzną

Płyta spocznikowa żelbetowa wchodzi w ścianę zewnętrzną. Izolacja zewnętrzna jest ciągła na całej długości ściany.



Rysunek 6.19. - Rzut mostka cieplnego - IF1

6.11.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Zgodnie z powyższą normą izolacja zewnętrzna nie jest przecięta żadnym elementem konstrukcyjnym.

$$\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)};$$

6.11.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

Na podstawie tabeli A.2 zawartej w normie wartość Ψ wynosi :

$$\Psi = 0,00 \text{ W/(mK)}$$

6.11.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

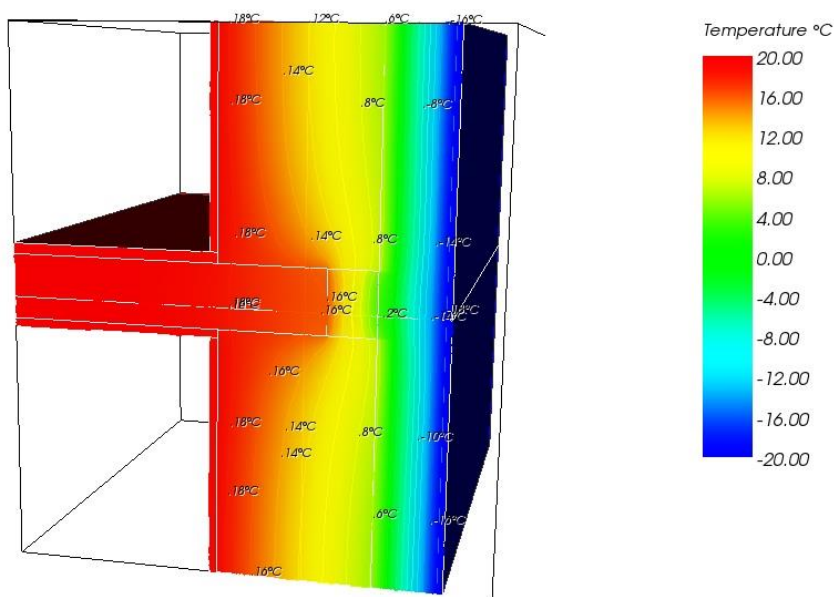
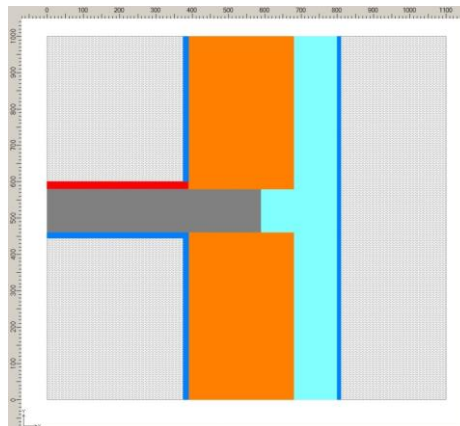
Dane:

$$l = 1,045 \text{ [m];}$$

$$l_g, l_d = 0,5225 \text{ [m]}$$

$$U_i = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820
	Żelbet	1,700
	Płytki ceram.	1,300



X: 550,00
Y: 500,00
Z: 1000,00
T: 16,25 °C

AnTherm V.7.125 2013.10.03 © T.Kornicki www.kornicki.com

Rysunek 6.20. - Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - IF1

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,2352 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

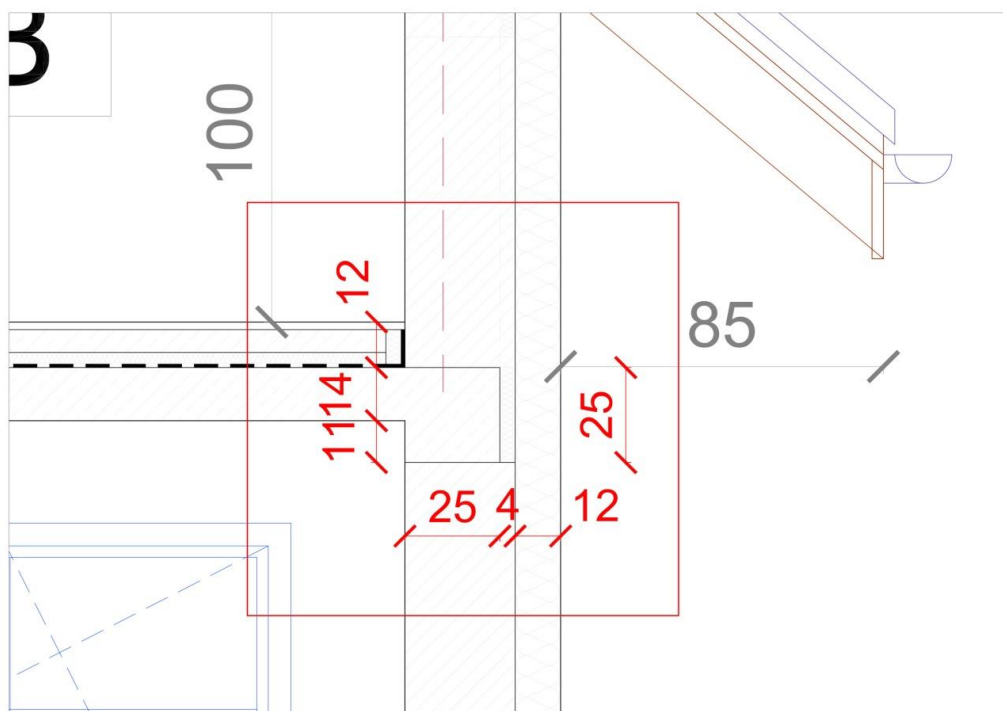
$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i) = 0,2352 - (0,2182 * 1,045) = 0,0072 \text{ W/(mK).}$$

Można jeszcze współczynnik Ψ rozdzielać względem pomieszczeń wewnętrznych. W tym przypadku powyżej płyty spocznika i poniżej płyty spocznika schodów.

$$\Psi_g = L^{2D} - (U_i * l_g) = 0,1181 - (0,2182 * 0,5225) = \mathbf{0,0041 \text{ W/(mK)}}$$

$$\Psi_d = L^{2D} - (U_i * l_d) = 0,1171 - (0,2182 * 0,5225) = \mathbf{0,0031 \text{ W/(mK)}}.$$

6.12. IF2 - Wieniec żelbetowy stropu w ścianie zewnętrznej



Rysunek 6.21. - Rzut mostka cieplnego - IF2

6.12.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Przy obliczeniach strat ciepła przez przenikanie dla przegród poziomych należy wziąć pod uwagę ilość boków które stykają się ze środowiskiem zewnętrznym.

$$1 \text{ bok} - \Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)};$$

$$2 \text{ boki} - \Delta U_{tb} = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)};$$

$$3 \text{ boki} - \Delta U_{tb} = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

6.12.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

Na podstawie tabeli A.2 z normy wartość Ψ wynosi :

$$\Psi = 0,00 \text{ W/(mK)}.$$

6.12.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

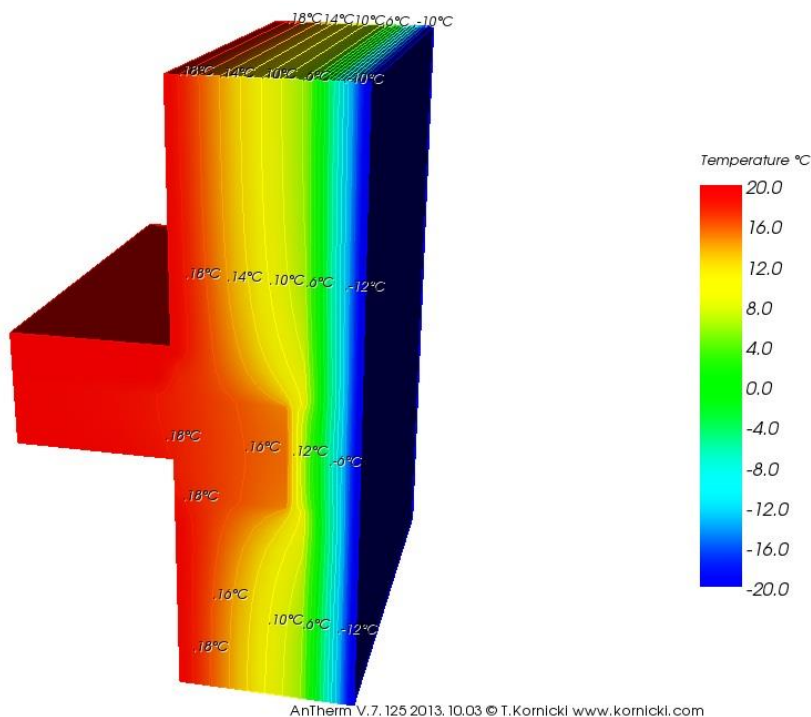
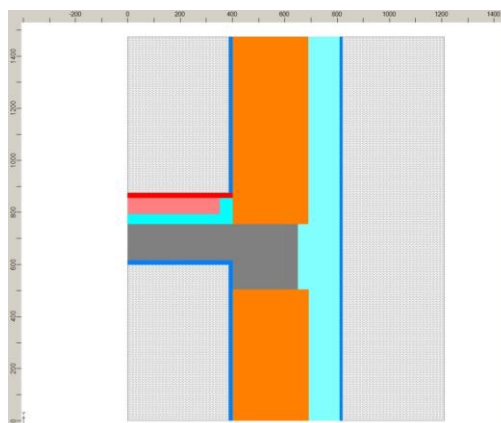
Dane:

$$l = 1,475 \text{ [m];}$$

$$l_g, l_d = 0,7375 \text{ [m]}$$

$$U_i = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820
	Żelbet	1,700
	Płytki ceram.	1,300
	Wylewka	1,400



Rysunek 6.22. - Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - IF2

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,3395 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

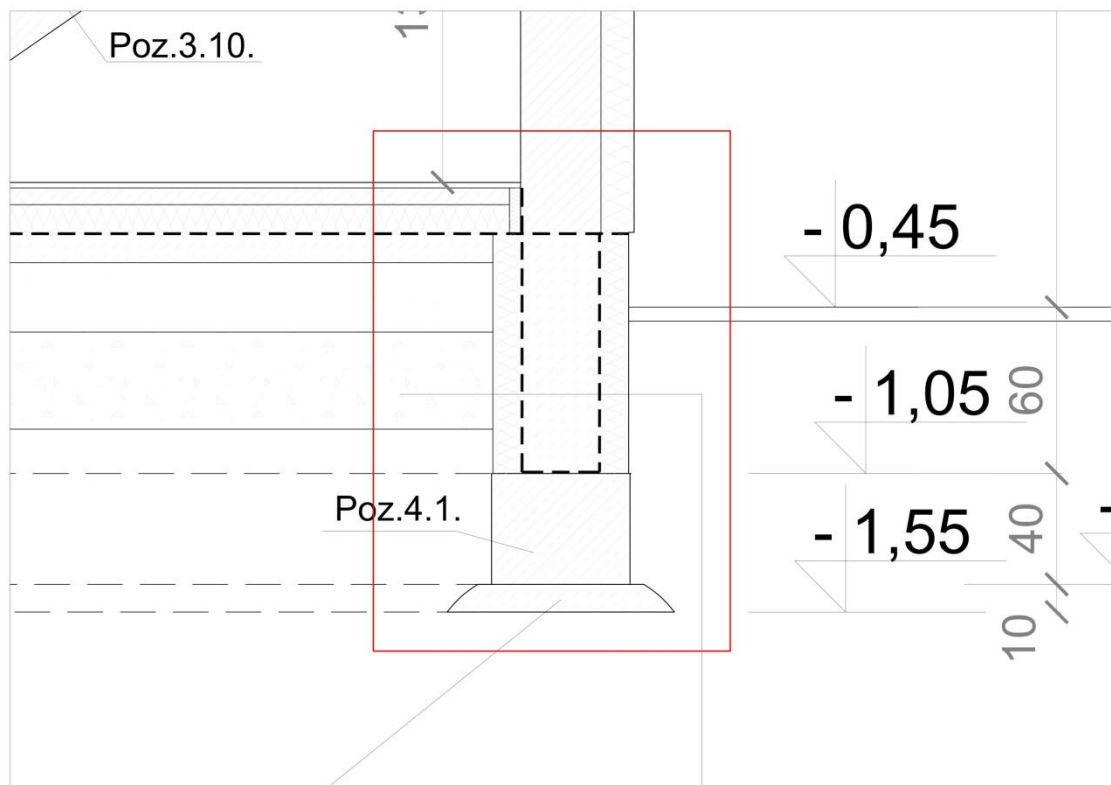
$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i) = 0,3395 - (0,2182 * 1,475) = 0,0177 \text{ W/(mK).}$$

Można jeszcze współczynnik Ψ rozdzielać względem pomieszczeń wewnętrznych. W tym przypadku powyżej i poniżej stropu.

$$\Psi_g = L^{2D} - (U_i * l_g) = 0,1394 - (0,2182 * 0,7375) = -0,0215 \text{ W/(mK)}$$

$$\Psi_d = L^{2D} - (U_i * l_d) = 0,2000 - (0,2182 * 0,7375) = 0,0391 \text{ W/(mK)}$$

6.13. GF1 - Szczegół fundamentu



Rysunek 6.23. - Widok mostka cieplnego GF1

6.13.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Przy obliczeniach strat ciepła przez przenikanie dla przegród poziomych należy wziąć pod uwagę ilość boków które stykają się ze środowiskiem zewnętrznym.

$$1 \text{ bok} - \Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)};$$

$$2 \text{ boki} - \Delta U_{tb} = 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)};$$

$$3 \text{ boki} - \Delta U_{tb} = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

6.13.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

W tabeli A.2 normy można odczytać wartość Ψ , która wynosi :

$$\Psi = 0,80 \text{ W/(mK)}$$

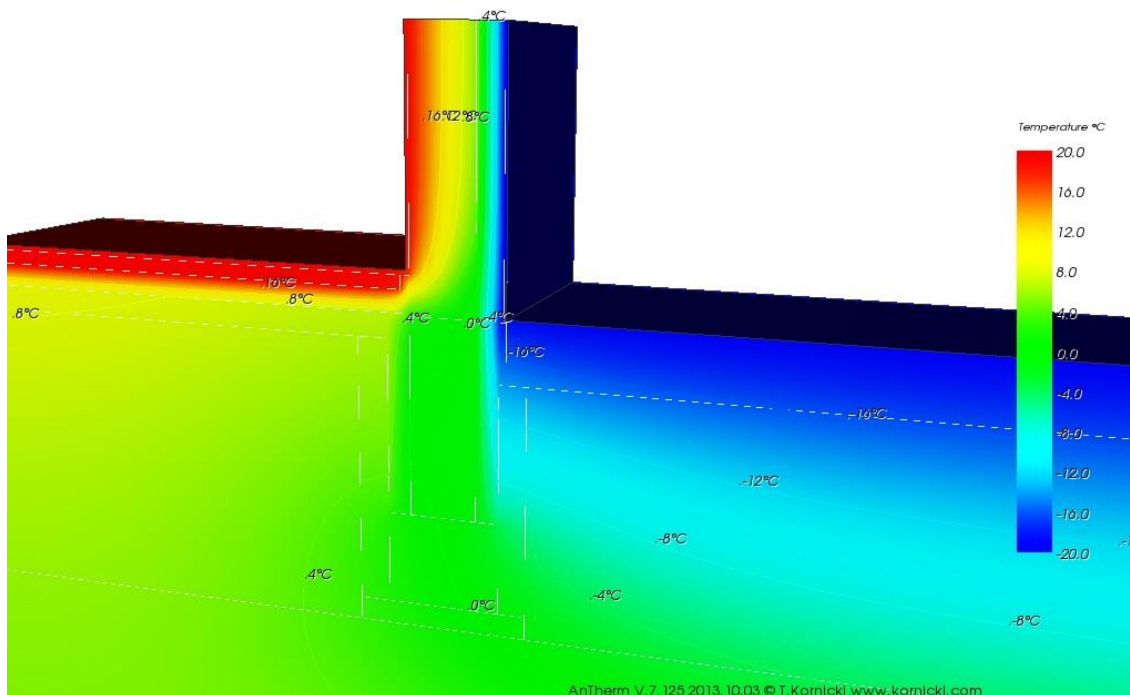
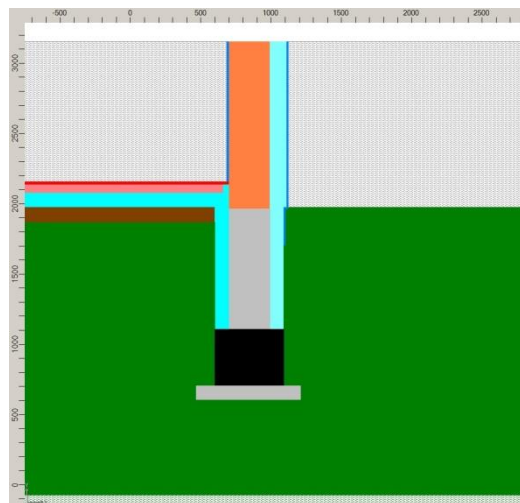
6.13.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Dane:

$$l = 1,00 \text{ [m];}$$

$$U_i = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820
	Beton	1,000
	Żelbet	1,700
	Płytki ceram.	1,300
	Wylewka	1,400
	Chudy beton	1,050
	Grunt	1,500



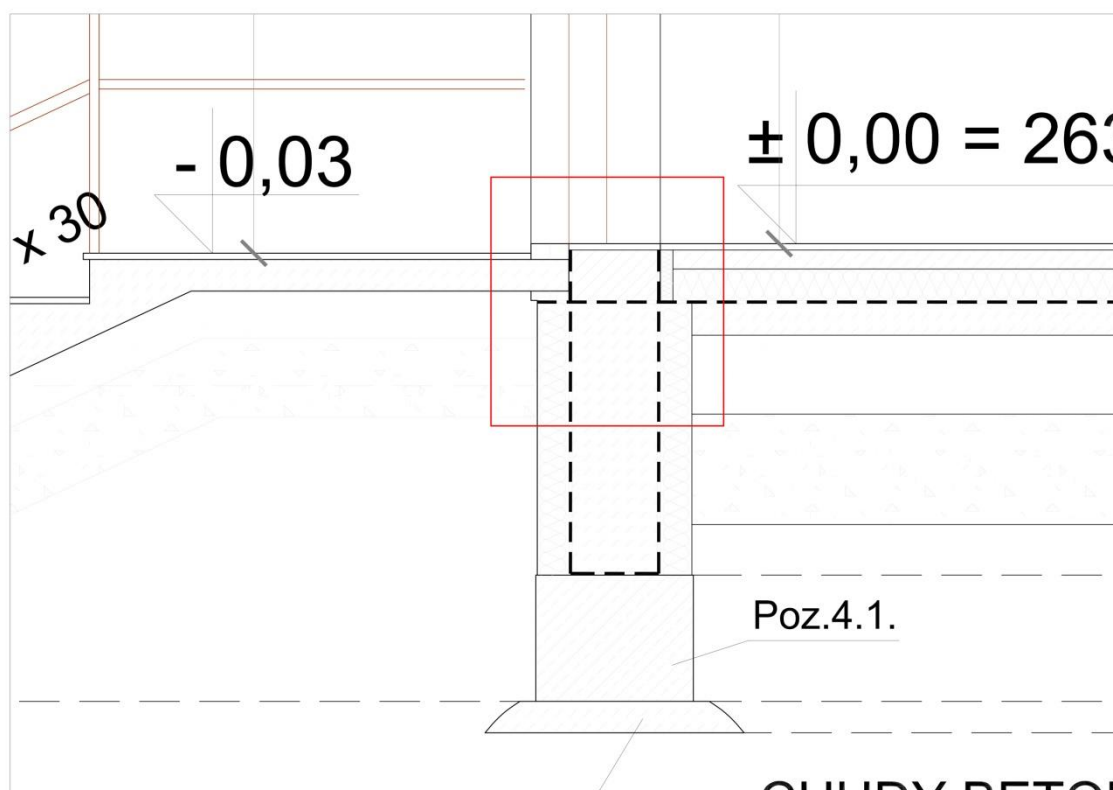
Rysunek 6.24. - Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - GF1

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,3282 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i) = 0,3282 - (0,2182 * 1,0) = 0,1100 \text{ W/(mK)}$$

6.14. GF2 - Połączenie płyty schodów z ścianą zewnętrzną oraz fundamentem



Rysunek 6.25 - Widok mostka cieplnego GF2

6.14.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Dla obliczeń strat przez przenikanie dla pionowych elementów budynku: liczba stropów przecinających izolację = 1, liczba przecinanych ścian = 0

$$\Delta U_{tb} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}).$$

Przy obliczenia strat ciepła przez przenikanie dla przegród poziomych należy wziąć pod uwagę ilość boków które stykają się ze środowiskiem zewnętrznym.

$$1 \text{ bok} - \Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K});$$

$$2 \text{ boki} - \Delta U_{tb} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K});$$

$$3 \text{ boki} - \Delta U_{tb} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K});$$

6.14.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

W tabeli A.2 w normie nie znaleziono odpowiedniego przypadku. Przyjęto, że izolacja jest ciągła na całej długości przegrody.

$$\Psi = 0,80 \text{ W}/(\text{mK}).$$

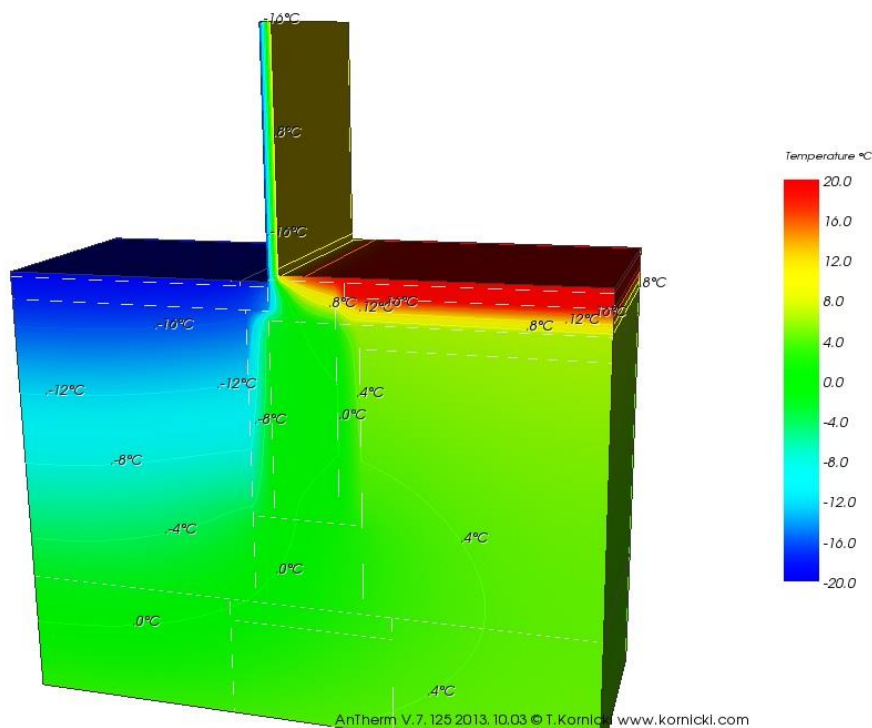
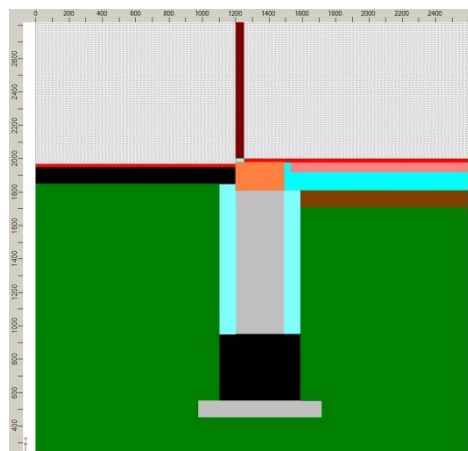
6.14.3. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Dane:

$$l = 1,00 \text{ [m];}$$

$$U_i = 1,50 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Beton	1,000
	Żelbet	1,700
	Płytki ceram.	1,300
	Wylewka	1,400
	Chudy beton	1,050
	Grunt	1,500



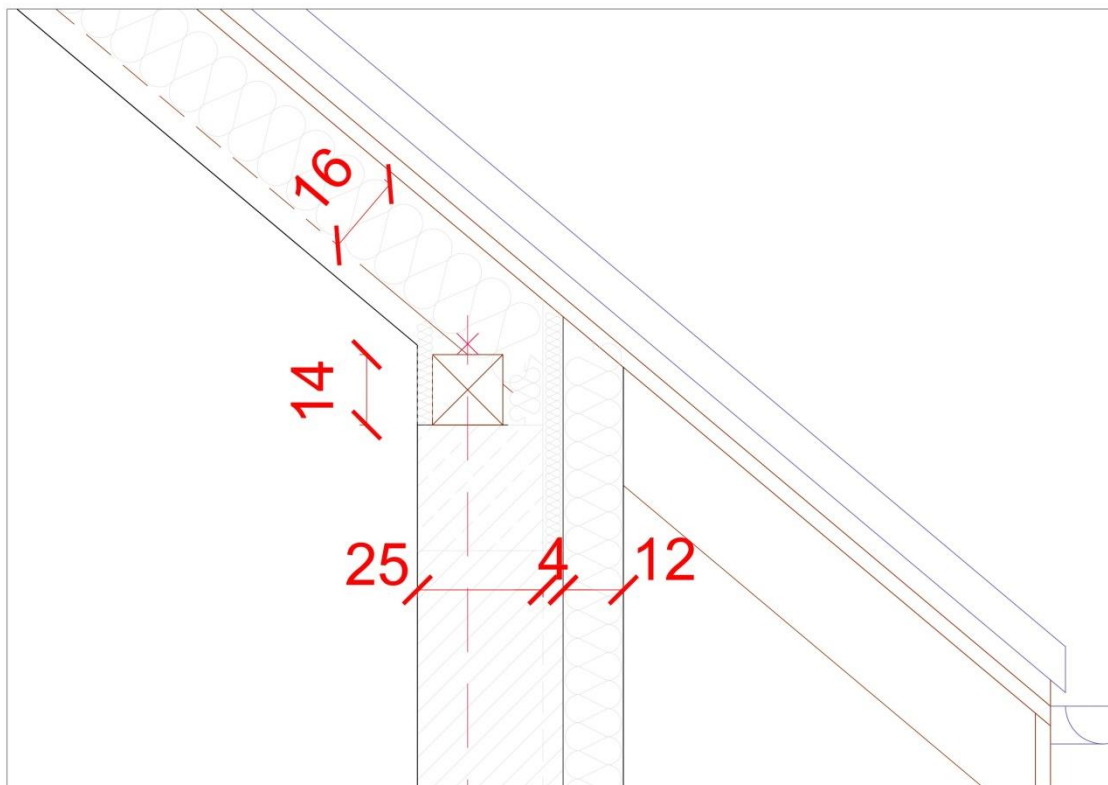
Rysunek 6.26. - Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - GF2

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 1,7432 \text{ W/(mK)}$.

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

$$\Psi = L^{2D} - (U_i * l_i) = 1,7432 - (1,5000 * 1,0) = 0,2432 \text{ W/(mK)}.$$

6.15. R1 - Połączenie dachowa z ścianą zewnętrzną



Rysunek 6.27. - Widok mostka cieplnego R1

6.15.1. Obliczenia według normy PN-EN 12831:2006 – metoda uproszczona

Dla obliczeń strat przez przenikanie dla pionowych elementów budynku: liczba stropów przecinających izolacji = 0, liczba przecinanych ścian = 0

$$\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}).$$

6.15.2. Obliczenia według normy PN-EN 14683:2008

W tabeli A.2 wyżej wymienionej normy można odczytać wartość Ψ wynoszącą :

$$\Psi = - 0,05 \text{ W}/(\text{mK}).$$

6.15.1. Wyznaczenie współczynnika Ψ przy wykorzystaniu programu Antherm.

Z uwagi na iż w programie Antherm nie ma możliwości definiowania nachylenia przegród budowlanych pod innym kątem niż 90° należało przyjąć uproszczenie - ściana zewnętrzna nachylona pod kątem 90° w stosunku do dachu. Przyjęto także uproszczenie w stosunku do współczynnika przenikania ciepła U dla dachu - założono wartość U według punktu 6.8.

Dane:

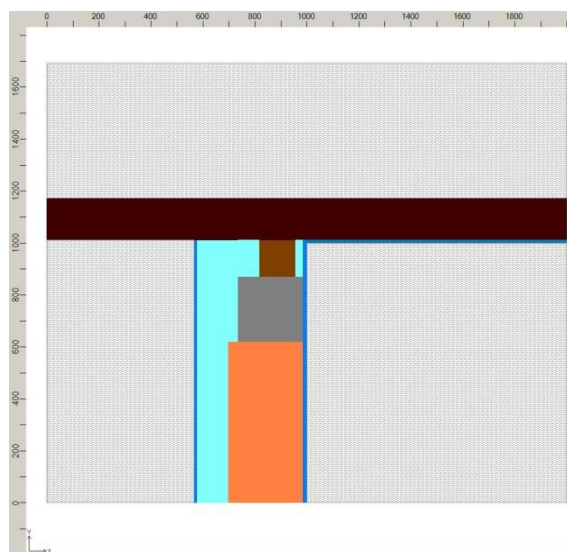
$$l_d = 1,435 \text{ [m]}$$

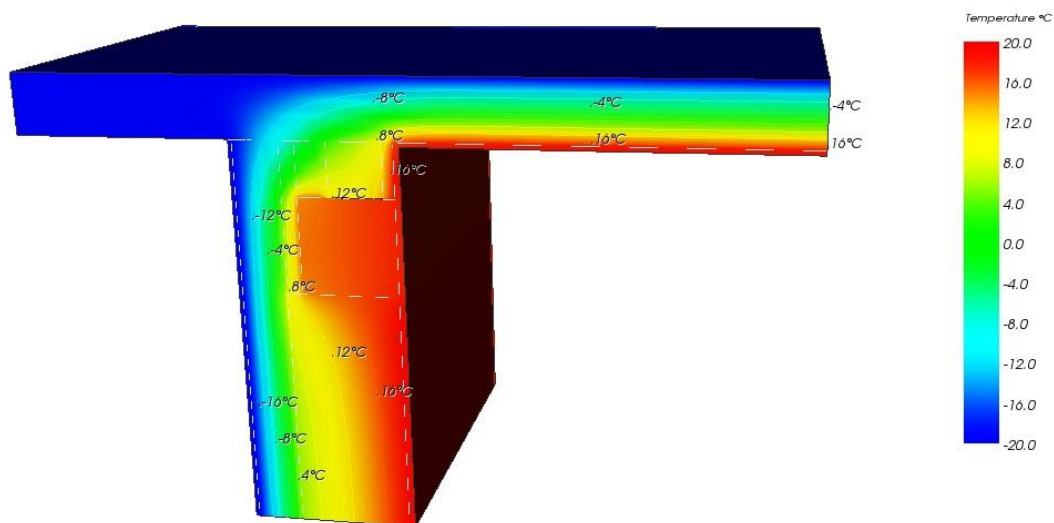
$$l_{sc} = 1,192 \text{ [m]}$$

$$U_{i(d)} = 0,2726 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$U_{i(sc)} = 0,2182 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Legenda:		
	Nazwa	λ [W/mK]
	Styropian	0,042
	Pustak MAX	0,190
	Tynk	0,820
	Żelbet	1,700
	Drewno	0,160
	Dach	$U_{i(d)} = 0,2726$





AnTherm V.7.125 2013.10.03 © T.Kornicki www.kornicki.com

Rysunek 6.28. - Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - R1

Wartość współczynnika sprzężenia cieplnego $L^{2D} = 0,5545 \text{ W/(mK)}$

Wyniki obliczeń współczynnika Ψ ze wzoru (4.6) wynoszą:

$$\begin{aligned} \Psi &= L^{2D} - (U_{sc} * I_{sc}) + (U_o * I_o) = \\ &= 0,5545 - ((0,2182 * 1,192) + (0,2767 * 1,435)) = \mathbf{-0,10266 \text{ W/(mK)}}. \end{aligned}$$

7. Zestawienie współczynników Ψ wyznaczonych na podstawie poszczególnych metod obliczeniowych

Wszystkie analizowane wcześniej wartości współczynników Ψ przedstawiono w tabeli nr 7.1. Wartości dodatków ΔU_{tb} nie zamieszczono w tabeli ponieważ nie odnoszą się one bezpośrednio do rozwiązań połączeń pomiędzy różnymi przegrodami.

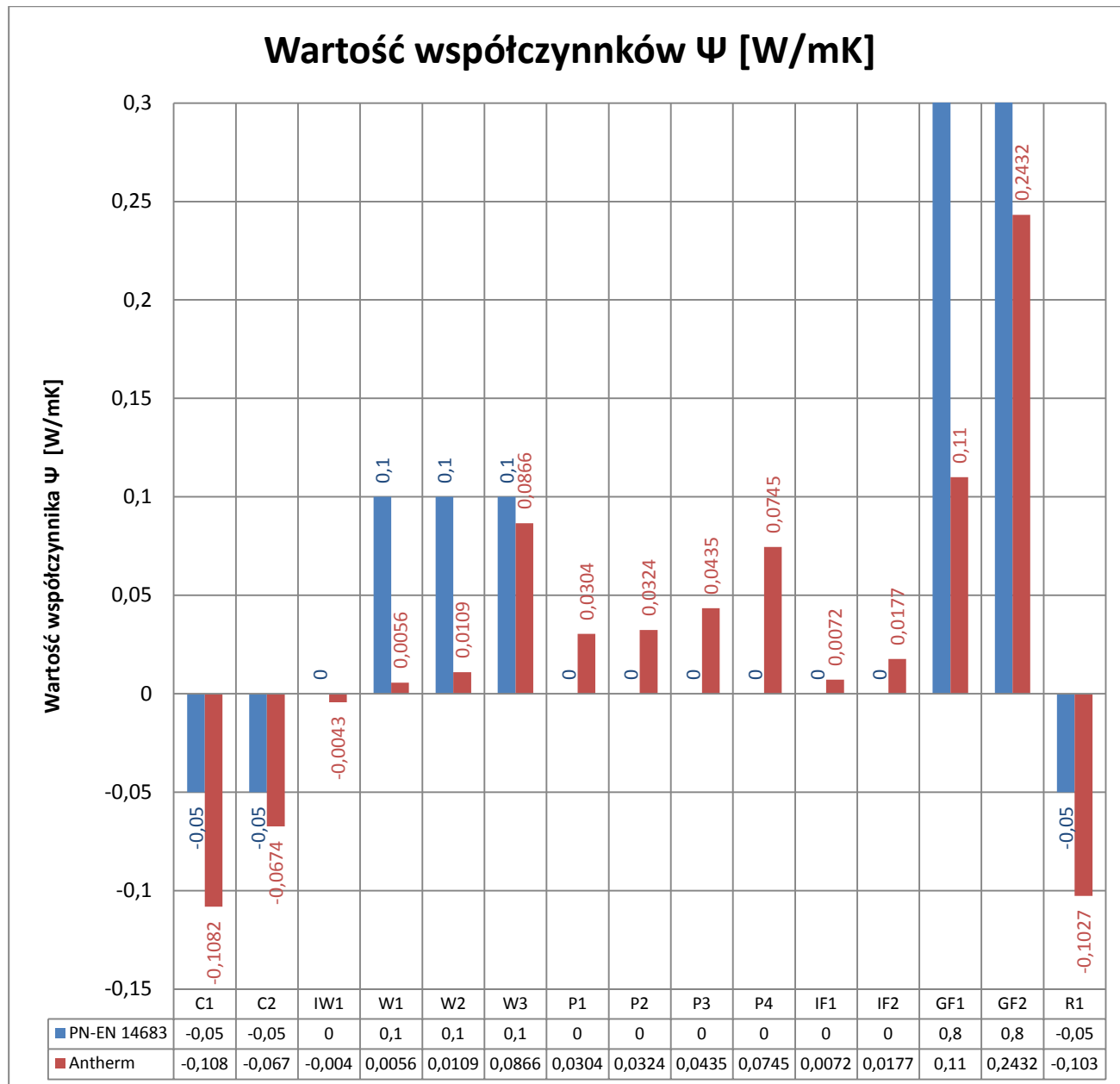
Tabela 7.1. - Zestawienie współczynników linowych mostków cieplnych Ψ

Typ mostka	Opis	Wartość Ψ PN-EN 14683:2008 [W/mK]	Wartość Ψ Antherm [W/mK]
C1	Naroże ścian zewnętrznych	-0,0500	-0,1082
C2	Naroże ścian zewnętrznych z rdzeniem żelbetowym	-0,0500	-0,0674
IW1	Połączenie ściany wewnętrznej i zewnętrznej	0,0000	-0,0043
W1	Montaż okna w ścianie zewnętrznej	0,1000	0,0056
W2	Montaż okna w ścianie zewnętrznej – nadproże	0,1000	0,0109
W3	Montaż okna dachowego w połąci dachowej	0,1000	0,0866
P1	Rdzeń żelbetowy w ścianie zewnętrznej poddasza	0,0000	0,0304
P2	Konstrukcja drewniana w ścianie zewnętrznej	0,0000	0,0324
P3	Krokiew z izolacją termiczną dachu	0,0000	0,0435
P4	Jętki z izolacją termiczną dachu	0,0000	0,0745
IF1	Płyta spocznikowa żelbetowa z ścianą zewnętrzną	0,0000	0,0072
IF2	Wieniec żelbetowy stropu w ścianie zewnętrznej	0,0000	0,0177
GF1	Szczegół fundamentu	0,8000	0,1100
GF2	Połączenie płyty schodów z ścianą zewnętrzną oraz fundamentem	0,8000	0,2432
R1	Połąc dachowa z ścianą zewnętrzną	-0,0500	-0,1027

Jak widać w niektórych w przypadku niektórych mostków cieplnych wartość współczynnika Ψ odczytywana z tabeli w normie PN-EN 14683:2008 jest znacznie przekraczająca wyniki obliczeń numerycznych. Natomiast w przypadkach, gdzie izolacja jest ciągła na całej długości, powyższa norma zakłada zerowe wartości współczynnika Ψ . Obliczenia przy pomocy programu Antherm wskazują, iż w takich przypadkach wartość współczynnika Ψ ma wpływ na końcowe wyniki strat ciepła.

Przykładem może być tutaj rdzeń żelbetowy w ścianie zewnętrznej, gdzie współczynnik Ψ wyznaczony za pomocą programu Antherm wynosi 0,0324 W/mK.

Dla lepszego zobrazowania wyników zawartych w tabeli 7.1 przedstawiono je graficznie w postaci wykresu kolumnowego.



Rysunek 7.1. - Wykres kolumnowy współczynników liniowych mostków cieplnych Ψ

8. Wyniki końcowe obliczeń strat ciepła dla budynku, uwzględniające 3 metody uwzględniania mostków cieplnych

Jak już wspomniano w rozdziale 5 obliczenia strat ciepła zostały wykonane przy pomocy programu komputerowego firmy Instalsoft. W nim została zdefiniowana cała bryła budynku z charakterystycznymi wymiarami przegród budowlanych oraz zostały zdefiniowane wszystkie analizowane wartości mostków cieplnych z rozdziału 5.

Tabela nr 8.1 przedstawia zestawienie wyników uzyskanych przy pomocy programu Instalsoft, tj. strat ciepła przez przenikanie dla analizowanych metod uwzględniania mostków cieplnych. Dodatkowo w ostatniej kolumnie zamieszczono projektowaną stratę ciepła przez przenikanie bez uwzględnienia mostków cieplnych.

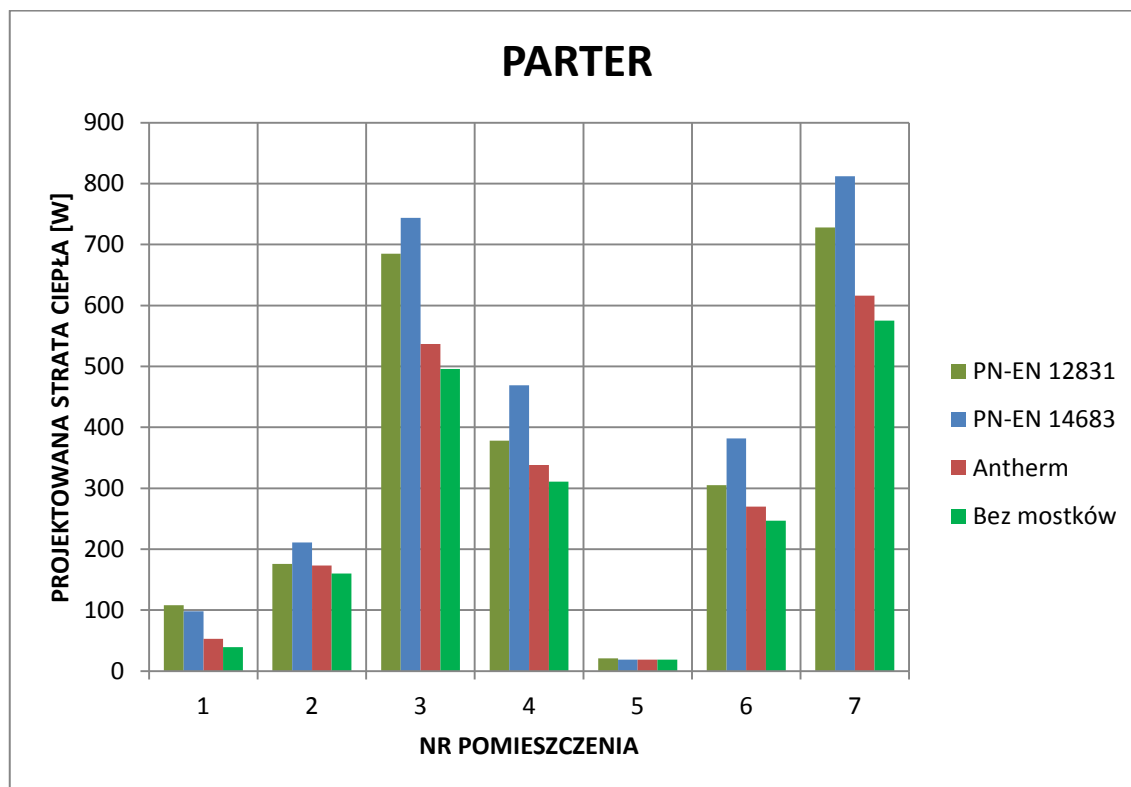
Tabela 8.1. - Projektowana strata ciepła przez przenikanie

Nr pomieszczenia	Projektową stratę ciepła przestrzeni ogrzewanej przez przenikanie			
	Metoda uproszczona $\Phi_{(T,i)}$ [W]	Mostki wg PN-EN 14683 $\Phi_{(T,i)}$ [W]	Mostki wg Antherm $\Phi_{(T,i)}$ [W]	Bez mostków cieplnych $\Phi_{(T,i)}$ [W]
PARTER				
1	108	98	53	39
2	176	211	173	160
3	685	744	537	496
4	378	469	338	311
5	21	19	19	19
6	305	382	270	247
7	728	812	616	575
	2401	2735	2006	1847
PODDASZE				
1	230	214	214	164
2	571	502	461	430
3	447	403	363	352
4	535	464	440	409
5	481	413	392	376
6	358	338	318	297
	2622	2334	2188	2028
	5023	5069	4194	3875

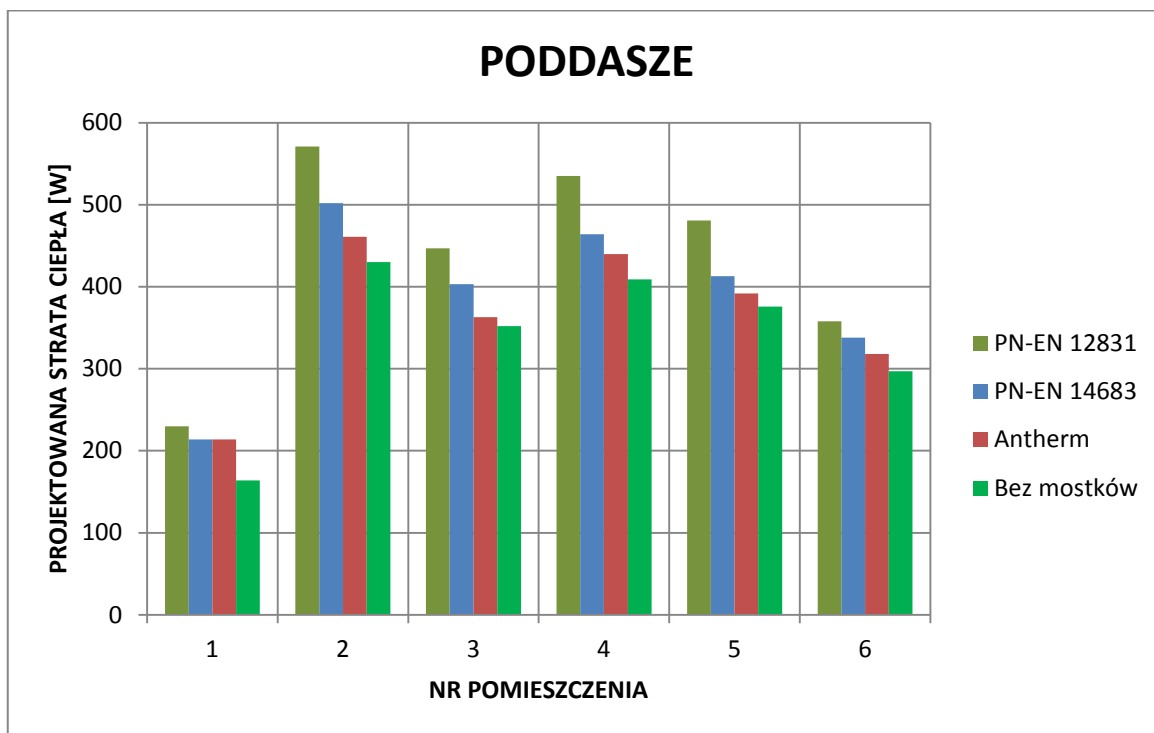
Analizując powyższe wyniki można zauważyć, że najwyższą wartość projektowanej straty ciepła uzyskano stosując wartości współczynników Ψ z tabeli

normy PN-EN 14683. Nieznacznie mniejszą wielkość strat uzyskano przy metodzie uproszczonej. Natomiast najniższy wynik w postaci wielkości strat przenikania ciepła uzyskano przy dokładnej metodzie wyliczania współczynników Ψ za pomocą programu Antherm.

Powyższe dane zobrazowano na wykresach kolumnowych.



Rysunek. 8.1. - Porównanie wielkości projektowych strat przenikania ciepła przy różnych metodach uwzględnienia mostków cieplnych dla pomieszczeń parteru.



Rysunek. 8.2. - Porównanie wielkości projektowych strat przenikania ciepła przy różnych metodach uwzględnienia mostków cieplnych dla pomieszczeń poddasza.

Aby przedstawić wpływ uwzględniania mostków cieplnych w stosunku do wielkości całkowitej projektowanej straty ciepła, należy wziąć pod uwagę także straty ciepła przez wentylację. Wartość strumieni powietrza wentylacyjnego wg tabeli 5.3.

Tabela 8.2. - Wartość projektowanej straty wentylacyjnej dla poszczególnych pomieszczeń.

Nr pomieszczenia	Nazwa pomieszczenia	Projektowana wentylacyjna strata ciepła $\Phi_{(v,i)}$ [W]
1	Wiatrołap	-13,0
2	Holl	0,0
3	Pokój dzienny	208,0
4	Kuchnia	13,0
5	W.C.	0,0
6	Kotłownia	210,0
7	Garaż	1109,0
1	Klatka schodowa	25,0
2	Pokój	83,0
3	Pokój	77,0
4	Sypialnia	129,0
5	Łazienka	82,0
6	Pokój	66,0

Powyższe wartości strat ciepła przez wentylację zostały wykorzystane w odniesieniu do wszystkich, analizowanych metod uwzględniania mostków cieplnych.

Sumując straty ciepła przez przenikanie oraz wentylacji otrzymujemy całkowitą projektowaną stratę ciepła.

Tabela 8.3. - Całkowita projektowana strata ciepła pomieszczeń.

Nr pomieszczenia	Całkowita projektowa strata ciepła przestrzeni ogrzewanej		
	Metoda uproszczona $\Phi_{(T,i)}$ [W]	Mostki wg PN-EN 14683 $\Phi_{(T,i)}$ [W]	Mostki wg Antherm $\Phi_{(T,i)}$ [W]
PARTER			
1	95	85,0	40,0
2	176	211,0	173,0
3	893	952,0	745,0
4	391	482,0	351,0
5	21	19,0	19,0
6	515	592,0	480,0
7	1837	1921,0	1725,0
	3928	4262	3533
PODDASZE			
1	255	239,0	239,0
2	654	585,0	544,0
3	524	480,0	440,0
4	664	593,0	569,0
5	563	495,0	474,0
6	424	404,0	384,0
	3084	2796	2650

Wyniki z tabeli 8.1 można przedstawić, jako udział który stanowią straty związane z obecnością mostków cieplnych w projektowanej stracie ciepła przez przenikanie w odniesieniu do każdej z 3 metod uwzględniania mostków cieplnych.

Tabela 8.4 - Udział mostków cieplnych w projektowanej stracie ciepła przez przenikanie

Udział mostków cieplnych w projektowanej stracie ciepła przez przenikanie			
Nr pomieszczenia	Metoda uproszczona	Mostki wg PN-EN 14683	Mostki wg Antherm
PARTER			
1	177%	151%	36%
2	10%	32%	8%
3	38%	50%	8%
4	22%	51%	9%
5	11%	0%	0%
6	23%	55%	9%
7	27%	41%	7%
PODDASZE			
1	40%	30%	30%
2	33%	17%	7%
3	27%	14%	3%
4	31%	13%	8%
5	28%	10%	4%
6	21%	14%	7%
Średnio			
	30%	31%	8%

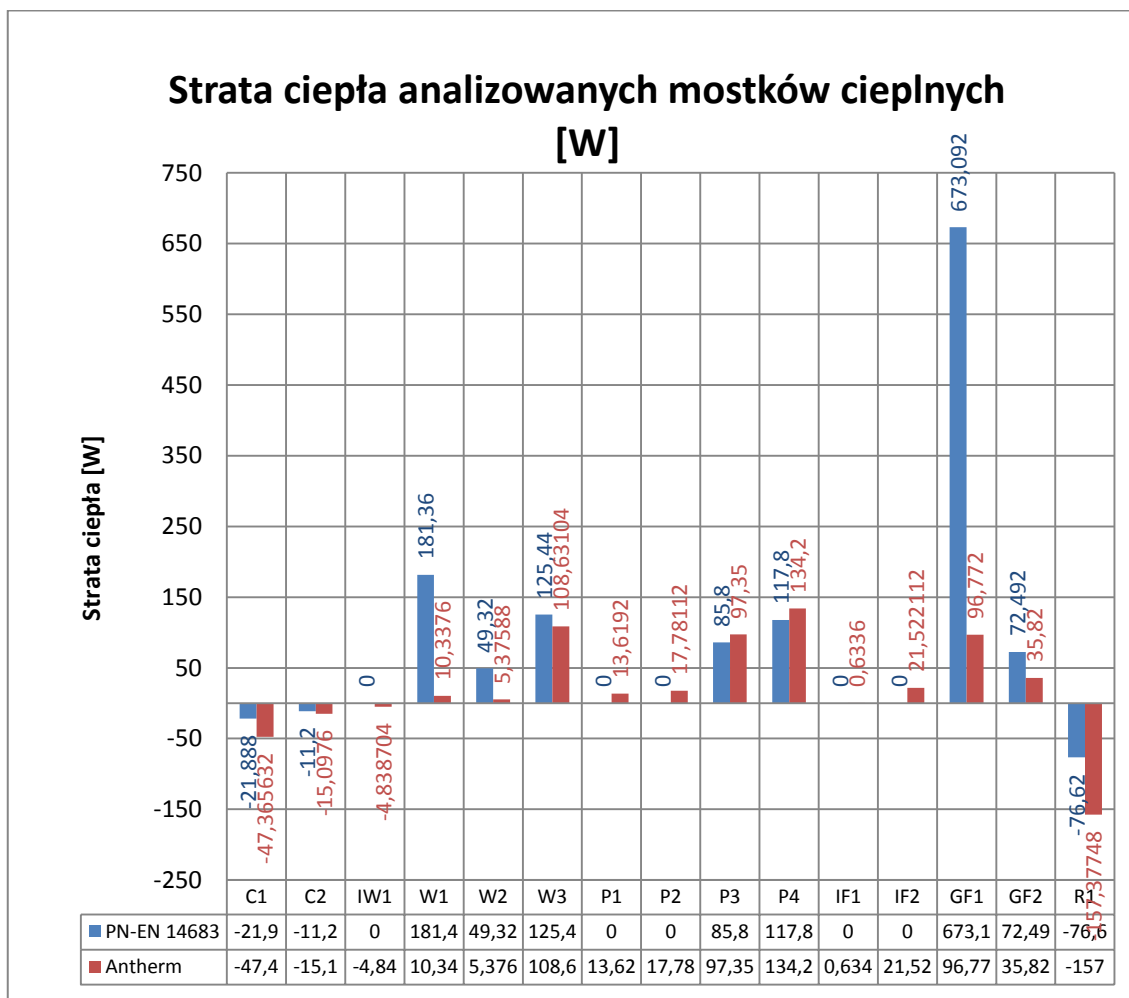
Udział strat przenikania związanych z mostkami cieplnymi według metody uproszczonej w poszczególnych pomieszczeniach stanowi od 11% do nawet 177% projektowanej straty ciepła przez przenikanie. W przypadku uwzględnienia mostków według metody z normy PN-EN 14683 udziały te stanowią od 10 do 151% wielkości strat przenikania poszczególnych pomieszczeń. Mostki cieplne modelowane za pomocą programu Antherm tylko od 3 do 36 % wielkości projektowanej straty ciepła przez przenikanie.

Dla dokładniejszego zobrazowania wpływu sposobu uwzględnienia poszczególnych mostków cieplnych na zwiększenie strat ciepła, przedstawiono w tabeli nr 8.5 zestawienie mostków wraz z ich długościami oraz wielkością strat ciepła, powodowanych przez dany mostek.

Tabela 8.5 - Wartość strat ciepła spowodowana mostkami cieplnymi wg PN-EN 14683 oraz Antherm

Typ mostka	Opis	Calkowita długość		Strumień ciepła	Strumień ciepła
		mostka		[W]	[W]
		[m]		PN-EN 14683:2008	Antherm
C1	Naroże ścian zewnętrznych	11,52		-21,89	-47,37
C2	Naroże ścian zewnętrznych z rdzeniem żelbetowym	5,60		-11,20	-15,10
IW1	Połączenie ściany wewnętrznej i zewnętrznej	28,72		0,00	-4,84
W1	Montaż okna w ścianie zewnętrznej	47,70		181,36	10,34
W2	Montaż okna w ścianie zewnętrznej – nadproże	13,90		49,32	5,38
W3	Montaż okna dachowego w połąci dachowej	31,36		125,44	108,63
P1	Rdzeń żelbetowy w ścianie zewnętrznej poddasza	11,20		0,00	13,62
P2	Konstrukcja drewniana w ścianie zewnętrznej	14,40		0,00	17,78
P3	Krokiew z izolacją termiczną dachu	0,00		85,80	97,35
P4	Jętki z izolacją termiczną dachu	0,00		117,80	134,20
IF1	Płyta spocznikowa żelbetowa z ścianą zewnętrzną	2,20		0,00	0,63
IF2	Wieniec żelbetowy stropu w ścianie zewnętrznej	69,72		0,00	21,52
GF1	Szczegół fundamentu	29,40		673,09	96,77
GF2	Połączenie płyty schodów z ścianą zewnętrzną oraz fundamentem	5,80		72,49	35,82
R1	Połąc dachowa z ścianą zewnętrzną	38,05		-76,62	-157,38

Tabela 8.5 przedstawia dokładnie, który z mostków cieplnych ma największy wpływ na zwiększenie strat ciepła, a które z nich wręcz zmniejszają stratę przenikania ciepła, są w pewnym sensie „anty-mostkami”. Oczywiście trzeba mieć na uwadze to, iż wartości ujemne wynikają również z przyjętej konwencji wymiarowania przegród budowlanych, opartej na wymiarach zewnętrznych.



Rysunek 8.3. - Wykres kolumnowy strat ciepła spowodowanych mostami cieplnymi wg PN-EN 14683 oraz Antherm

9. Wnioski końcowe

Zrealizowane w pracy obliczenia i analizy miały na celu udzielenie odpowiedzi na pytanie: jak zmieni się wynik obliczeń projektowanych strat przenikania ciepła przez przegrody budynku jeśli mostki cieplne uwzględnimy zgodnie z metodą uproszczoną, proponowana przez normę PN-EN 12831 (metoda nr 1) lub zgodnie z metodą szczegółową, opartą na katalogu typowych mostków cieplnych z tabeli A.2 normy PN-EN 14683 (metoda nr 2) lub też w przypadku gdy wpływ mostków cieplnych zostanie uwzględniony w sposób dokładny poprzez odpowiednie obliczenia numeryczne dwuwymiarowych pól temperatury (metoda nr 3). Jak pokazują wyniki zawarte w rozdziale 8 całkowite straty ciepła przez przenikanie budynku w metodzie nr 1, 2 i 3 wynoszą odpowiednio: 5023 W, 5069 W oraz 4194 W. Jeśli potraktujemy, iż metoda nr 3, jest najlepszym przybliżeniem wielkości rzeczywistych strat ciepła, to można ustalić w jakim zakresie pozostałe metody przewymiarowują wielkość strat ciepła przez przenikanie. Wielkość tego przewymiarowanie na poziomie poszczególnych pomieszczeń podano w tabelach nr 9.1 (straty przenikania) oraz 9.2. (straty całkowite).

Tabela 9.1. - Procentowa różnica strat ciepła przez przenikanie

Nr pomieszczenia	Procentowa różnica strat ciepła przez przenikanie metody uproszczonej w stosunku do obliczeń z programu Antherm	Procentowa różnica strat ciepła przez przenikanie metody PN-EN 14683 w stosunku do obliczeń z programu Antherm
PARTER		
1	204%	185%
2	102%	122%
3	128%	139%
4	112%	139%
5	111%	100%
6	113%	141%
7	118%	132%
Średnia	120%	136%
PODDASZE		
1	107%	100%
2	124%	109%
3	123%	111%
4	122%	105%
5	123%	105%
6	113%	106%
Średnia	120%	107%
Średnia dla całego budynku	120%	121%

Tabela 9.2. - Procentowa różnica całkowitych strat ciepła

Nr pomieszczenia	Procentowa różnica całkowitych strat ciepła metody uproszczonej w stosunku do obliczeń z programu Antherm	Procentowa różnica całkowitych strat ciepła metody PN-EN 14683 w stosunku do obliczeń z programu Antherm
PARTER		
1	238%	213%
2	102%	122%
3	120%	128%
4	111%	137%
5	111%	100%
6	107%	123%
7	106%	111%
Średnia	111%	121%
PODDASZE		
1	107%	100%
2	120%	108%
3	119%	109%
4	117%	104%
5	119%	104%
6	110%	105%
Średnia	116%	106%

Obliczenia wykonywane metodą uproszczoną, stosując dodatek ΔU_{tb} , w analizowanym budynku przewymiarowują straty ciepła przez przenikanie średnio o 20% w stosunku do obliczeń z komputerowym modelowaniem mostków cieplnych. Metoda uproszczona zupełnie nie odnosi się do sposobu rozwiązania poszczególnych mostków cieplnych i traktuje je jako średni, jednakowy dodatek do wartości współczynnika przenikania ciepła. W zasadzie przy aktualnych i przyszłych przepisach gdzie współczynniki U np. dla ścian zewnętrznych będą się zmniejszały od 0,25 do 0,20 [W/m^2K], uwzględnienie stałego dodatku ΔU_{tb} o wartości 0,05 [W/m^2K], spowoduje zwiększenie współczynnika nawet 25%. W zasadzie należałoby w przyszłości spowodować wyeliminowanie takiej metody.

Próbując dopasować istniejące mostki do katalogu mostków cieplnych z normy PN-EN 14683 ciężko jest zapewnić dobre uwzględnienie ich wpływu na straty przenikania dla wielu rzeczywistych rozwiązań mostków cieplnych. Wynik strat ciepła przez przenikanie w tym przypadku został średnio przewymiarowany o 21%. Jednocześnie trzeba mieć na uwadze to, iż każdy projektant może wybrać zupełnie inne modelowe, najbardziej odpowiadające wartości współczynników Ψ , a co za tym idzie

ten sam budynek poddany obliczeniom przez różnych projektantów może mieć rozbieżne wyniki końcowe obliczeń strat przenikania ciepła. Można sobie wyobrazić, że w skrajnym przypadku wynik obliczeń strat ciepła na poziomie pomieszczenia może być przewymiarowany nawet o 50%.

Analizując wyniki dla 1 i 2 metody uwzględniania wpływu mostków cieplnych dosyć ciekawym rezultatem jest uzyskanie prawie tej samej wartości projektowanej straty ciepła, tj. 5023W dla metody uproszczonej oraz 5069W dla mostków cieplnych z katalogu zawartego w normie PN-EN 14683. Oczywiście straty te są jednak prawie o 830W większe niż w najdokładniejszej metodzie 3.

O ile wynik końcowy w postaci wielkości strat przenikania ciepła w skali całego analizowanego budynku w przypadku stosowania metody nr 1 i 2 może być do zaakceptowania (przewymiarowanie o ok. 21%), to porównując analogiczne wyniki dla poszczególnych pomieszczeń trudno jest przyjąć dużo większe rozbieżności. Przykładem mogą tu być pomieszczenia które mają przewymiarowanie sięgające 37%, a nawet w przypadku pomieszczenia Wiatrołapu o 138% większe w stosunku do obliczeń mostków metodami numerycznymi przy użyciu programu Antherm. Tak znaczne przewymiarowanie nie jest korzystne. Powoduje zwiększone nakłady na instalację ogrzewania (grzejniki) oraz powoduje przewymiarowanie źródła grzewczego.

Niewątpliwie przewymiarowanie wielkości projektowanej straty ciepła przez przenikanie wiąże się z wyższym kosztem inwestycji a później także eksploatacyjnym przewymiarowanego źródła ciepła. Zwłaszcza przewymiarowanie kotła na paliwo stałe stanowi poważny problem. Nie dość, że kocioł o większej mocy jest droższy, to również jego użytkowanie będzie bardziej problematyczne i kosztowniejsze. Wszystkie kotły, a w szczególności kotły na paliwa stałe uzyskują najwyższą sprawność przy mocach nominalnych. Praca z niższą mocą od nominalnej wiąże się ze spadkiem sprawności, oraz szeregiem problemów eksploatacyjnych jak niedopalenie paliwa, osadzanie się smoły i sadzy w piecu i kominie. Przewymiarowany kocioł może zużywać dużo więcej opału, niż by to było przy prawidłowo dobranej mocy kotła. [15]

Także przewymiarowanie strat ciepła przy coraz powszechniej stosowanym źródle ciepła jakim jest pompa ciepła to zarówno wyższe nakłady inwestycyjne - droższe urządzenie, które jest szczególnie kosztownym rodzajem źródła ciepła. Eksploatacja takiego urządzenia może również przysporzyć wiele problemów,

ponieważ przewymiarowana pompa ciepła w okresach przejściowych będzie pracowała poza zakresem regulacji mocy sprężarki.

Przewymiarowana instalacja ogrzewania także stwarza także problemy. Poza tym, że inwestor musi więcej wydać na zakup poszczególnych urządzeń do jej budowy, (grzejników, rur) to również późniejsza eksploatacja takiej instalacji może być źródłem problemów. Jako przykład można tutaj przytoczyć instalację grzejnikową współpracującą z kotłem niskotemperaturowym lub też na paliwo stałe, gdzie z powodu przewymiarowanej instalacji temperatura powrotu jest zbyt niska, co staje się powodem kondensacji pary wodnej w wymienniku ciepła wewnątrz kotła. Oczywiście są rozwiązania aby tego uniknąć, ale przewymiarowanie instalacji jeszcze bardziej uwidacznia ten problem.

Przewymiarowanie instalacji to również większe średnice rur, co za tym idzie w rzeczywistości przy pompach regulowanych elektronicznie, znacznie mniejsze prędkości przepływu czynnika w tych rurach niż były zakładane w projekcie. Mniejsza prędkość czynnika w rurach, to większa tendencja do tworzenia się osadu na ścianie rury. W krytycznym przypadku znaczne przewymiarowanie może wpłynąć na decyzję o zastosowaniu dodatkowego systemu ogrzewania pozornego np. poprzez wprowadzenie dodatkowej ściany grzewczej w układzie ogrzewania podłogowego lub zastosowanie ogrzewania konwekcyjnego obok płaszczyznowego.

Podsumowując, wyniki pracy wskazują na potrzebę szczegółowego podejścia do obliczeń projektowanej straty ciepła. Stosując metody uproszczoną czy też ograniczone katalogi mostków cieplnych (jak ten z normy PN-EN 14683) narażamy się na spowodowanie przewymiarowania potrzeb grzewczych, które w dzisiejszych czasach przy dążeniu do optymalizacji z każdego punktu widzenia nie powinno mieć miejsca.

10. Obliczenia projektowanych strat ciepła a rozwój budownictwa

Jak wynika z ogólnego trendu w budownictwie kierunek rozwoju zmierza do budownictwa nisko-energetycznego oraz tzw. pasywnego. Co za tym idzie technologie materiałowe oraz rozwiązania połączeń elementów budowlanych zmierzają do zmniejszania mostków liniowych, a nawet ich eliminacji. Polskie ustawodawstwo z każdą zmianą w rozporządzeniu "w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie" , wprowadza coraz to niższe wartości dopuszczalne współczynników przenikania ciepła U dla przegród. Kwestia występowania liniowych mostków cieplnych oraz ograniczenia co do wartości liniowych współczynników nie są wprost normowane. Jednak wymagania takie zaczynają być wprowadzane do polskiego budownictwa poprzez inne instytucje (np. NFOŚiGW, dofinansowujący budownictwo energooszczędne).

Poniższa zamieszczona tabela 10.1 przedstawia wymagania dla wartości mostków cieplnych w celu spełnienia standardu energooszczędności oznaczanego jako NF15 lub NF40. Wymagania te są tylko fragmentem z listy wytycznych, do których należy się zastosować przy budowie budynku mieszkalnego, w celu uzyskania dofinansowania z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Tabela 10.1. Wartości współczynników Ψ [W/mK] dla standardu NF15 i NF40 [13]

	Bud jednorodzinne		Bud wielorodzinne	
Standard	Balkony	Pozostałe	Balkony	Pozostałe
NF15	0,01		0,01	
NF40	0,20	0,10	0,20	0,10

To pokazuje, że potrzebne są obecnie zaawansowane metody obliczeń współczynników liniowych Ψ dla mostków cieplnych, które to wymogi mogą spełniać tylko metody numeryczne oraz wyspecjalizowane oprogramowanie przeznaczone do tego typu obliczeń.

Bibliografia

Akty prawne:

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. "w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie". (Dz. U. Nr 75, poz. 690) z późniejszymi zmianami

Normy

- [2] Norma PN-EN 12831:2006 - Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
- [3] PN-EN ISO 13683:2008 - Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [4] PN-EN ISO 6946:1999 - Komponenty budowlane i elementy budynku - Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła - Metoda obliczeń
- [5] PN-EN ISO 10211-1:1998 - Mostki cieplne w budynkach - Obliczanie strumieni cieplnych i temperatur powierzchni - Część 1: Ogólne metody obliczania
- [6] PN-EN ISO 10211-2:2002 - Mostki cieplne w budynkach - Obliczanie strumieni cieplnych i temperatur powierzchni - Część 2: Liniowe mostki cieplne
- [7] PN-EN ISO 14683:2001 - Mostki cieplne w budynkach - Liniowy współczynnik przenikania ciepła - Metody uproszczone i wartości orientacyjne
- [8] PN-EN ISO 13789:2001 - Ciepłe właściwości użytkowe budynków - Współczynnik strat ciepła przez przenikanie
- [9] PN-EN ISO 10211:2008 - Mostki cieplne w budynkach

Pozycje książkowe:

- [10] M. Streszewski, P. Wereszczyński - "Norma PN-EN 12831 Nowa metoda obliczenia projektowanego obciążenia cieplnego - poradnik", 2007r.
- [11] W. Feist, U. Munzenberg, J. Thumulla - "Podstawy budownictwa pasywnego", Gdańsk 2009r.

Prezentacje:

- [12] Mirosław Hodun - "Mostki termiczne - ich analiza i uwzględnianie w obliczeniach termicznych przegród budowlanych"
- [13] Firma Schock - "Problem mostków cieplnych w budynkach - sposoby ich likwidacji"

Internet:

- [14] <http://www.antherm.eu/>
- [15] <http://www.czysteogrzewanie.pl>
- [16] <http://www.instalsoft.com.pl>
- [17] <http://forum.murator-dom.pl/showthread.php?48792-dom-ciep%C5%82y-pasywny-albo-3-lub-5-litrowy/page174>
- [18] <http://www.mostkicieplne.pl/>
- [19] <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>
- [20] <http://www.buildingphysics.com/>

Spis tabel

Tabela 4.1. Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} dla pionowych elementów budynku	10
Tabela 4.2. Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} dla poziomych elementów budynku	11
Tabela 4.3. Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} dla otworów	11
Tabela 4.4. Parametry przegród stosowane przy wyznaczeniu współczynników Ψ zamieszczonych w tabeli A.2 normy PN-EN 14683:2008.....	13
Tabela 5.1. Ogólna charakterystyka budynku	18
Tabela 5.2. Zestawienie pomieszczeń analizowanego budynku mieszkalnego.....	19
Tabela 5.3. Wartości strumienia powietrza wentylacyjnego	25
Tabela 5.4. Współczynniki U dla przegród budowlanych (w strefie podstawowej)	25
Tabela 7.1. Zestawienie współczynników linowych mostków cieplnych Ψ	58
Tabela 8.1. Projektowana strata ciepła przez przenikanie	60
Tabela 8.2. Wartość projektowanej straty wentylacyjnej dla poszczególnych pomieszczeń.	63
Tabela 8.3. Całkowita projektowana strata ciepła pomieszczeń.	64
Tabela 8.4. Udział mostków cieplnych w projektowanej stracie ciepła przez przenikanie	65
Tabela 8.5. Wartość strat ciepła spowodowana mostami cieplnymi	

wg PN-EN 14683 oraz Antherm	66
Tabela 9.1. Procentowa różnica strat ciepła przez przenikanie	68
Tabela 9.2. Procentowa różnica całkowitych strat ciepła	69
Tabela 10.1. Wartości współczynników Ψ [W/mK] dla standardu NF15 i NF40..	72

Spis rysunków

Rysunek 3.1. Typowe miejsca występowania mostków cieplnych	7
Rysunek 4.1. Element budynku "przecinający" i "nieprzecinający" izolację.....	10
Rysunek 4.2. Metody wymiarowania	13
Rysunek 4.3. Zrzut ekranu programu KOBRA	15
Rysunek 4.4. Zrzut ekranu programu SAT	16
Rysunek 4.5. Zrzut ekranu programu Therm	16
Rysunek 4.6. Zrzut ekranu programu Heat2, 3	17
Rysunek 5.1. Rzut Parteru	20
Rysunek 5.2. Rzut Poddasza	21
Rysunek 5.3. Przekrój A-A	22
Rysunek 5.4. Przekrój B-B	22
Rysunek 5.5. Elewacje budynku	23
Rysunek 5.6. Przyjęta metoda wymiarowania.	24
Rysunek 5.7. Rzut parteru i poddasza - model graficzny wykonany z użyciem programu Instal-therm.	27
Rysunek 6.1. Rzut mostka cieplnego - C1	28
Rysunek 6.2. Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - C1	29
Rysunek 6.3. Rzut mostka cieplnego - C2	30
Rysunek 6.4. Wizualizacja izoterm w obszarze oddziaływania mostka cieplnego - C2	31
Rysunek 6.5. Rzut mostka cieplnego - IW1	32
Rysunek 6.6. Wizualizacja izoterm mostka cieplnego - IW1	33
Rysunek 6.7. Rzut mostka cieplnego - W1	34
Rysunek 6.8. Wizualizacja izoterm w obszarze oddziaływania mostka cieplnego - W1	35
Rysunek 6.9. Rzut mostka cieplnego - W2	36

Rysunek 6.10. Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - W2	37
Rysunek 6.11. Rzut mostka cieplnego - W3	38
Rysunek 6.12. Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - W3	39
Rysunek 6.13. Rzut mostka cieplnego - P1	40
Rysunek 6.14. Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - P1	41
Rysunek 6.15. Rzut mostka cieplnego - P2	42
Rysunek 6.16. Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - P2	43
Rysunek 6.17. Wizualizacja izoterm w obszarze wpływu mostka cieplnego - P3	45
Rysunek 6.18. Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - P4	46
Rysunek 6.19. Rzut mostka cieplnego - IF1	47
Rysunek 6.20. Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - IF1	48
Rysunek 6.21. Rzut mostka cieplnego - IF2	49
Rysunek 6.22. Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - IF2	50
Rysunek 6.23. Widok mostka cieplnego GF1	51
Rysunek 6.24. Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - GF1	52
Rysunek 6.25. Widok mostka cieplnego GF2	53
Rysunek 6.26. Wizualizacja izoterm w obszarze mostka cieplnego - GF2	54
Rysunek 6.27. Widok mostka cieplnego R1	55
Rysunek 6.28. Wizualizacja izoterm w strefie mostka cieplnego - R1	57
Rysunek 7.1. Wykres kolumnowy współczynników linowych mostków cieplnych Ψ	59
Rysunek 8.1. Porównanie wielkości projektowych strat przenikania ciepła przy różnych metodach uwzględnienia mostków cieplnych dla pomieszczeń parteru	61
Rysunek 8.2. Porównanie wielkości projektowych strat przenikania ciepła przy różnych metodach uwzględnienia mostków cieplnych dla pomieszczeń poddasza.	62
Rysunek 8.3. Wykres kolumnowy strat ciepła spowodowanych mostami cieplnymi wg PN-EN 14683 oraz Antherm	67

Załączniki:

Załącznik nr 1 : Podkłady architektoniczne budynku

Załącznik nr 2 : Wydruk całości obliczeń cieplnych z programu Instalsoft - mostki cieplne wg programu Antherm

Załącznik nr 3 : Podsumowanie wyników obliczeń cieplnych z programu Instalsoft - metoda uproszczona wg PN-EN 12831

Załącznik nr 4 : Podsumowanie wyników obliczeń cieplnych z programu Instalsoft - mostki cieplne wg PN-EN 14683

Załącznik nr 5 : Podsumowanie wyników obliczeń cieplnych z programu Instalsoft - brak mostków cieplnych

Załącznik nr 6 : Umowa licencyjna oraz zaświadczenie o szkoleniu - Instalsoft

Załącznik nr 7 : Pozwolenie na wykorzystanie w pracy dyplomowej podkładów budynku mieszkalnego jednorodzinnego zaprojektowanego przez arch. Antoniego Duźniaka - firma Proj-Rem z Chybia.