

Analiza mostków cieplnych na podkonstrukcji elewacji wentylowanej z budynku
GALERIA USŁUGOWO-HANDLOWA W TYCHACH
rejon ul. Beskidzkiej i ul. Towarowej
43-100 Tychy

Analizę wykonał :

inż. Michał Kucharski

Koordynator ds Badań i Rozwoju

tel. +48 881 969 057



Michał Kucharski
04-219 Warszawa, ul. Pabianicka 26A lok. 3-4
Regon: 141848637 NIP: 7010182756

BSP Bracket System Polska Sp. z o.o.

NIP: 7010182756

ul. Pabianicka 26A Lok 3-4

04-219 Warszawa Polska

www.bspsystem.com

Spis treści

1. Wykaz norm.....	3
2. Zakres analizy.	3
3. Obliczenie współczynnika przenikania dla 1m ² elewacji – bez uwzględniania poprawek ze względu na mostki cieplne	3
4. Obliczenie mostków cieplnych X_i z wykorzystaniem metody komputerowej – pionowy układ paneli kompozytowych na elewacji wentylowanej.....	4
5. Wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła przegrody - pionowy układ paneli kompozytowych na elewacji wentylowanej.	8
6. Obliczenie mostków cieplnych X_i z wykorzystaniem metody komputerowej - poziomy układ paneli kompozytowych na elewacji wentylowanej.....	12
7. Wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła przegrody - poziomy układ paneli kompozytowych na elewacji wentylowanej.....	15
8. Wnioski.	20

1. Wykaz norm.

- PN-EN ISO 9251 Izolacja cieplna -- Warunki wymiany ciepła i właściwości materiałów
- PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku -- Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła -- Metoda obliczania
- PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach -- Strumienie ciepła i temperatury powierzchni -- Obliczenia szczegółowe
- PN-EN ISO 10077-2:2012 Ciepłne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji -- Obliczanie współczynnika przenikania ciepła -- Część 2: Metoda komputerowa dla ram
- PN-EN ISO 10456:2009 Materiały i wyroby budowlane -- Właściwości cieplno-wilgotnościowe -- Tabelaryczne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych
- Piet Standaert, "Twee- en drie-dimensionale warmteoverdracht: numerieke methoden, experimentele studie en bouw fysische toepassingen." Dwu i trójwymiarowe metody numeryczne obliczania transferu ciepła, Badania doświadczalne i fizyki budowli aplikacje Praca doktorska, K.U. Leuven, 1984 (W języku niderlandzkim)

2. Zakres analizy.

Analiza została wykonana na dwóch reprezentatywnych zakresach elewacji wentylowanej z pionowym układem płyt kompozytowych i poziomym układem płyt kompozytowych. W obliczeniach uwzględniono ucieczkę ciepła przez podkonstrukcję elewacji wentylowanej BSP i kołki do montażu wełny. Obliczenia wykonano wg normy PN-EN ISO 6946. Obliczono współczynnik przenikania ciepła U dla 1m^2 , a następnie powiększono otrzymaną wartość o poprawkę ΔU_f ze względu na łączniki (kołki do wełny) oraz konsole systemowe wraz z rusztem i kotwami zamodelowane w programie Trisco Phisybel jako modele trójwymiarowe. By wyznaczyć punktowe współczynniki przenikania ciepła χ_i , porównano przepływ ciepła nie uzbrojonej ściany i ściany wyposażonej w podkonstrukcję, a różnicę w ilości Watów przyjęto jako ucieczkę ciepła przez podkonstrukcję. Punktowe współczynniki przenikania ciepła χ_i od podkonstrukcji BSP i kołków mocujących wełnę wyznaczono wg PN-EN ISO 10211:2008, PN-EN ISO 10211:2008, PN-EN ISO 9251 (metodą komputerową)

3. Obliczenie współczynnika przenikania dla 1m^2 elewacji – bez uwzględniania poprawek ze względu na mostki cieplne

Tabela 1 Całkowity opór cieplny przegrody z betonu i współczynnik przenikania ciepła wg. PN-EN ISO 6946 - bez poprawek na łączniki i konsole z rusztami

nr	Warstwa	d[m]	λ [W/(m*K)]	$R_i=d/\lambda$ [m ² *K/W]
-	Opór przejmowania od strony wewnętrznej, R_{si}			0,130
1	beton zbrojony 1% stali zbrojeniowej 24 cm	0,240	2,300	0,104
2	wełna z welonem 16cm	0,160	0,034	4,706
-	Opór przejmowania od strony zewnętrznej, R_{se}	-	-	0,040
suma oporów ΣR_i				4,980
$U=1/\Sigma R_i$ [W/m ² *K]				0,201

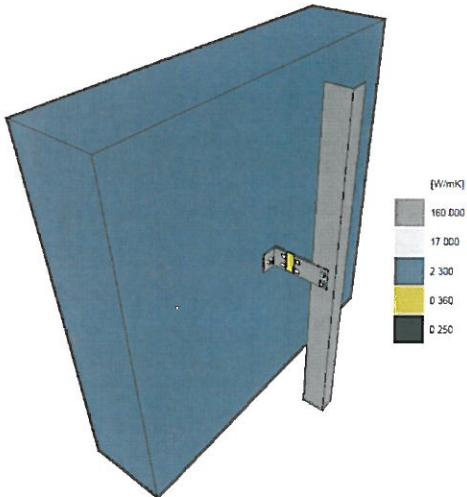
Tabela 2 Całkowity opór cieplny przegrody z gazobetonu i współczynnik przenikania ciepła wg. PN-EN ISO 6946 - bez poprawek na łączniki i konsole z rusztami

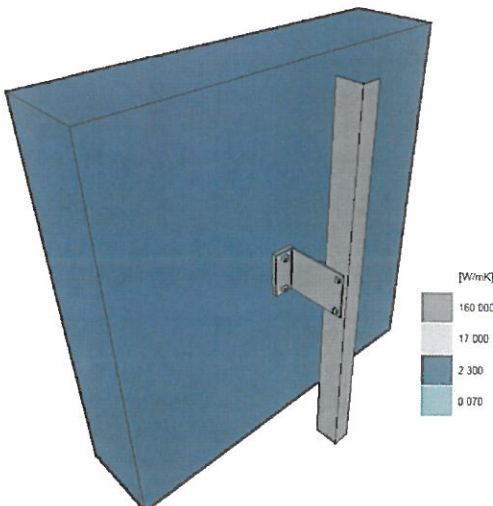
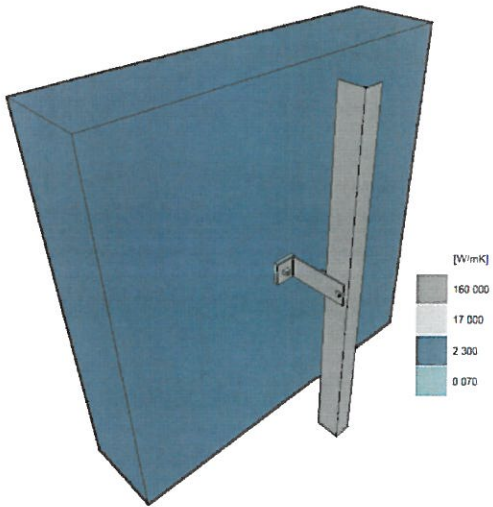
nr	Warstwa	d[m]	λ [W/(m*K)]	$R_i=d/\lambda$ [m ² *K/W]
-	Opór przejmowania od strony wewnętrznej, R_{si}			0,130
1	gazobeton H+H 24 cm	0,240	0,135	1,778
2	wełna z welonem 16cm	0,160	0,034	4,706
-	Opór przejmowania od strony zewnętrznej, R_{se}	-	-	0,040
suma oporów ΣR_i				6,654
$U=1/\Sigma R_i$ [W/m ² *K]				0,150

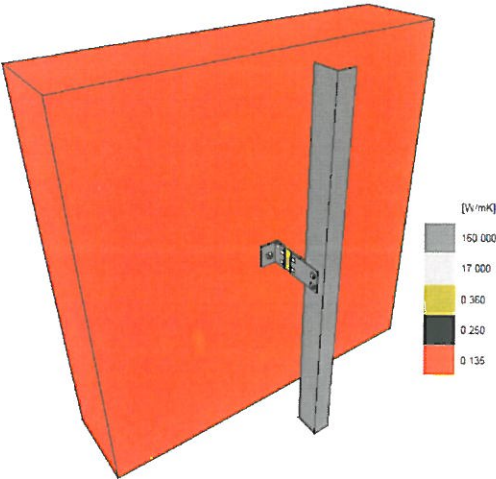
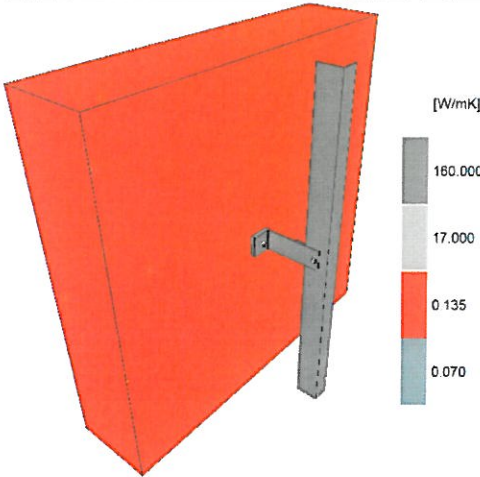
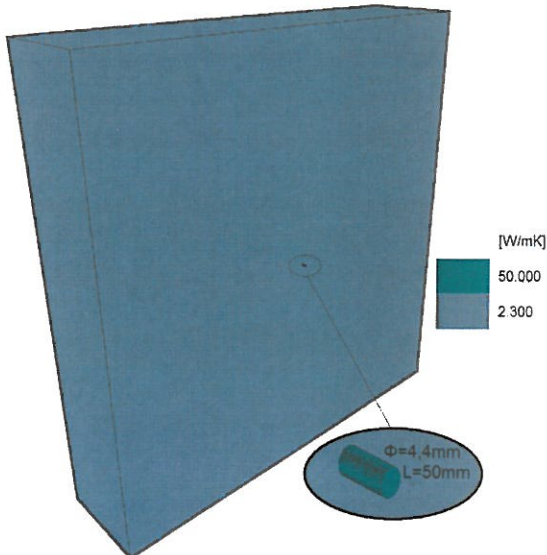
4. Obliczenie mostków cieplnych X_i z wykorzystaniem metody komputerowej – pionowy układ paneli kompozytowych na elewacji wentylowanej.

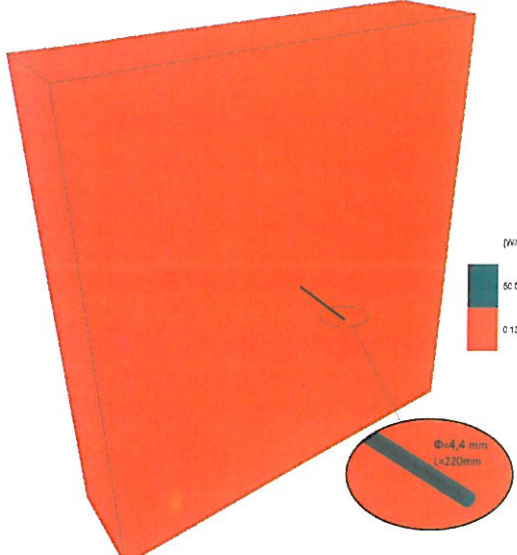
Tabela 3. Wartości przepływów ciepła obliczone metodą komputerową, obliczenie wartości mostków cieplnych ze względu na straty przy użyciu konsol wraz z kotwami i wkrętami (Modele celowo pokazano bez wełny i płyty ze względu na przejrzystość układu. Obliczenia wykonano z uwzględnieniem izolacji z wełny 160mm)

Program z bardzo dużą dokładnością oblicza przepływ ciepła w watach na zadanym modelu, przy zadanych parametrach materiałowych i różnicy temperatur wewnątrz i na zewnątrz przegrody. Dla poszczególnych elementów przegrody wartości λ [W/(m*K)] przyjęto jak w tabeli 1 oraz 2, a dla elementów podkonstrukcji tak jak na grafikach w poniższej tabeli. Każdorazowo modelowano 1 m² (1000x1000mm) przegrody bez uwzględnienia podkonstrukcji Tak jak w wierszu 1 i 6, oraz z uwzględnieniem poszczególnych jej układów jak w pozostałych wierszach tabeli. Współczynnik przenikania ciepła $U=Q/(A*\Delta t)$ [W/m²*K] na zamodelowanym metrze kwadratowym przegrody wyliczony został w kolumnie szóstej dla każdego przypadku. Mostek termiczny obliczony w kolumnie 7 przypadający na poszczególne układy $X_i = U_{\text{ściana uzbrojona}} - U_{\text{ściana bez uzbrojenia}}$ [W/(m²K)] jest równy różnicy pomiędzy współczynnikiem przenikania ciepła przegrody uzbrojonej w podkonstrukcję oraz odpowiedniej przegrody bez uzbrojenia. Mostki termiczne X_i (hi) dla tego samego uzbrojenia są różne w zależności od rodzaju podłoża do którego są przymocowane zatem obliczono je rozdzielnie na podłożu z betonu zbrojonego (lp. od 1 do 5 i dodatkowo mostek dla kołków do wełny 10), oraz dla gazobetonu H+H (lp. od 6 do 9 i dodatkowo mostek dla kołków do wełny 11) Dla porównania można sprawdzić współczynnik przenikania ciepła przegrody bez uzbrojenia Obliczony metodą z tabeli 1 oraz metodą komputerową z tabeli 3 wiersz 2 kolumna 6, w obydwu przypadkach $U=0,201$ [W/m²*K] itd.

lp.	Nazwa badanego układu	prze- pływ ciepła Q [W]	Modelo- wana po- wierzchnia A [m ²]	różnica tempera- tur Δt [K]	Współczyn- nik przeni- kania cie- pła $U=Q/(A*\Delta t)$ [W/m ² *K]	$X_i = U_{\text{ściana uzbrojona}} - U_{\text{ściana bez uzbrojenia}}$ [W/(m ² K)]
1.	beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm	8,03	1	40	0,201	-
2.	beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm+KWR2	8,09	1	40	0,202	0,002
3.	 beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm+KWR2+ KW1 PAS/170-60+ EPDM 1mm	8,31	1	40	0,208	0,007

4.	 beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm+KWR2+KW1/170-120+ PCW spienione 10mm	11,91	1	40	0,298	0,097
5.	 beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm+KWR2+KW1/170-60+ PCW spienione 10mm	10,21	1	40	0,255	0,055
6.	gazobeton h+h 24cm+wełna16cm	6,01	1	40	0,150	-
7.	gazobeton h+h 24cm+wełna16cm+KWR2	6,05	1	40	0,151	0,001

8.	 gazobeton h+h 24cm+wełna16cm+KWR2 + KW1 PAS/170-60+ EPDM 1mm	6,15	1	40	0,154	0,004
9.	 gazobeton h+h 24cm+wełna16cm+KWR2 + KW1/170-60 + PCW spienione 10mm	6,53	1	40	0,163	0,013
10.	 kołek do wełny z wstrzeliwanym gwoździem L=50mm Φ4,4 na podłożu betonowym	8,03	1	40	0,201	0,000

11.	 kołek do wełny z trzpieniem stalowym L=220mm Φ4,4 na podłożu gazobetonowym	6,05	1	40	0,151	0,001
-----	---	------	---	----	-------	-------

5. Wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła przegrody - pionowy układ paneli kompozytowych na elewacji wentylowanej.

Na schemacie poniżej pokazano rozmieszczenie konsol BSP na reprezentatywnej powierzchni ściany (pionowy układ paneli).
Po prawej stronie widok podkonstrukcji i przekrój pionowy pomiędzy osiami Sx-Rx

W1-Konsola BSP KW1/170-120+podkładka PCW spienione 10mm

W3-Konsola BSP KW1 PAS/170-60+podkładka EPDM 1 mm

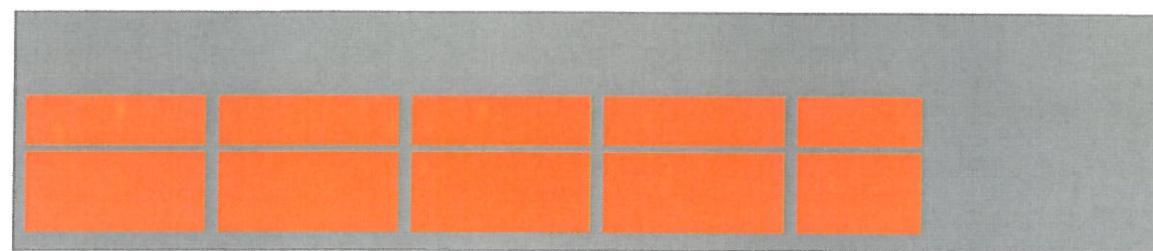
W4-Konsola BSP KW1/170-60+podkładka PCW spienione 10mm

Ze względu na obliczenia współczynnika przenikania ciepła ściany w osiach Ux-Nx pominięto attykę i dolną belkę żelbetową poza osiami stropów traktując te elementy jako części stropów i dachu i nie włączając ich w rozpatrywanie termiki ściany

gazobeton 193,23m²

beton 283,28m²

cała ściana 476,51m²



rozmieszczenie konsol pomarańczowe wypadają na gazobetonie, fioletowe na betonie

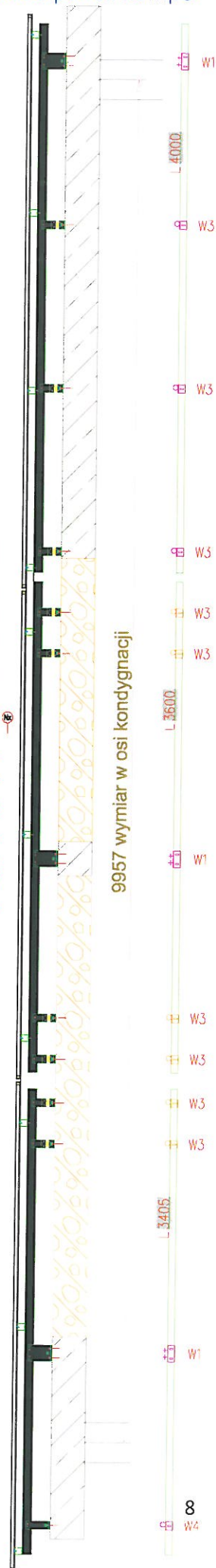


Tabela 4. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła dla ściany w osiach Ux-Nx. Jako reprezentatywną powierzchnię przyjęto ścianę w osi stropów. Zgodnie ze schematem powyżej. Pominęto odrębne obliczenia mostka liniowego od rusztu ze względu na to, że jeden metr bieżący rusztu jest zamodelowany razem z konsolą mnożąc ilość konsol przypadającą na jeden pion podkonstrukcji otrzymujemy 11 mb na pion co minimalnie zawyża rozpatrywaną długość 9,956 mb. W kolumnie 4 podano ilość węzłów na danym podłożu (kolor szary- beton zbrojony , kolor pomarańczowy- gazobeton). Dzieliąc ilości konsol przez odpowiednią powierzchnię betonu bądź gazobetonu wyliczona w osiach Ux-Nx z dokumentacji rysunkowej, otrzymujemy dokładną ilość konsol przypadającą na metr kwadratowy powierzchni danego rodzaju [kolumna 5=kolumna 4/pole betonu (gazobetonu)]. Kolumna 6 jest wynikiem wzoru (D.4) z normy PN-EN ISO 6946 na poprawkę do współczynnika przenikania ciepła.

węzeł	Nazwa badanego układu	$X_i = U_{\text{ściana}}$ uzbrojona - $U_{\text{ściana bez}}$ uzbrojenia [W/(m ² K)]	ilość kon- sol	n_f ilość konsol na 1m ²	$\Delta U_f = X_i \cdot n_f$
W3	beton zbrojony 1% 24cm+wełna15cm+KWR2+ KW1 PAS/170-60 + EPDM 1mm	0,007	274	0,967	0,007
W1	beton zbrojony 1% 24cm+wełna15cm+KWR2+ KW1/170-120+PCW spienione 10mm	0,097	124	0,438	0,042
W4	beton zbrojony 1% 24cm+wełna15cm+KWR2+ KW1/170-60+PCW spienione 10mm	0,055	32	0,113	0,006
	kołek do wełny z wstrzeliwanym gwoździem L=50mm Φ 4,4 na podłożu betonowym	0,000	1983	7,000	0,000
					$\Sigma \Delta U_f$ BETON
					0,055
W3	gazobeton h+h 24cm+wełna15cm+KWR2 + KW1 PAS/170-60 + EPDM 1mm	0,004	252	1,304	0,005
W4	gazobeton h+h 24cm+wełna15cm+KWR2 + KW1/170-60 + EPDM 1mm	0,013	0	0,000	0,000
	kołek do wełny z trzpieniem stalowym L=220mm Φ 4,4 na podłożu gazobetonowym	0,001	1353	7,000	0,007
					$\Sigma \Delta U_f$ GAZO- BETON
					0,012

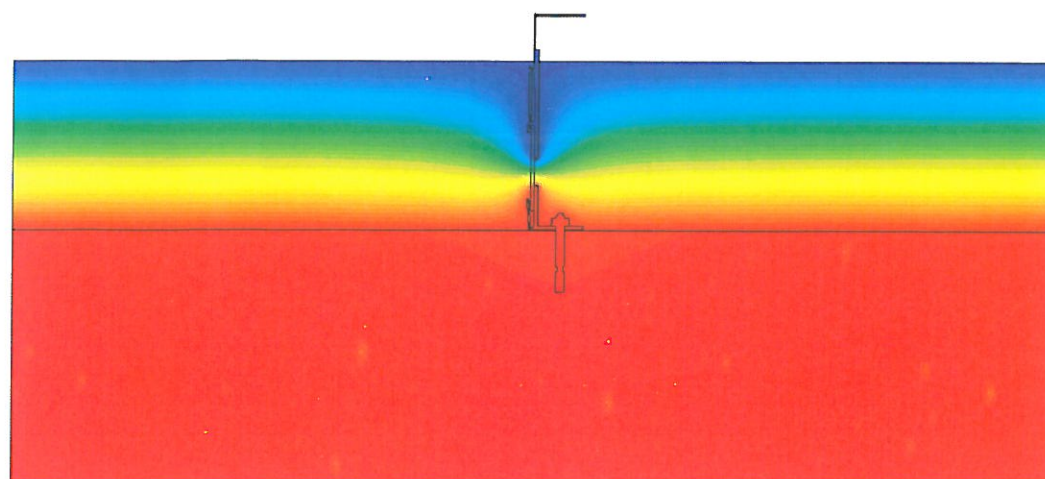
pole betonu [m ²]	pole gazobetonu [m ²]	pole całości [m ²]
283,28	193,23	476,51

beton bez mostków	$U_C = U$ [W/m ² *K]	0,201
gazobeton bez mostków	$U_C = U$ [W/m ² *K]	0,150
razem bez mostków	UC dla ściany $0,201 \cdot 283,28 / 476,51 + 0,150 \cdot 193,23 / 476,51$	0,180
		$U_C \leq U_{\text{max}} = 0,23$ [W/m ² *K]

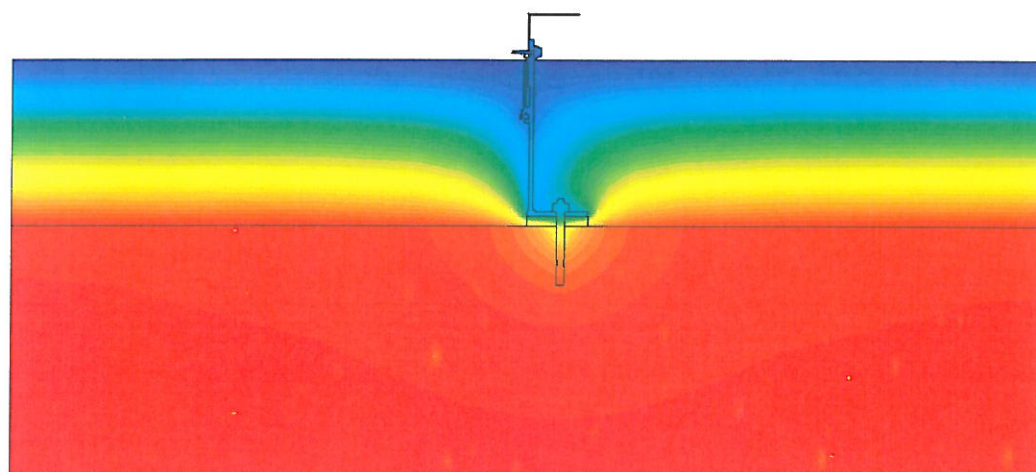
Beton z mostkami	$U_C = U + \Sigma \Delta U_f \text{ BETON}$ [W/m ² *K]=0,201+0,055=	0,256
gazobeton z mostkami	$U_C = U + \Sigma \Delta U_f$ [W/m ² *K]=0,150+0,010=	0,162
Razem z mostkami od podkonstrukcji i kołków	UC dla ściany $0,256 \cdot 283,28 / 476,51 + 0,162 \cdot 193,23 / 476,51$	0,218
		$U_C \leq U_{\text{max}} = 0,23$ [W/m ² *K]

UC dla ściany jest średnią ważoną z U_c na podłożu betonowym pole szare i U_c na podłożu gazobetonowym pole pomarańczowe, a waga jest ilorazem pól poszczególnych podłoży do pola całości reprezentatywnej ściany.

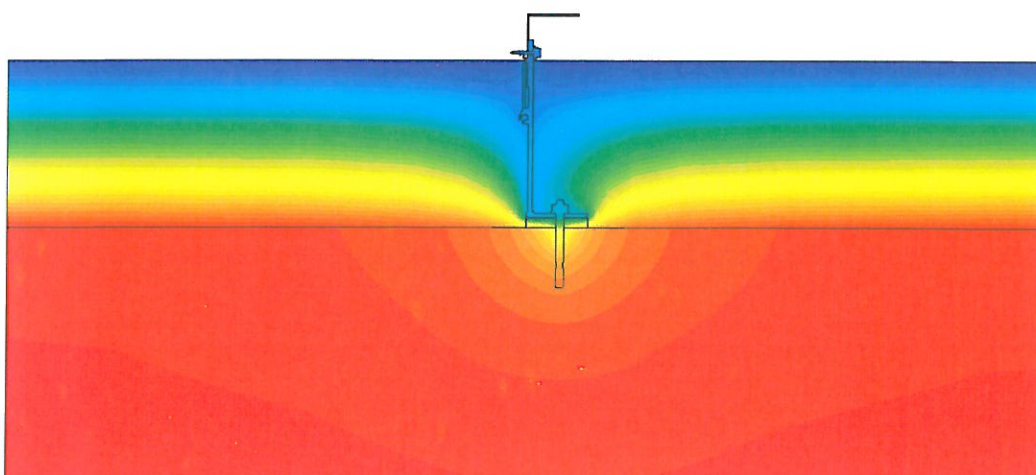
Poniżej Izotermy na rzutach poszczególnych układów ścian dla układu pionowego paneli kompozytowych



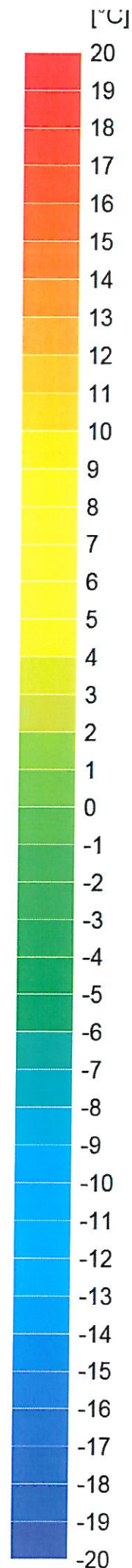
beton zbrojony 1% 24cm+wełna15cm+KWR2+KW1 PAS/170-60 + EPDM 1mm

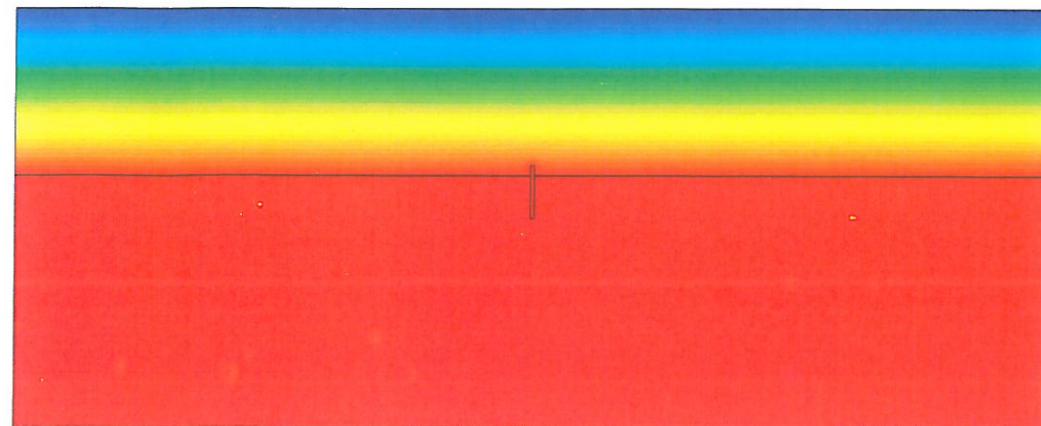


beton zbrojony 1% 24cm+wełna15cm+KWR2+KW1/170-120+PCW spienione 10mm

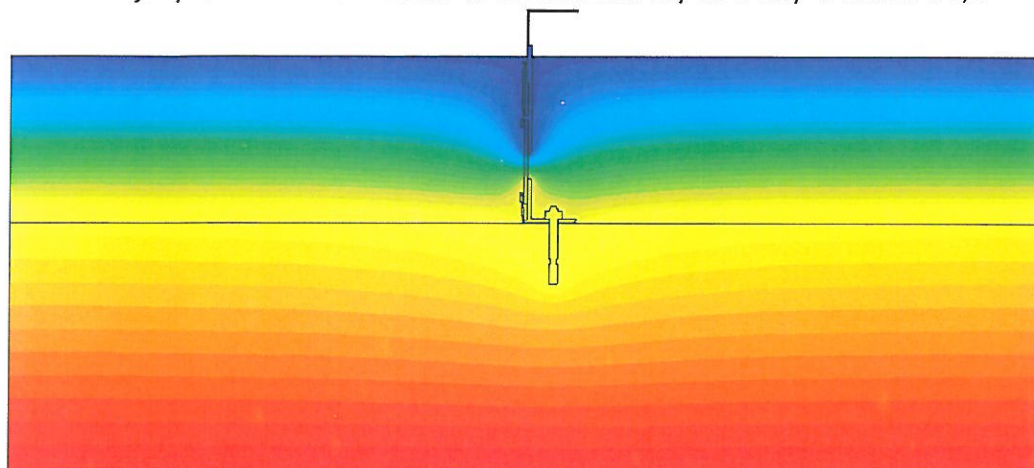


beton zbrojony 1% 24cm+wełna15cm+KWR2+KW1/170-60+PCW spienione 10mm

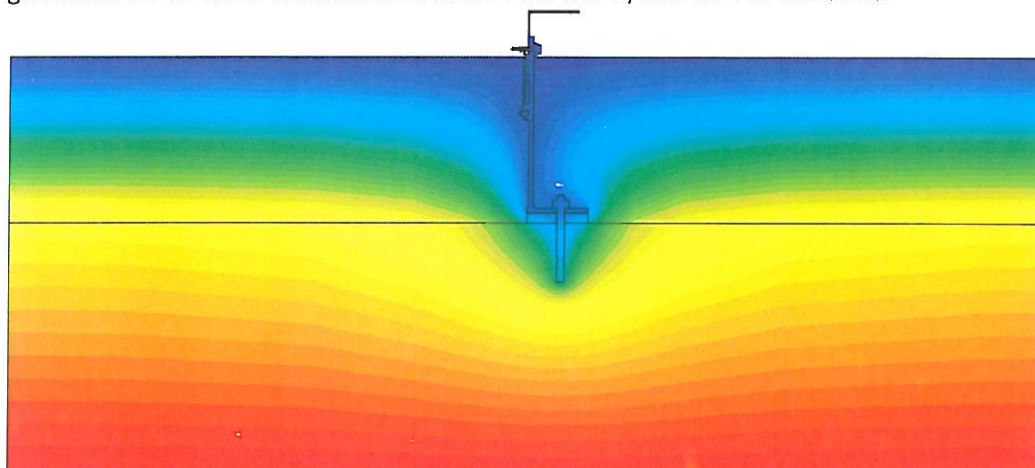




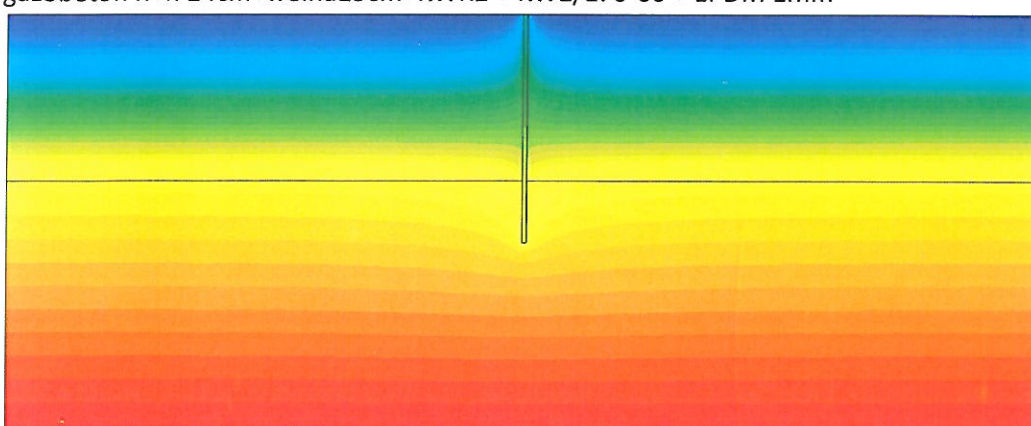
beton zbrojony 1% 24cm+wełna15cm+kołek wstrzeliwany do wełny L=50mm $\Phi 4,4$



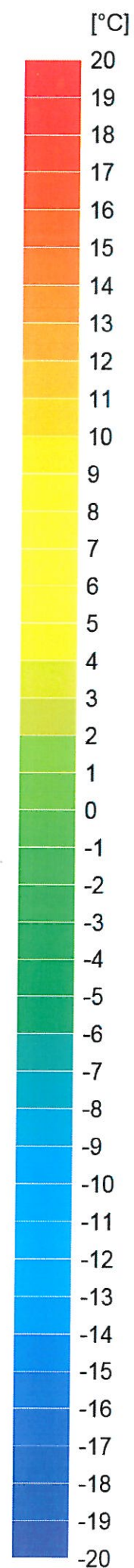
gazobeton h+h 24cm+wełna15cm+KWR2 + KW1 PAS/170-60 + EPDM 1mm



gazobeton h+h 24cm+wełna15cm+KWR2 + KW1/170-60 + EPDM 1mm

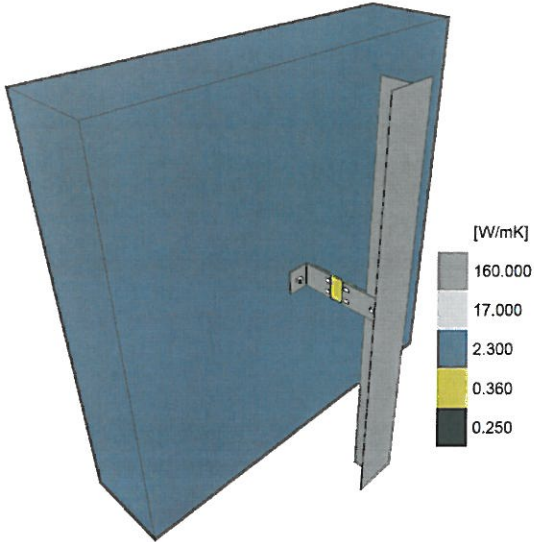
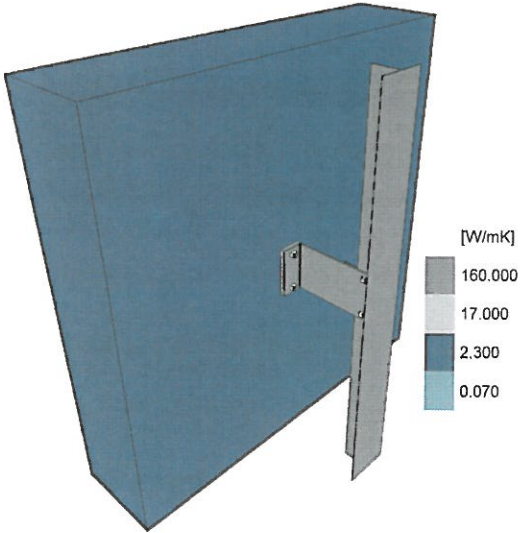


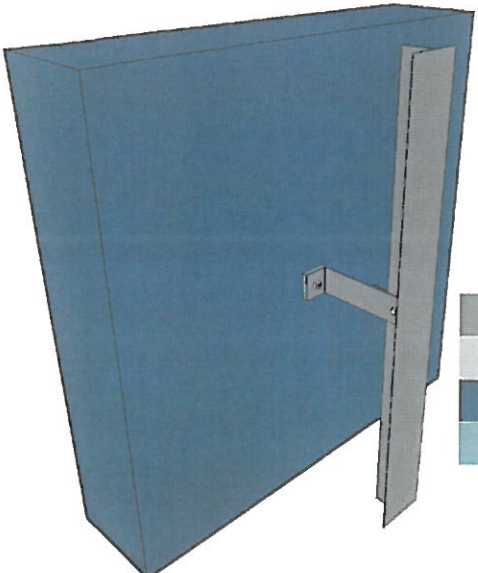
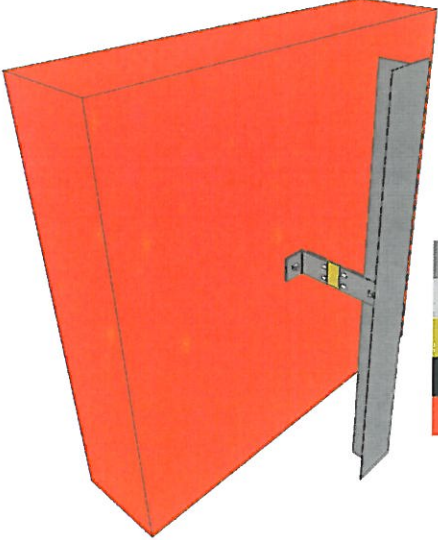
kołek do wełny z trzpieniem stalowym L=220mm $\Phi 4,4$ na podłożu gazobetonowym

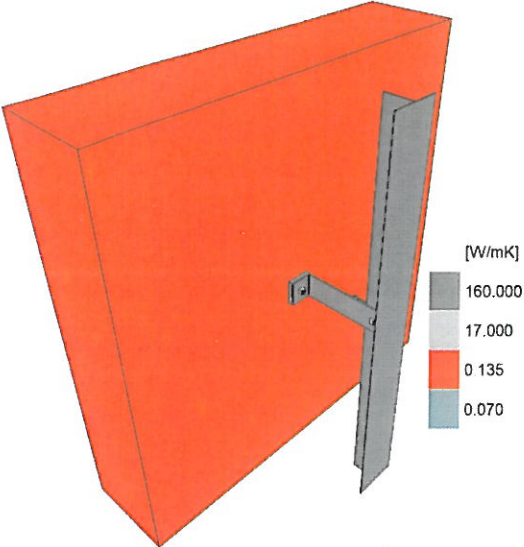
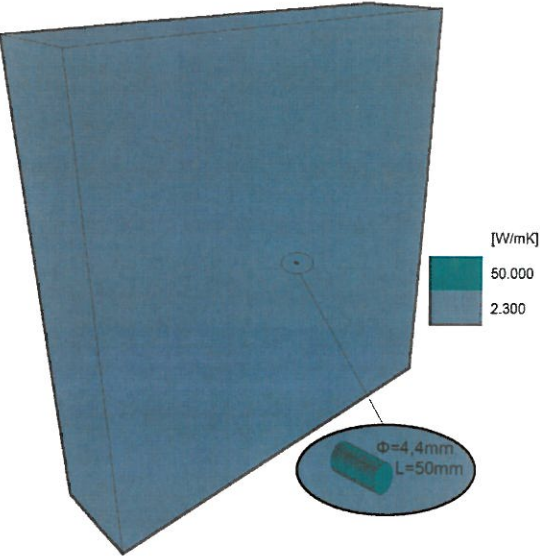
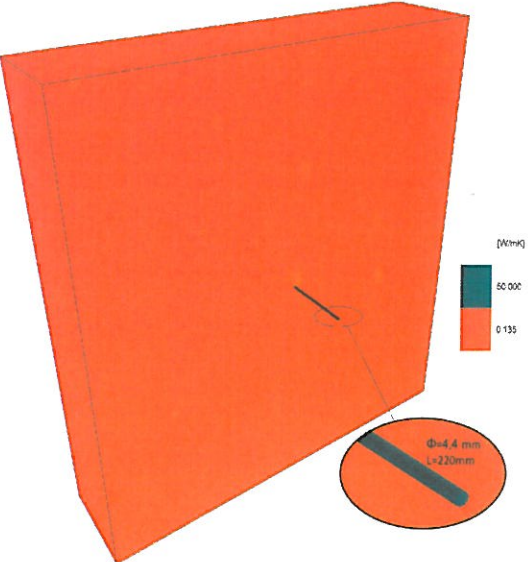


6. Obliczenie mostków cieplnych X_i z wykorzystaniem metody komputerowej - poziomy układ paneli kompozytowych na elewacji wentylowanej.

Tabela 5. Wartości przepływów ciepła obliczone metodą komputerową poziomy układ paneli kompozytowych na elewacji wentylowanej.

lp.	Nazwa badanego układu	prze- pływ ciepła Q [W]	powierzch- nia A [m ²]	różnica tempera- tur Δt [K]	Współczyn- nik przeni- kania cie- pła $U=Q/(A*\Delta t)$ [W/m ² *K]	$X_i = U_{\text{ściana}}$ - $U_{\text{ściana}}$ uzbrojona [W/(m ² K)]
1.	beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm	8,03	1	40	0,201	-
2.	beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm+KWR1	8,03	1	40	0,201	0,000
3.	 beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm+KWR1+ KW1 PAS/210-60+ EPDM 1mm	8,20	1	40	0,205	0,004
4.	 beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm+KWR1+KW1/210-120+ PCW spienione 10mm	11,83	1	40	0,296	0,095

5.	 beton zbrojony 1% 24cm+wełna16cm+KWR1+KW1/210-60+ PCW spienione 10mm	10,09	1	40	0,252	0,052
6.	gazobeton h+h 24cm+wełna16cm	6,01	1	40	0,150	-
7.	gazobeton h+h 24cm+wełna16cm+KWR2	6,01	1	40	0,150	0,000
8.	 gazobeton h+h 24cm+wełna16cm+KWR1 + KW1 PAS/220-60+ EPDM 1mm	6,09	1	40	0,152	0,002

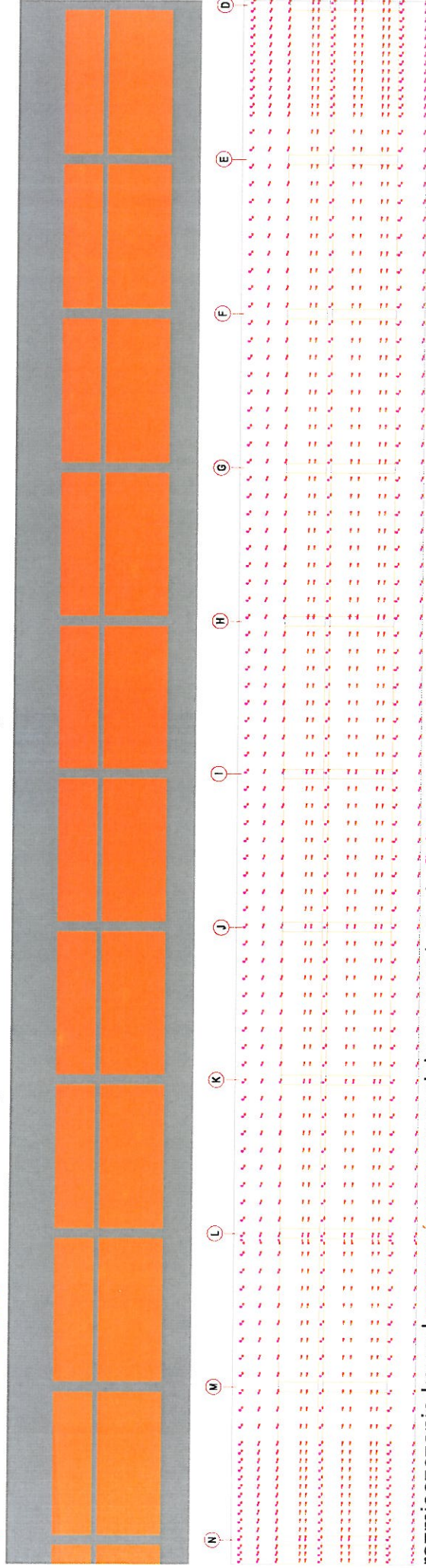
9.	 gazobeton h+h 24cm+wełna16cm+KWR1 + KW1/210-60 + PCW spienione 10mm	6,50	1	40	0,163	0,012
10.	 kołek do wełny z wstrzeliwanym gwoździem L=50mm Φ4,4 na podłożu betonowym	8,03	1	40	0,201	0,000
11.	 kołek do wełny z trzpieniem stalowym L=200mm Φ4,4 na podłożu gazobetonowym	6,05	1	40	0,151	0,001

7. Wyznaczenie współczynnika przenikania ciepła przegrody - poziomy układ paneli kompozytowych na elewacji wentylowanej
 Na schemacie poniżej pokazano rozmieszczenie konsol BSP na reprezentatywnej powierzchni ściany w ośiach N-D. (układ poziomy paneli)

gazobeton 414,34m²

beton 368,34m²

cała ściana 782,68m²



rozmieszczenie konsol pomarańczowe wypadają na gazobetonie, fioletowe na betonie

Po prawej stronie widok podkonstrukcji i przekrój pionowy pomiędzy osiami I-J

W5-Konsola BSP KW1/210-120+podkładka PCW spienione 10mm

W6-Konsola BSP KW1 PAS/220-60+podkładka EPDM 1 mm

W7-Konsola BSP KW1/210-60+podkładka PCW spienione 10mm

Ze względu na obliczenia współczynnika przenikania ciepła ściany w osiach N-D przyjęto wysokość ściany jako 9,6m

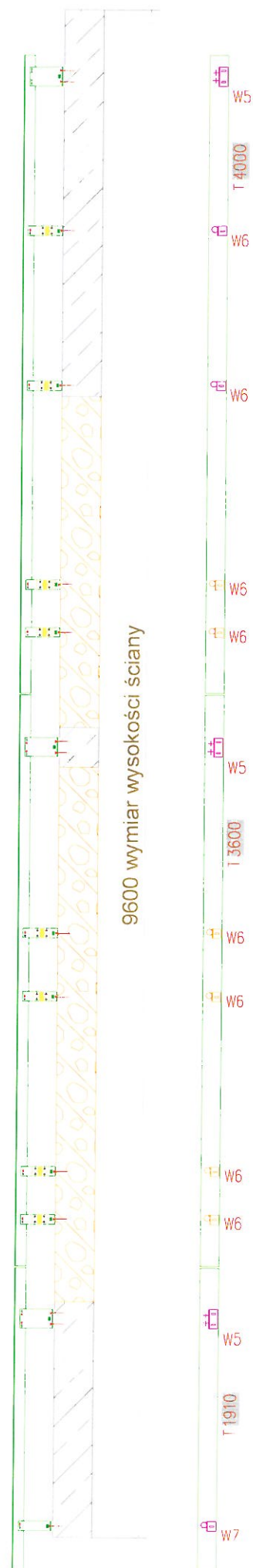


Tabela 6. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła dla ściany w osiach N-D

węzeł	Nazwa badanego układu	$X_i = U_{\text{ściana uzbrojona}} - U_{\text{ściana bez uzbrojenia}} [W/(m^2K)]$	ilość konsol	ilość konsol na 1 m ²	$\Delta U_f = X_i \cdot n_f$
	beton zbrojony 1% 24cm+wełna 16cm	-			
W6	beton zbrojony 1% 24cm+wełna 16cm+KWR1+ KW1 PAS/220-60 + EPDM 1mm	0,004	254	0,690	0,003
W5	beton zbrojony 1% 24cm+wełna 16cm + KWR1 + KW1/210-120+PCW spienione 10mm	0,095	318	0,863	0,082
W7	beton zbrojony 1% 24cm+wełna 16cm + KWR1 + KW1/210-60+PCW spienione 10mm	0,052	106	0,288	0,015
	kołek wstrzeliwany do wełny L=50mm Ø4,4 na podłożu betonowym	0,000	2578	7,000	0,000
				$\Sigma \Delta U_f$ BETON	0,100

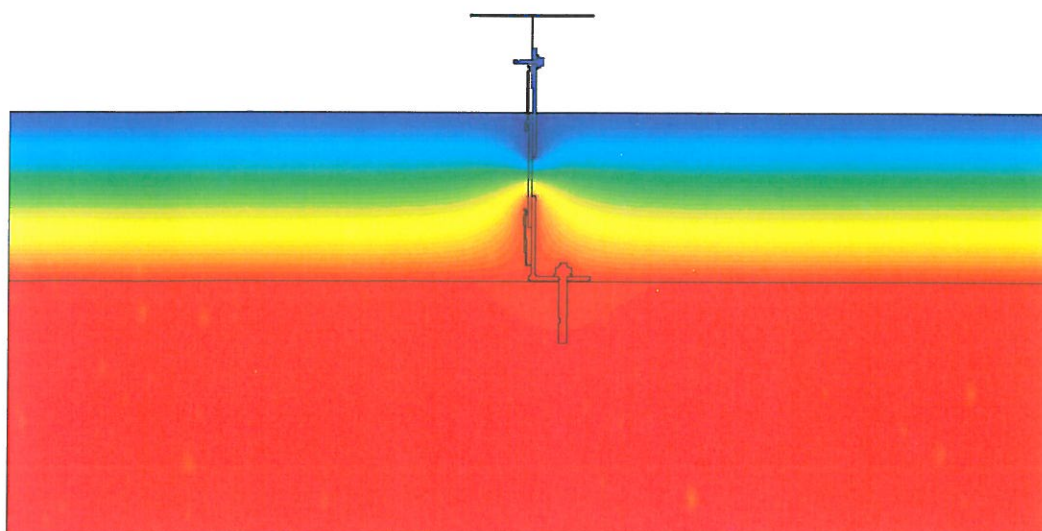
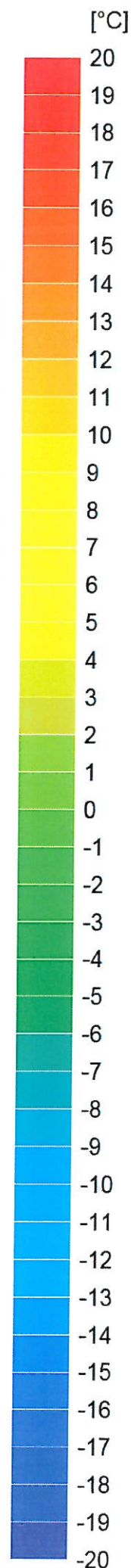
	gazobeton h+h 24cm+wełna18cm	-			
W6	gazobeton h+h 24cm+wełna18cm+KWR1 + KW1 PAS/220-60 + EPDM 1mm	0,002	594	1,434	0,003
W7	gazobeton h+h 24cm+wełna18cm+KWR1 + KW1/210-60 + EPDM 1mm	0,012	0	0,000	0,000
	kołek do wełny L=220mm Ø4,4 na podłożu gazobetonowym	0,001	2900	7,000	0,007
				$\Sigma \Delta U_f$ BETON	0,010

pole betonu [m ²]	pole gazobetonu [m ²]	pole całości [m ²]
368,34	414,34	782,68

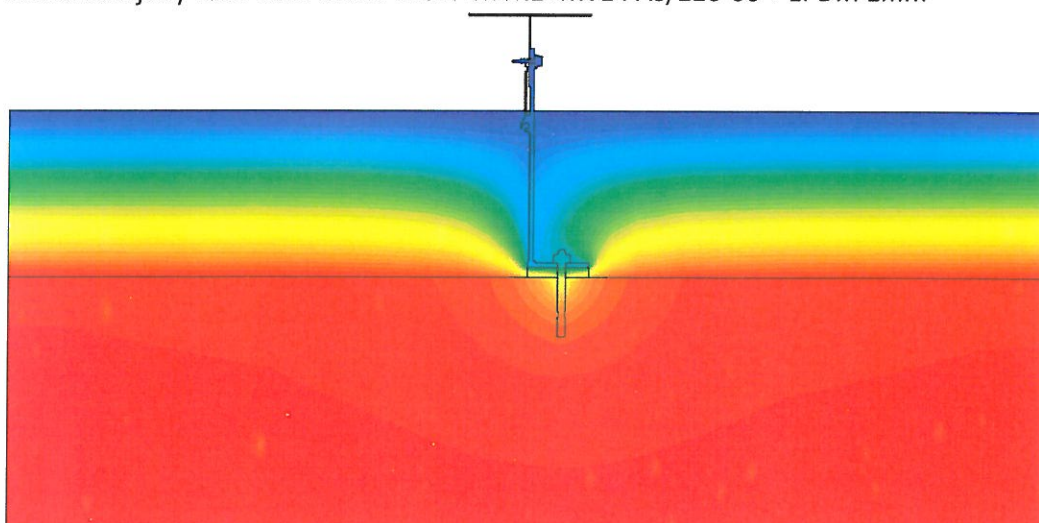
beton bez mostków	$UC=U [W/m^2 \cdot K]$	0,201	
gazobeton bez mostków	$UC=U [W/m^2 \cdot K]$	0,150	
Razem bez mostków	UC dla ściany	0,174	$U_c \leq U_{max} = 0,23 [W/m^2 \cdot K]$

beton z mostkami	$UC=U+\Delta U_f [W/m^2 \cdot K] = 0,201+0,055=$	0,301	
gazobeton z mostkami	$UC=U+\Delta U_f [W/m^2 \cdot K] = 0,150+0,010=$	0,160	
Razem z mostkami od podkonstrukcji i kołków	UC dla ściany $0,301 \cdot 368,34 / 782,68 + 0,160 \cdot 414,34 / 782,68 =$	0,226	$U_c \leq U_{max} = 0,23 [W/m^2 \cdot K]$

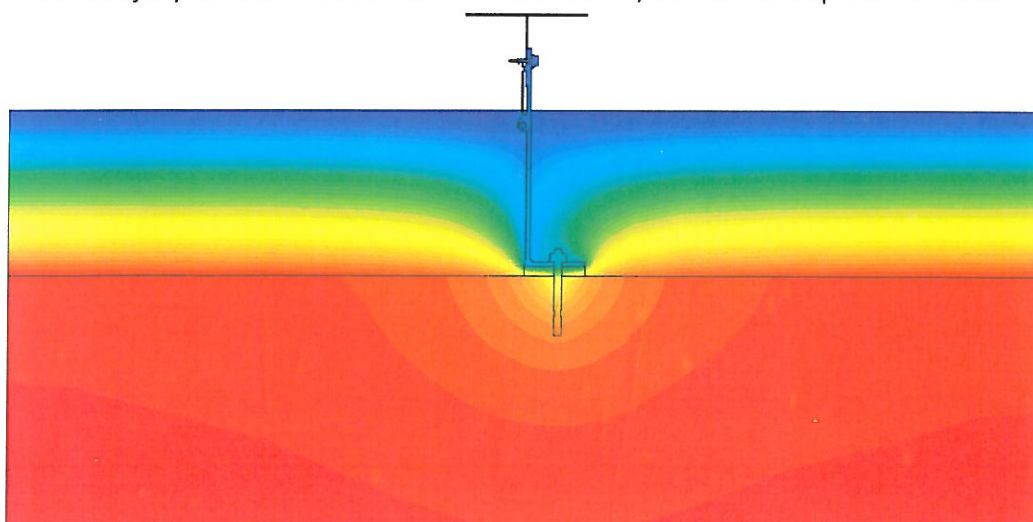
Poniżej Izotermy na rzutach poszczególnych układów ścian dla układu pionowego paneli kompozytowych



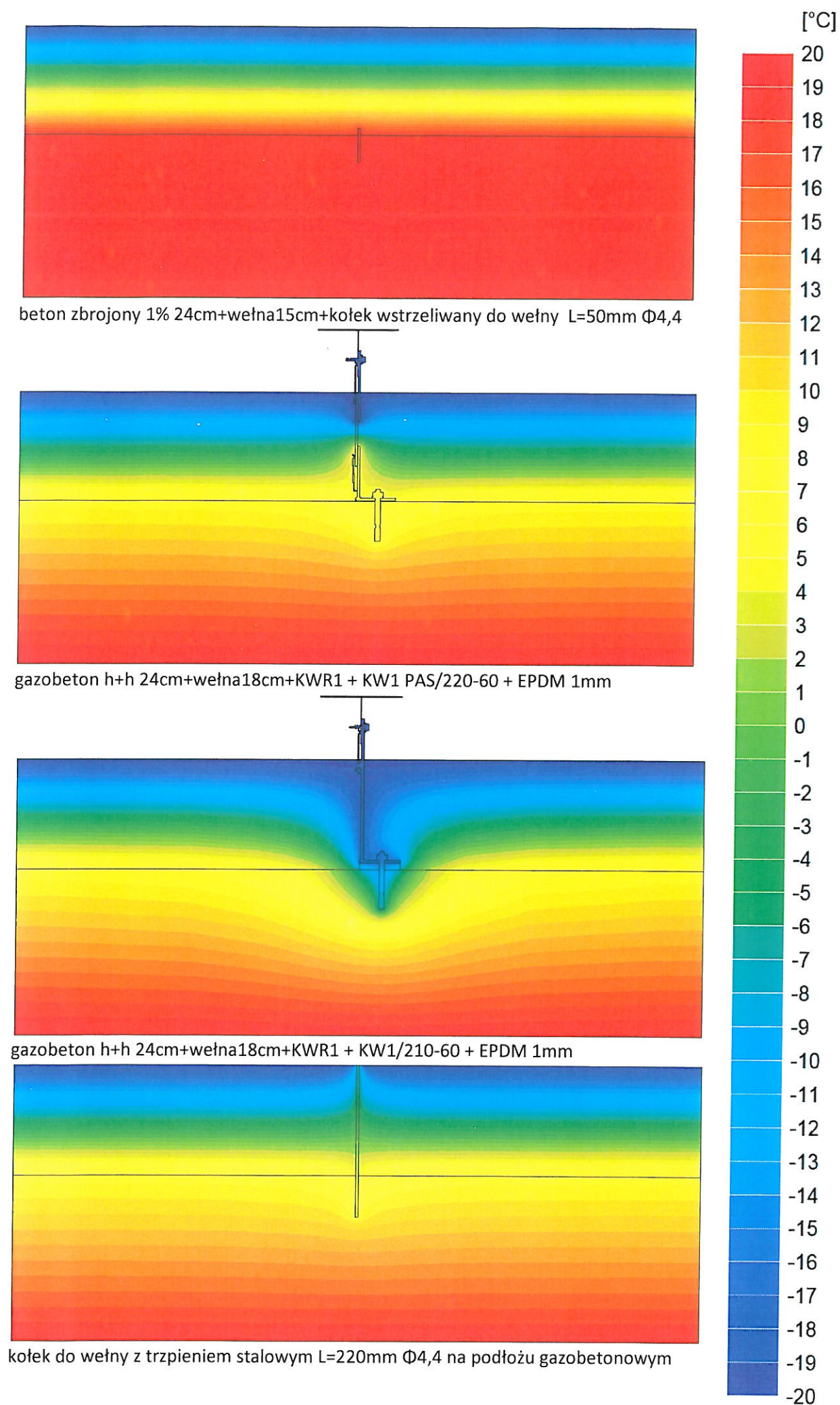
beton zbrojony 1% 24cm+wełna 16cm+KWR1+KW1 PAS/220-60 + EPDM 1mm



beton zbrojony 1% 24cm+wełna 16cm + KWR1 + KW1/210-60+PCW spienione 10mm



beton zbrojony 1% 24cm+wełna 16cm + KWR1 + KW1/210-120+PCW spienione 10mm



8. Wnioski.

Po wnikliwej analizie stwierdzono, że przy przyjętym układzie warstw dla ściany zastosowanie konsol BSP KW1PAS z podkonstrukcją aluminiową BSP wg. powyższego schematu pozwala spełnić warunek dotyczący całkowitego współczynnika przenikania ciepła z Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie :

Całkowity współczynnik przenikania ciepła dla reprezentatywnej ściany, gdzie układ paneli kompozytowych jest poziomy w osiach Ux-Nx z uwzględnieniem mostków termicznych od podkonstrukcji firmy BSP pod elewację wentylowaną i kołków do wełny oraz zastosowaniem konsol w całości aluminiowych BSP w pasach p.poż.

$$U_C = U + \Delta U_f = 0,118 + 0,038 =$$

$$U_C \approx 0,218 \leq U_{\max} = 0,23 [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}].$$

Warunek spełniony!

Całkowity współczynnik przenikania ciepła dla reprezentatywnej ściany, gdzie układ paneli kompozytowych jest poziomy w osiach N-D z uwzględnieniem mostków termicznych od podkonstrukcji firmy BSP pod elewację wentylowaną i kołków do wełny oraz zastosowaniem konsol w całości aluminiowych BSP w pasach p.poż.

$$U_C = U + \Delta U_f = 0,174 + 0,052 =$$

$$U_C \approx 0,226 \leq U_{\max} = 0,23 [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}].$$

Warunek spełniony!