

MOSTKI TERMICZNE - ICH ANALIZA I UWAZGLĘDNIANIE W OBLICZENIACH TERMICZNYCH PRZEGRÓD BUDOWLANYCH

2008-08-30
Miroslaw Hodun

POJĘCIA PODSTAWOWE

- Przegroda budowlana.
- Mostek termiczny.
- Mostek termiczny liniowy.
- Mostek termiczny punktowy.
- Współczynnik przenikania ciepła U_o .
- Współczynnik przenikania ciepła U .
- Współczynnik przejmowania ciepła α .
- Strumień ciepła.
- Temperatura punktu rosy.
- Izotermy.

POJĘCIA PODSTWOWE

- Przegrodą budowlaną (w sensie fizyki budowli) jest każda przegroda rozdzielająca różne środowiska: wewnętrzne, zewnętrzne lub zewnętrzne od wewnętrznych i ich kombinacje.
- Mostek termiczny jest to każde zaburzenie przepływu ciepła przez przegrodę. Zaburzenie to powoduje lokalnie zmianę kierunku i gęstości strumienia ciepła a wywołane jest lokalną anomalią – odstępstwem od typowej budowy danej przegrody. Odstępstwo to może mieć charakter materiałowy lub gabarytowy. Innymi słowy prosta przegroda budowlana o układzie warstwowym równoległym (warstw do siebie nawzajem i do środowisk otaczających) jest budową podstawową, a każde odstępstwo gabarytowe, wtręt lub ubytek materiałowy jest mostkiem termicznym dla tej przegrody.
- Mostek termiczny liniowy jest to zaburzenie j.w. o charakterze liniowym tj. takim, któremu możemy przyporządkować jego długość w danej przegrodzie i intensywność na jednostkę długości. - Mostek termiczny punktowy jest to zaburzenie j.w. o charakterze skupionym, któremu nie możemy porządkować długości lecz tylko miejsce jego przyczyny.
- Współczynnik przenikania ciepła U_0 jest to charakterystyka przegrody pozbawionej mostków termicznych (patrz mostek termiczny) i wyrażona jest w $W/(m^2K)$.

POJĘCIA PODSTWOWE

- Współczynnik przenikania ciepła U charakteryzuje w sposób całkowity (z uwzględnieniem wszystkich mostków termicznych) przenikalność cieplną przegrody budowlanej (odwrotność oporności) i wyrażony jest w $W/(m^2K)$.

Wartość U danej przegrody lub jej części można uzyskać następującymi sposobami:

1. Znając U_0 , liczbę mostków liniowych na danym obszarze oraz wartości ich U_l i długości l , liczbę mostków punktowych i ich wartości U_p oraz powierzchnię wewnętrzną przegrody A , ze wzoru

$$U = U_0 + \{ \sum(U_{li} * l_i) + \sum U_{pj} \} / A \quad W/m^2K + \{W/mK * m + W/k\} / m^2 = W/m^2K$$

Jest to wzór podstawowy, który należy zrozumieć. Proszę o pytania.

2. Analizując przegrodę numerycznie (np. programami SAT, Kobra), tworząc model zbiorczy i nie rozdzielając na poszczególne wpływy mostków termicznych (obejmując wszystkie jednym modelem). Strumień $[W]$ podzielony przez powierzchnię wewnętrzną przegrody $[m^2]$ oraz różnicę temperatur środowisk rozdzielanych przegrodą $[K]$ otrzymamy

$$U = Q/A /dT \quad W/ m^2 / K = W/m^2K$$

POJĘCIA PODSTAWOWE

3. W budynku istniejącym o nieznanym budowie istnieje teoretyczna możliwość wykonania fotografii termowizyjnej powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej przegrody (będzie to przedmiotem odrębnych zajęć). Po scałkowaniu pola temperatur oprogramowaniem dołączonym do kamery termowizyjnej i otrzymaniu na tej podstawie strumienia ciepłego, U obliczamy analogicznie jak w punkcie 2.

4. Laboratoryjnie poprzez umieszczenie elementów przegród pomiędzy komorami badawczymi ciepłą i chłodną. Po komputerowej analizie zarówno obu środowisk jak i temperatur na powierzchniach, U uzyskujemy w sposób jak w pkt. 2.

Oczywiście do celów świadectw energetycznych budynków, pracy projektanta czy audytora najbardziej przydatne są metody 1,2 i 3 a w niniejszym wykładzie przeważać będzie metoda 1.

- Współczynnik przejmowania ciepła α jest to wielkość charakteryzująca powierzchnię przegrody przylegającą do środowiska (powietrza wewnętrznego lub zewnętrznego) i zależy od prędkości powietrza przy przegrodzie, temperatury powietrza, ale także powierzchni przegrody a ściślej jej zdolności do pochłaniania promieniowania (współczynnik emisji). Współczynnik ten (α), charakteryzuje zdolność przegrody do przejmowania/oddawania ciepła z/do środowiska na jej powierzchni. Wyrażony jest on w W/m^2K .

POJĘCIA PODSTAWOWE

- Strumień ciepła wyrażany w [W] jest to energia, która przepływa przez przegrodę lub jej część w jednostce czasu - inaczej moc ciepła przenikającego przez przegrodę.
- Temperatura punktu rosy jest to temperatura, w której para wodna zawarta w powietrzu wykrapla się. Należy pamiętać, że w przegrodzie, w warunkach znacznej różnicy temperatur i wilgotności powietrza środowiska wewnętrznego i zewnętrznego, następuje kondensacja pary wodnej. We właściwie skonstruowanej przegrodzie dzieje się to w warstwie ocieplenia. W niewłaściwie skonstruowanej, nawet na powierzchni wewnętrznej przegrody, co jest normowo niedopuszczalne.
- Izotermy są to linie łączące punkty o tej samej temperaturze. Układ izoterm w przekroju przegrody budowlanej bardzo dużo mówi o charakterze tej przegrody (zawartości mostków termicznych i ich wpływie). Należy pamiętać o dodatkowej rzeczy: wektory (linie kierunku) przepływu ciepła są zawsze prostopadłe do izoterm. Tak więc widząc przebieg izoterm można określić kierunek przepływu ciepła.

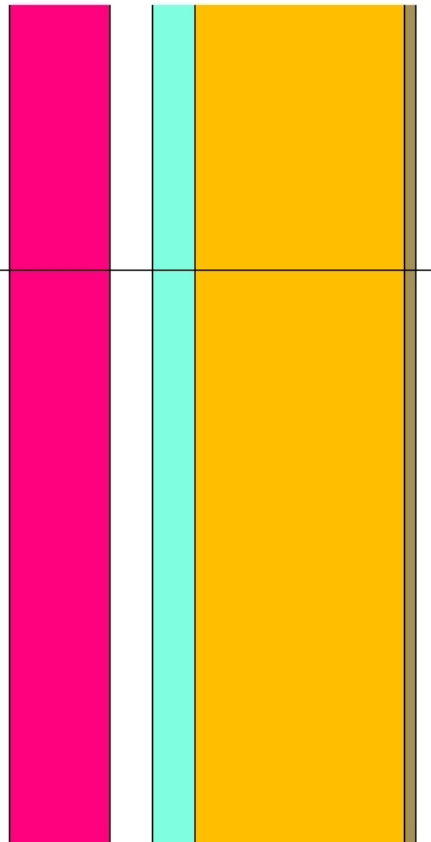
Analiza numeryczna przegród.

PRZYKŁAD 1 - ŚCIANA PEŁNA

120 50 50 250 15

$t_e = -20$
 $\alpha_e = 23$

$t_i = +20$
 $\alpha_i = 8,1$



KLINKIER 12cm

PUSTKA POWIETRZNA 5cm

STYROPIAN 5cm

MUR - CEGŁA PEŁNA 25cm

TYNK CEM.-WAP. 1,5cm

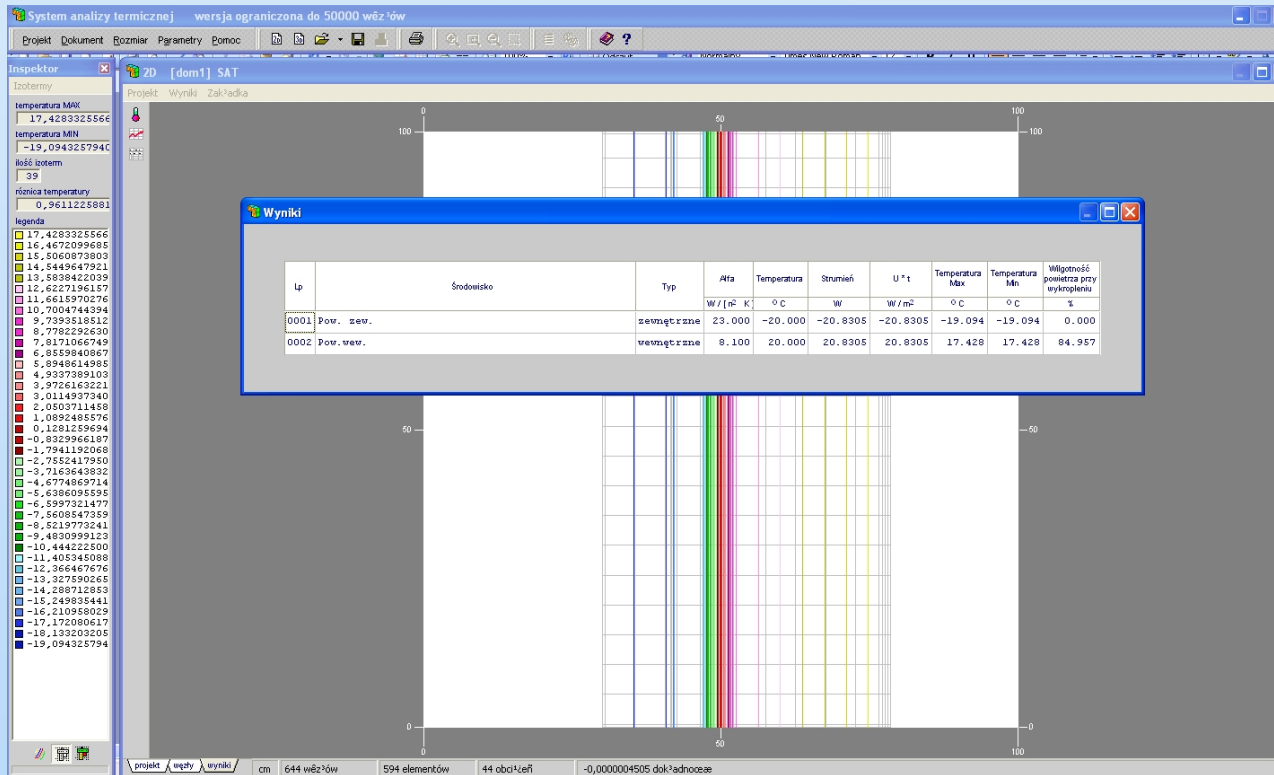
- Czas na praktykę. Określamy U_o przegrody jak na ilustracji.

- Tu będą występowały:

- tynk wewnętrzny cem.-wap. $\lambda = 0,850$ W/mK
- mur z cegły pełnej ceramicznej $\lambda = 0,800$ W/mK
- styropian $\lambda = 0,045$ W/mK
- mur z cegły klinkierowej pełnej wilgotny $\lambda = 1,150$ W/mK
- żelbet $\lambda = 1,800$ W/mK
- stal $\lambda = 58,000$ W/mK
- parkiet $\lambda = 0,250$ W/mK
- beton niezbrojony $\lambda = 1,700$ W/mK
- szkło $\lambda = 0,800$ W/mK
- grunt gliniasty zgodnie z PN-EN $\lambda = 1,500$ W/mK

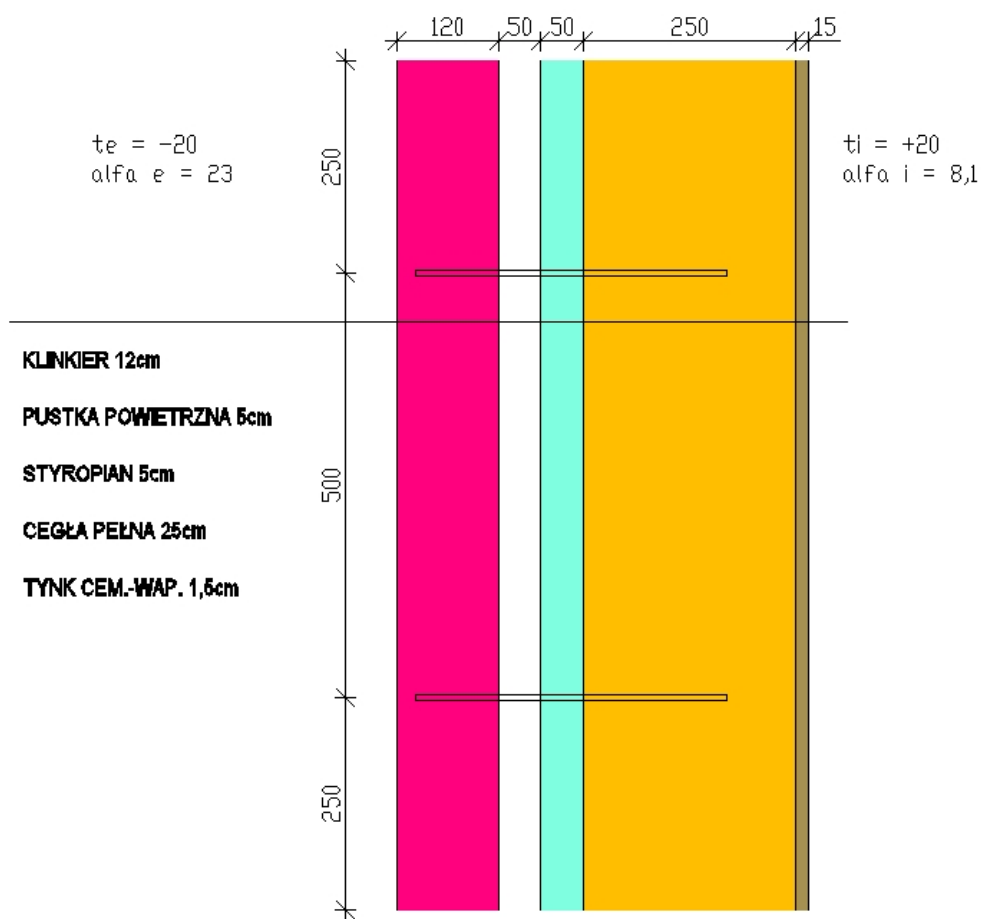
Analiza numeryczna przegród.

- Obliczamy U_0 przyjmując:
- Środowisko zewnętrzne:
- $t_e (\theta_e) = -20 \text{ st. C}$
- $\alpha_e = 23,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Środowisko wewnętrzne:
- $t_i (\theta_i) = 20 \text{ st. C}$
- $\alpha_e = 8,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Robimy to „ręcznie” tj. obliczając opór przegrody poprzez sumowanie poszczególnych oporów warstw i przejmowań a następnie $U_0 = 1/R_c$
- Lub robimy to numerycznie uzyskując strumień $20,8305 \text{ W}$ przypadający na 1m^2 i 40 st. C (40K) różnicy temp.
- $U_0 = 20,8305 / 40 = 0,521 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



Analiza numeryczna przegród.

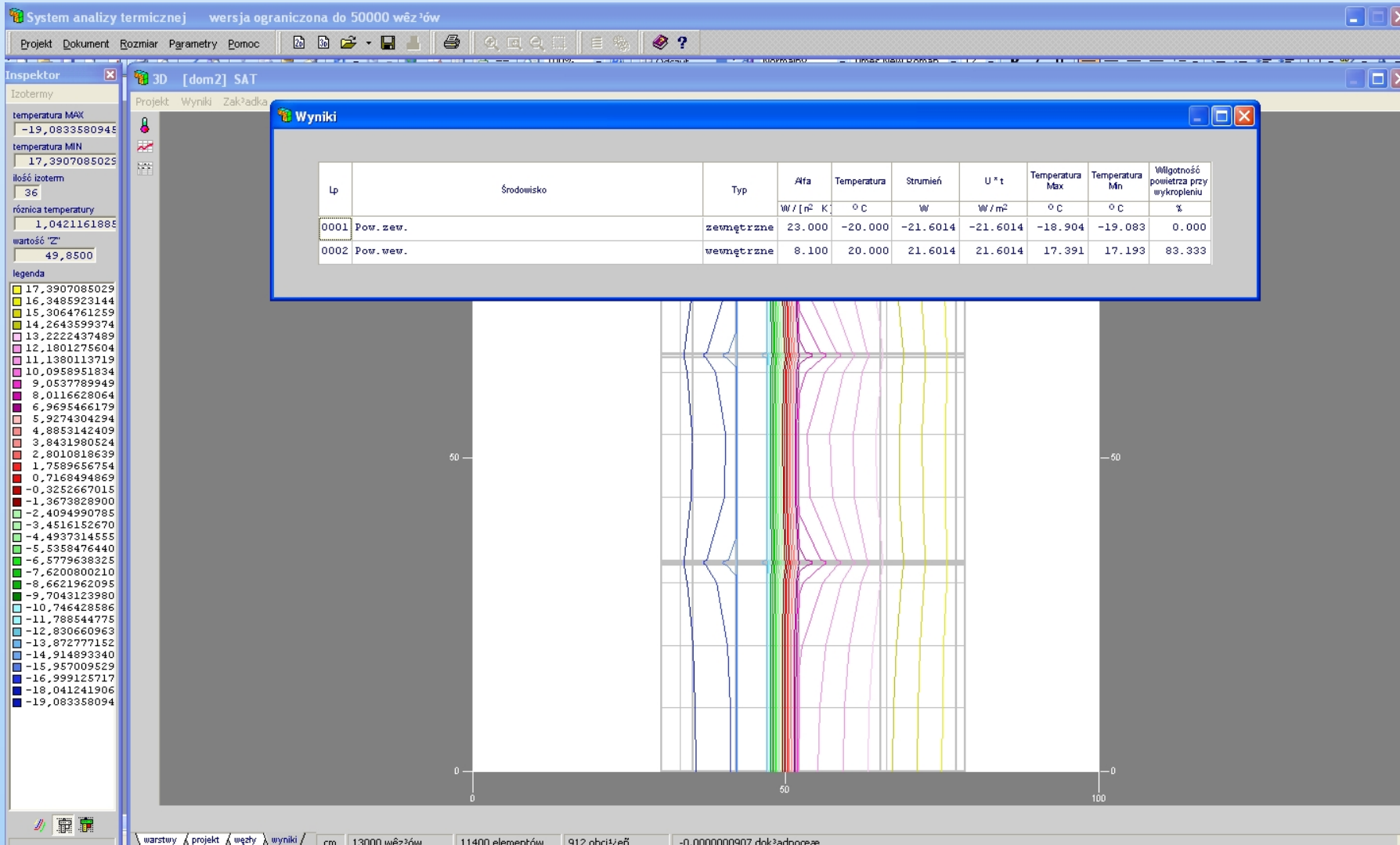
PRZYKŁAD 2 - UWZGLĘDNIENIE ŁĄCZNIKÓW WARSTW 4szt/m²



- Mur tradycyjny warstwowy łączony jest kotwami. Każda z nich to mostek punktowy. Nie jest możliwe określenie jego faktycznego wpływu bez obliczeń numerycznych lub badań (termowizja lub laboratorium). Wykonujemy modelowanie numeryczne. Model 3D. Przekrój kotwy zastępujemy przekrojem kwadratowym o równoważnym (takie samo pole powierzchni) przekroju. Tu wprowadzono w modelu 2 kotwy. Mogła być pojedyncza lub 4 na raz. Ważne jest by odległości i wymiary a także wielkości materiałowe były rzetelne.

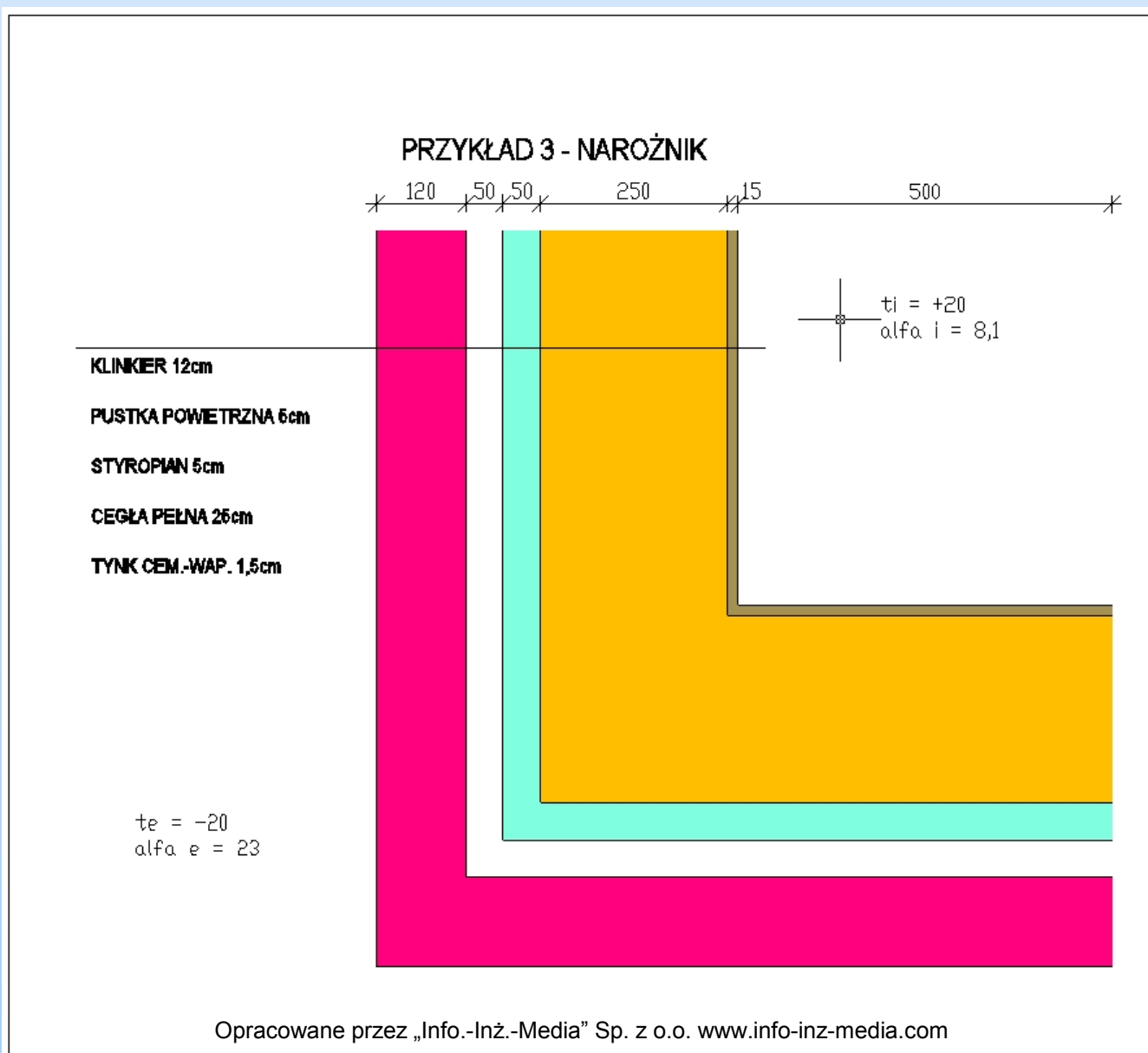
Analiza numeryczna przegród.

- Uzyskany wynik jest wynikiem odpowiadającym poprzedniemu, powiększonym o wpływ kotew. W związku z tym wartość U_p pojedynczej kotwy wyniesie:
- $U_p = (21,6014 - 20,8305) / 2 / 40 = 0,7709 \text{ W} / 2 / 40\text{K} = 0,010 \text{ W/K}$



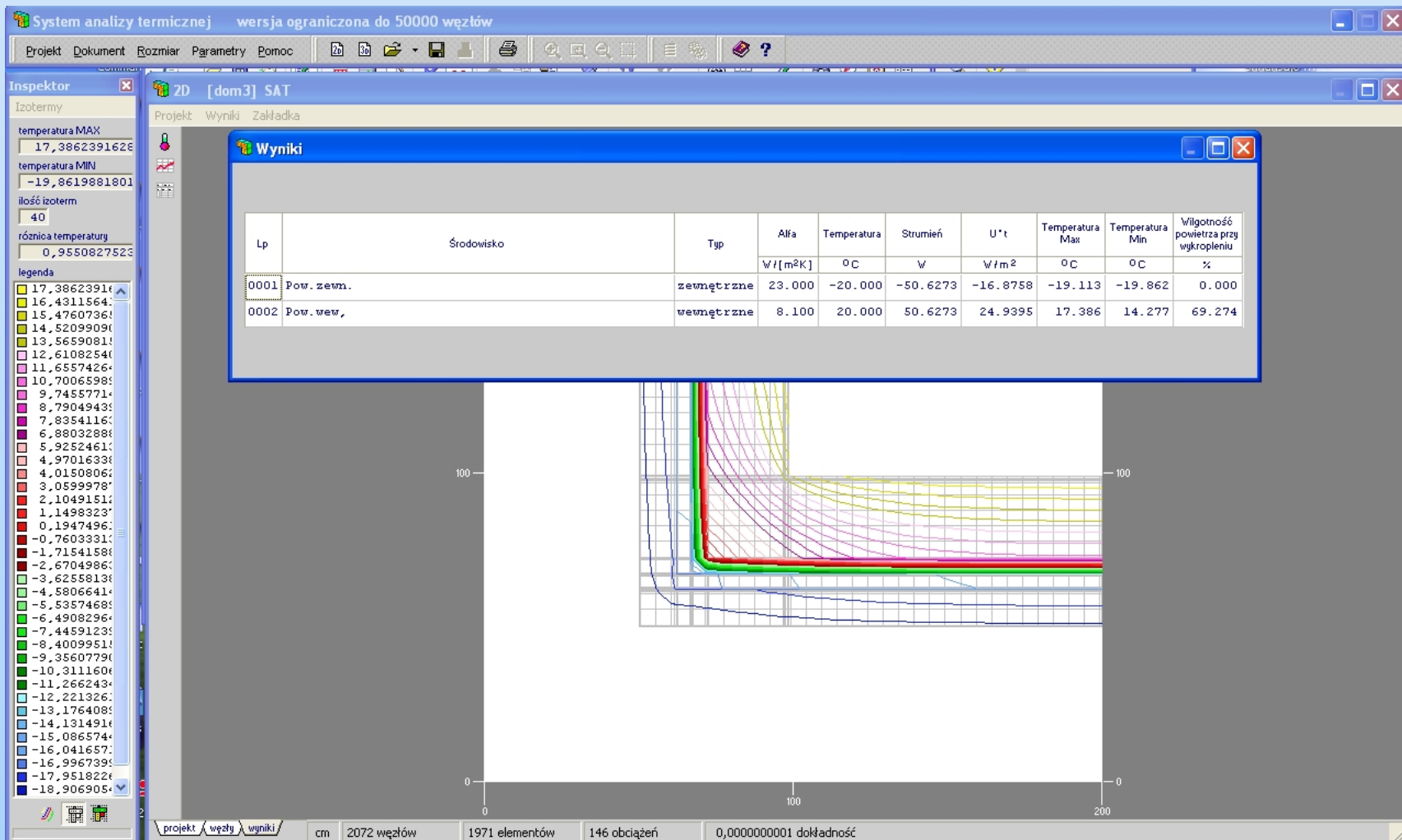
Analiza numeryczna przegród.

- Kolejnym analizowanym mostkiem termicznym będzie narożnik tego samego budynku. Ten przypadek także można przeanalizować jedynie numerycznie lub badawczo.



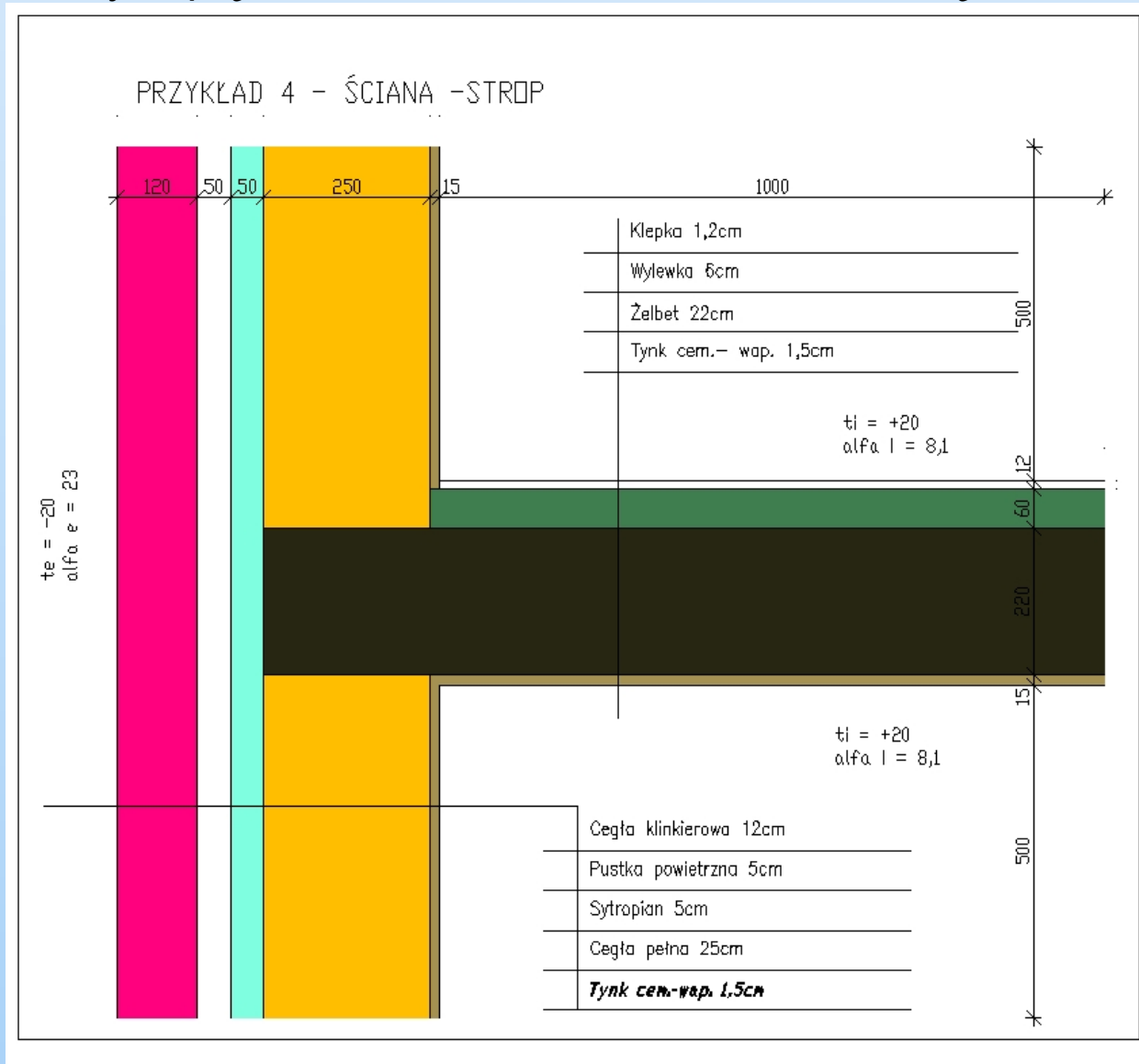
Analiza numeryczna przegród.

- $U_1 = 50,6273/40 - 2,03 U_0 = 1,2657 - 2,03 \cdot 0,5208 = 0,209 \text{ W/mK}$
- **Uwaga:** Rozkład izoterm mówi o zasięgu mostka termicznego. Jeżeli izotermy na krawędzi modelu układają się już równoległe, to znaczy, że objęliśmy modelem cały zasięg mostka, jeżeli nie, należy wydłużyć model, gdyż w przeciwnym razie uzyskamy wyniki nieprawidłowe. Jeżeli jednak w odległości niewiele większej niż zamodelowana, znajduje się kolejny mostek termiczny, należy je rozpatrywać łącznie na jednym modelu jako nierozdzielny zespół.



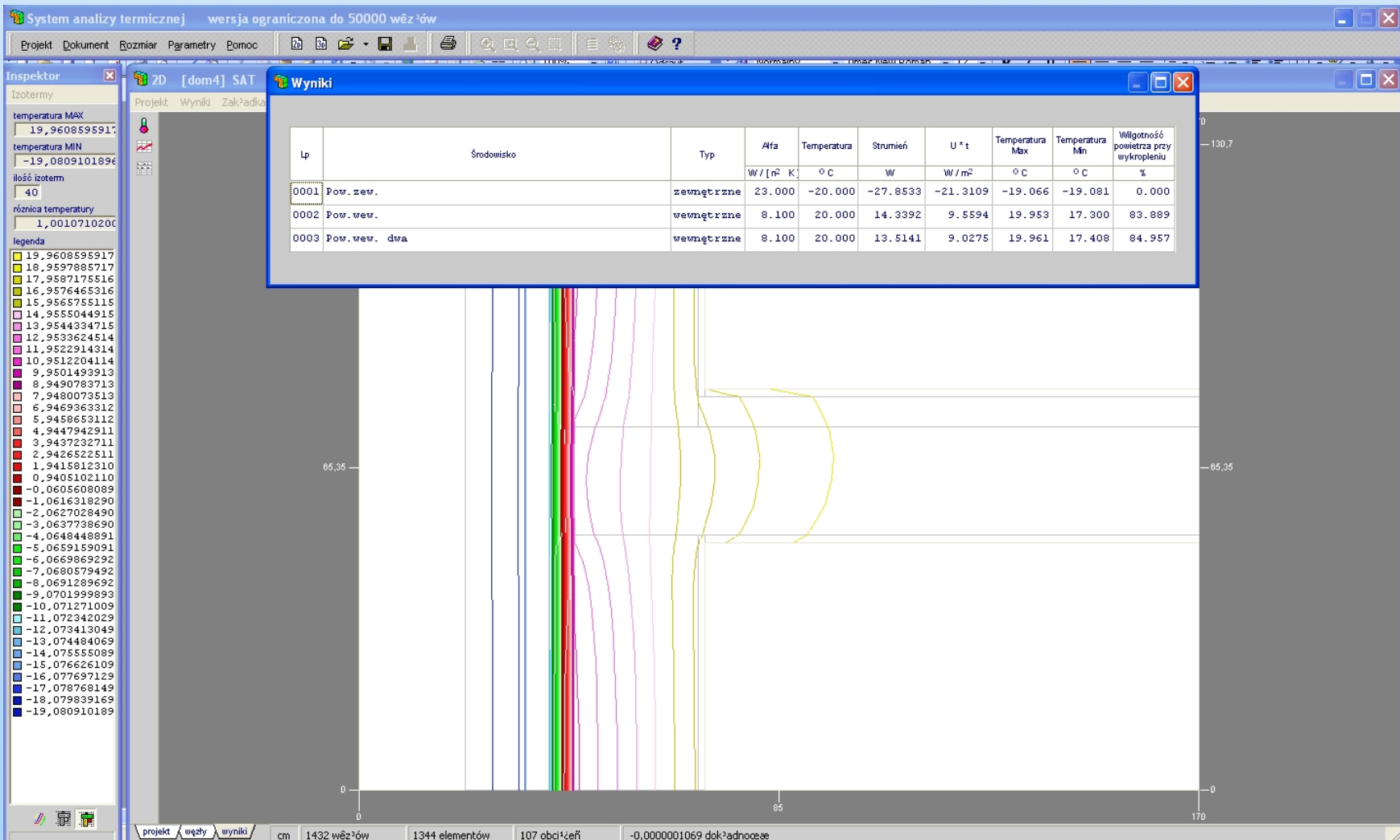
Analiza numeryczna przegród.

- Kolejnym rozpatrywanym mostkiem termicznym będzie strop międzypiętrowy. Żeby łatwiej było przyporządkować straty ciepła „podłódze” i „sufitowi”, czyli poszczególnym lokalom na różnych piętrach, rozdzielono środowisko wewnętrzne na dwa.



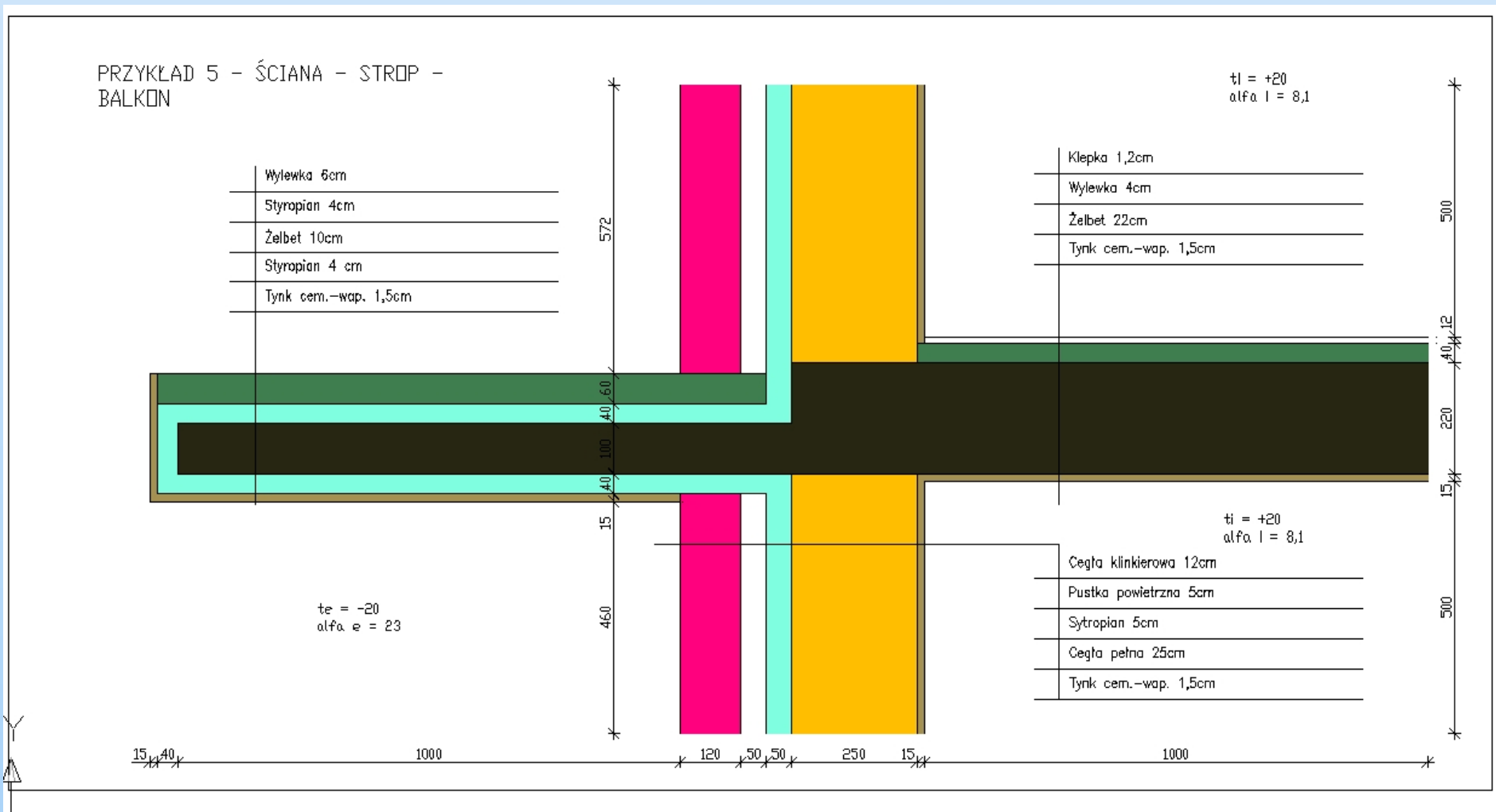
Analiza numeryczna przegród.

- Wpływ całkowity stropu międzypiętrowego:
- $U_i = 27,8533 / (0,5 + 0,5) / 40 - 0,5208 = 0,1755 \text{ W/mK} = 0,116 \text{ W/mK}$
- Wpływ części dolnej („sufitu”)
- $U_{id} = 14,3392 / 40 - 0,5208 * 0,5 = 0,0981 \text{ W/mK} = 0,098 \text{ W/mK}$
- Wpływ części górnej („podłogi”)
- $U_{id} = 13,5141 / 40 - 0,5208 * 0,5 = 0,0774 \text{ W/mK} = 0,077 \text{ W/mK}$
- Jak łatwo sprawdzić suma się zgadza.
- Zaleca się ograniczyć dokładność obliczeń do trzech miejsc po przecinku.



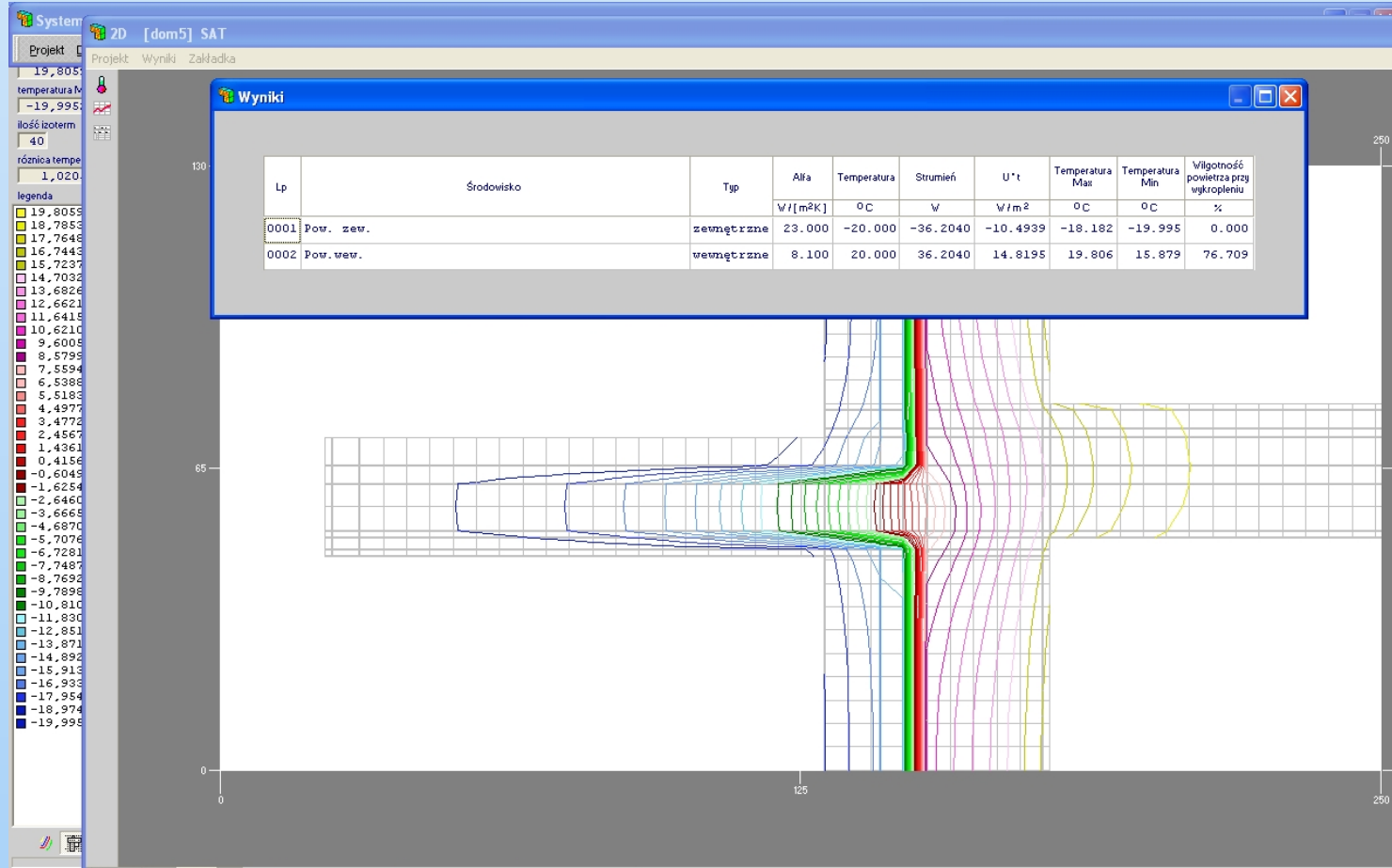
Analiza numeryczna przegród.

- Kolejnym rozpatrywanym mostkiem termicznym będzie płyta balkonowa.
- Przy małych płytach balkonowych, lub lokowanych przy narożniku należy rozpatrywać powyższe jako model 3D. Tu potraktowano płytę balkonową jako rozległą a zatem jako źródło mostka liniowego.



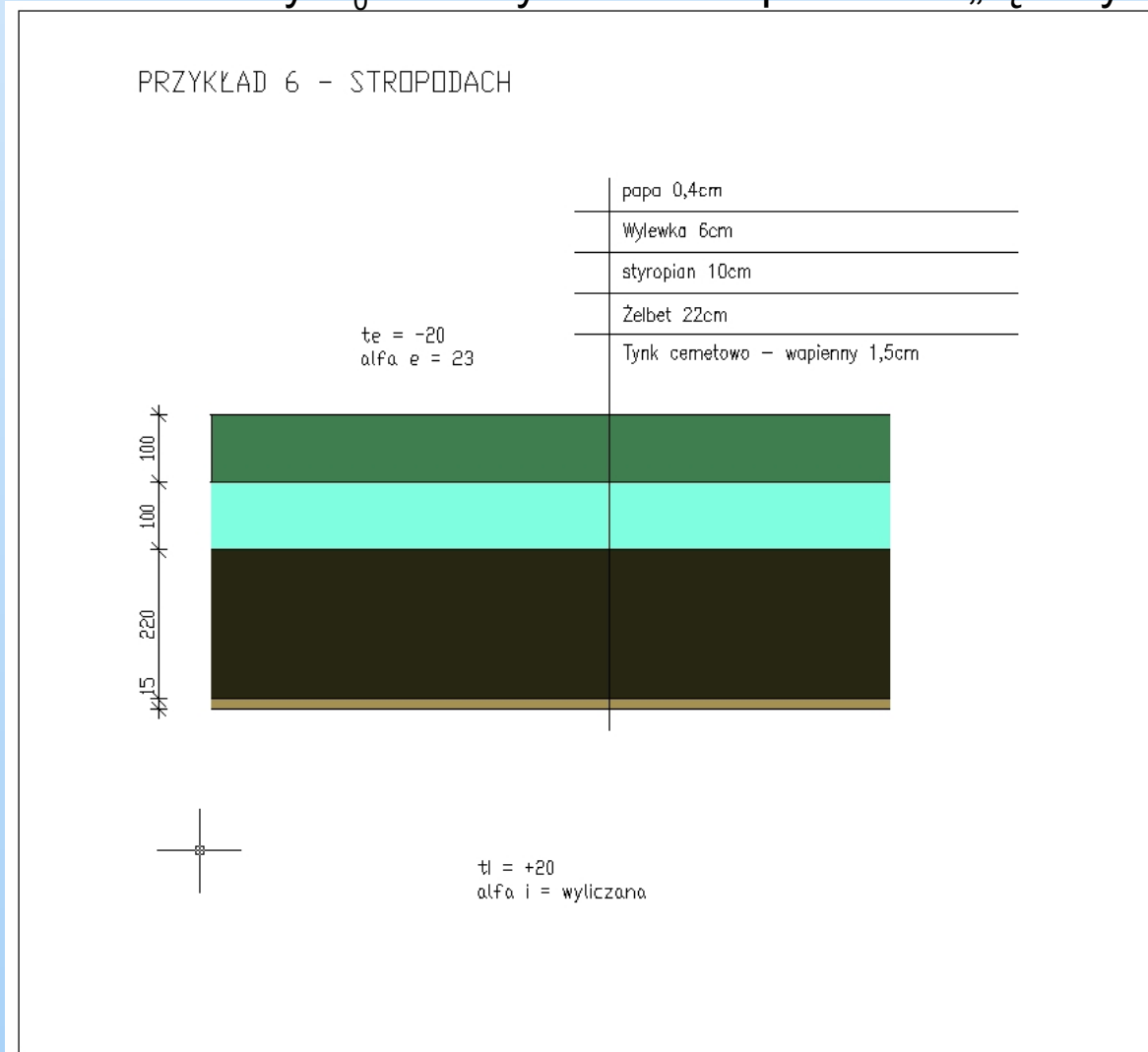
Analiza numeryczna przegród.

- $U_f = (36,204 - 20,8305) / 1 / 40 = 0,384 \text{ W/mK}$
- **Uwaga:** Jest to całkowity mostek liniowy spowodowany stropem i balkonem. Nie rozdzielono go (tak jak w przykładzie poprzednim) na „spód sufitu” i „wierzch podłogi”. Jednak dla oceny poszczególnych mieszkań lub wydzielonych stropem stref jest to konieczne.
- **Uwaga:** Balkony niewielkich rozmiarów lub bliskie narożnika budynku powinny być liczone jako modele przestrzenne, gdyż ich praca liniowa jest zaburzona.
- **Uwaga:** Wykres izoterm pozostawia wątpliwości, czy zasięg mostka w całości został objęty modelem. Powinno się powtórzyć obliczenia wydłużając elementy pionowe.
- Proszę to zrobić samodzielnie i zinterpretować wynik.



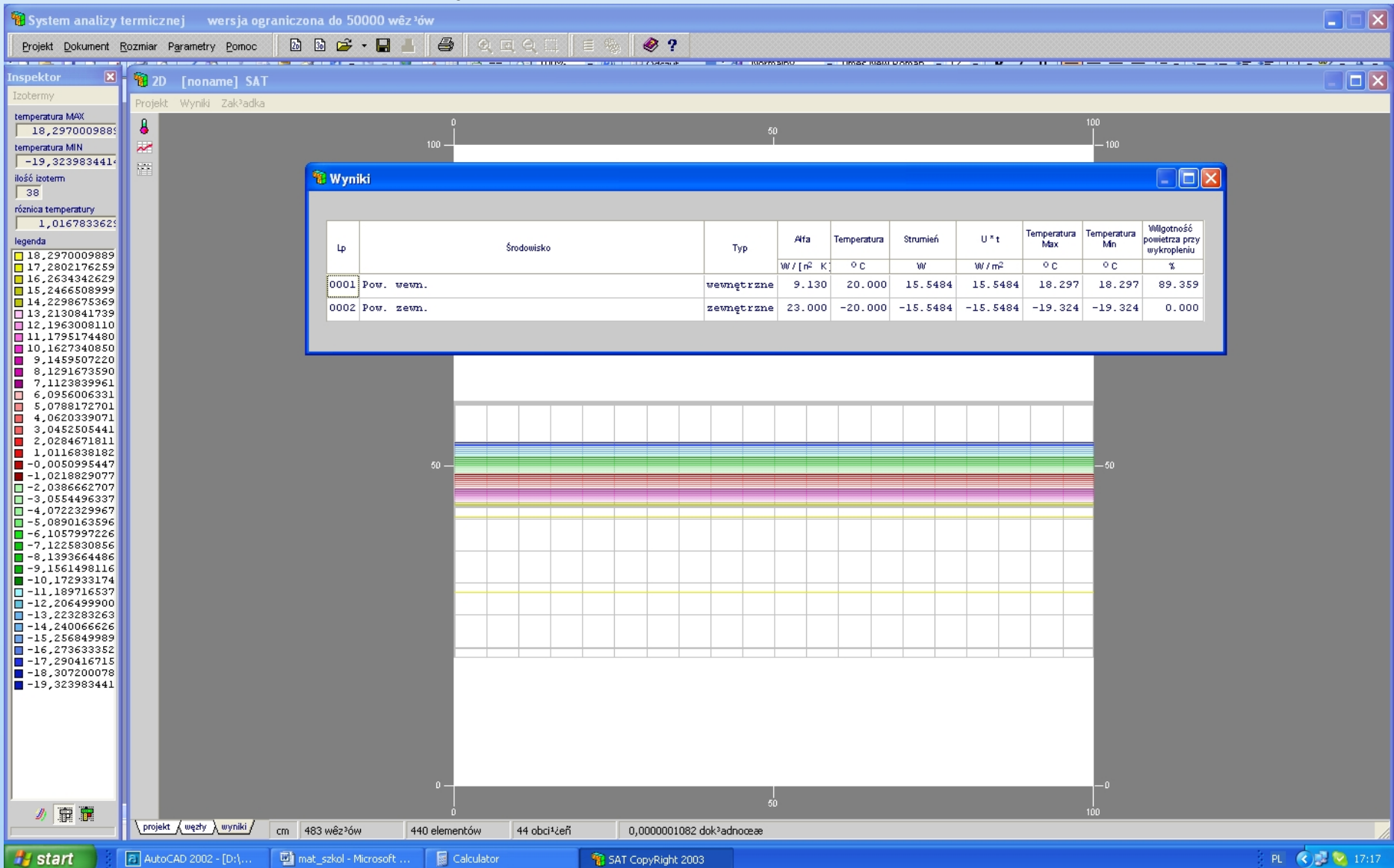
Analiza numeryczna przegród.

- Odrębną przegrodą, którą należy przeanalizować jest stropodach.
- Tak jak przy ścianie, w pierwszej kolejności należy poznać U_0 .
- Tak jak przedtem obliczamy U_0 numerycznie lub sposobem „ręcznym”.



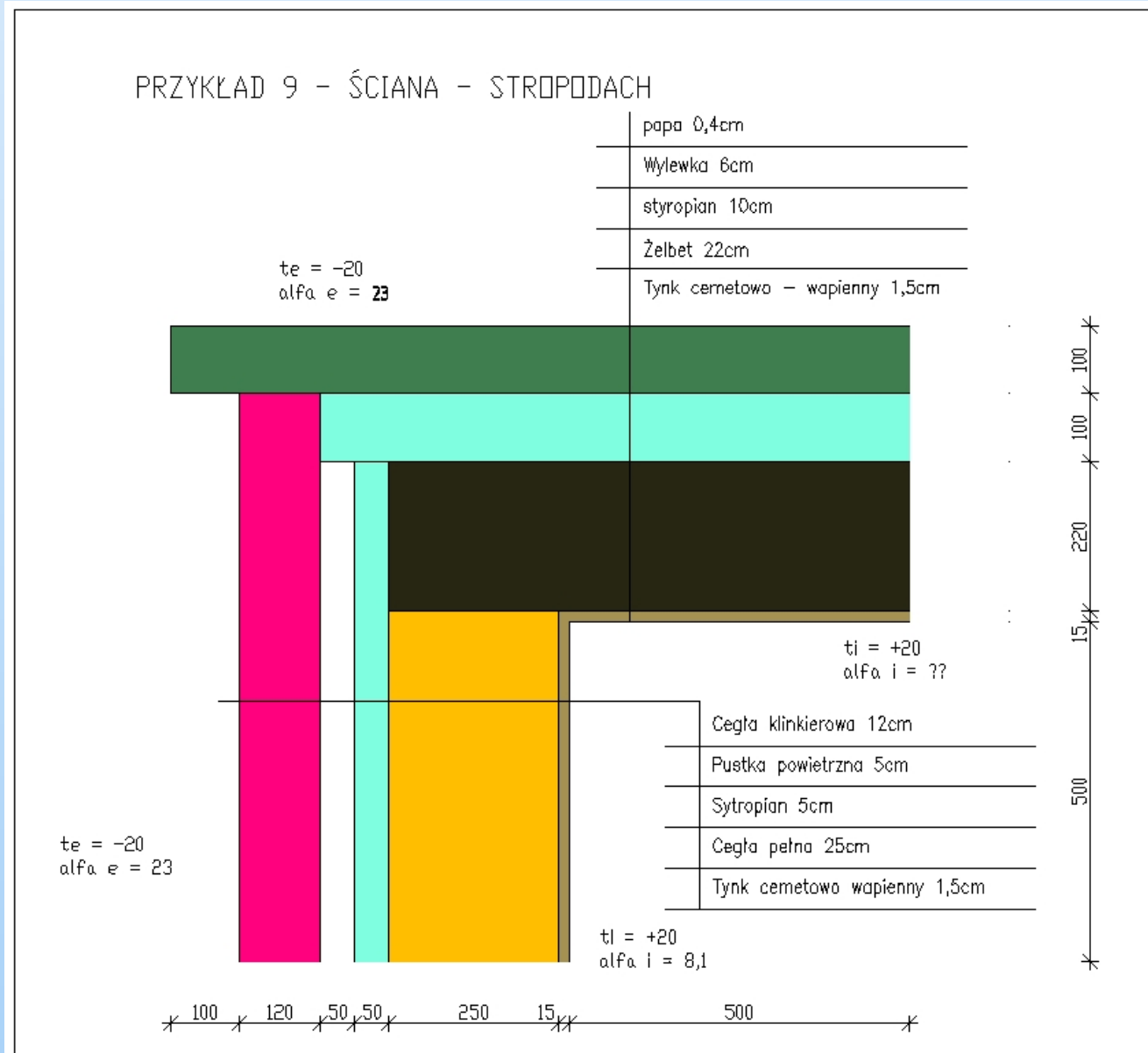
Analiza numeryczna przegród.

- $U_0 = 15,5484 / 40 = 0,389 \text{ W/m}^2\text{K}$



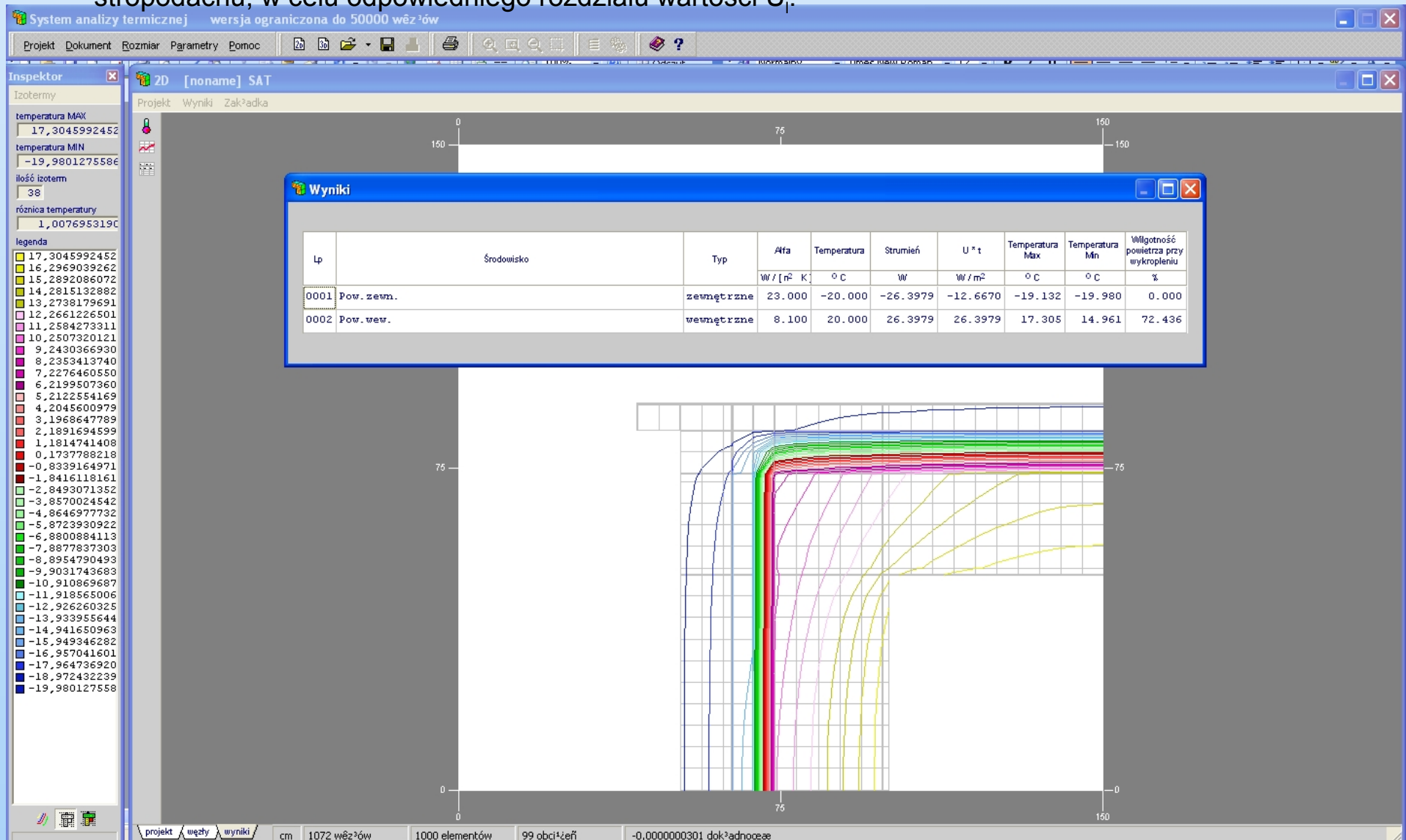
Analiza numeryczna przegród.

- Kolejnym rozpatrywanym mostkiem termicznym będzie połączenie ściany zewnętrznej i stropodachu.



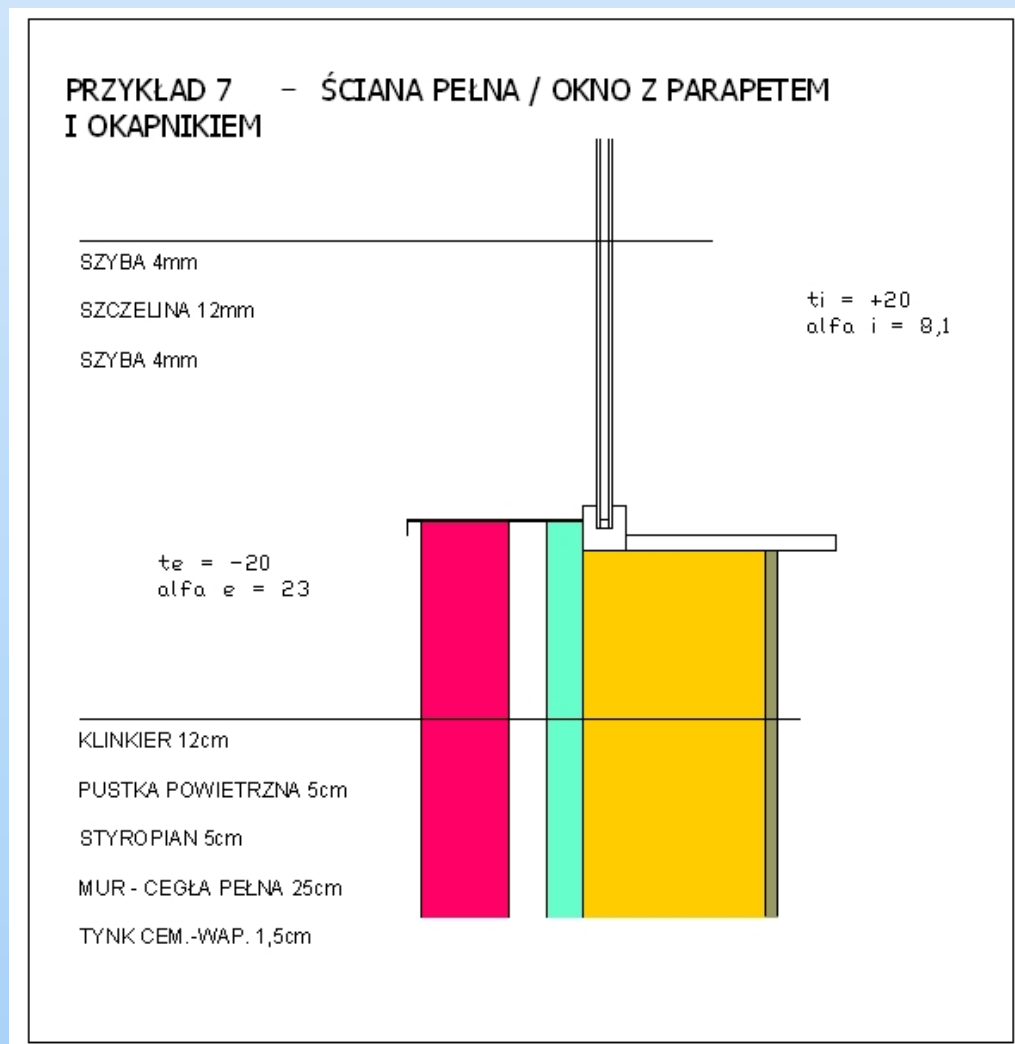
Analiza numeryczna przegród.

- $U_1 = 26,3979/40 - 0,5*0,5208 - 0,5* 0,3889 = 0,205 \text{ W/mK}$
- Uwaga. Zalecany jest rozdział środowiska wewnętrznego na przylegające do ściany i przylegające do stropodachu, w celu odpowiedniego rozdziału wartości U_1 .



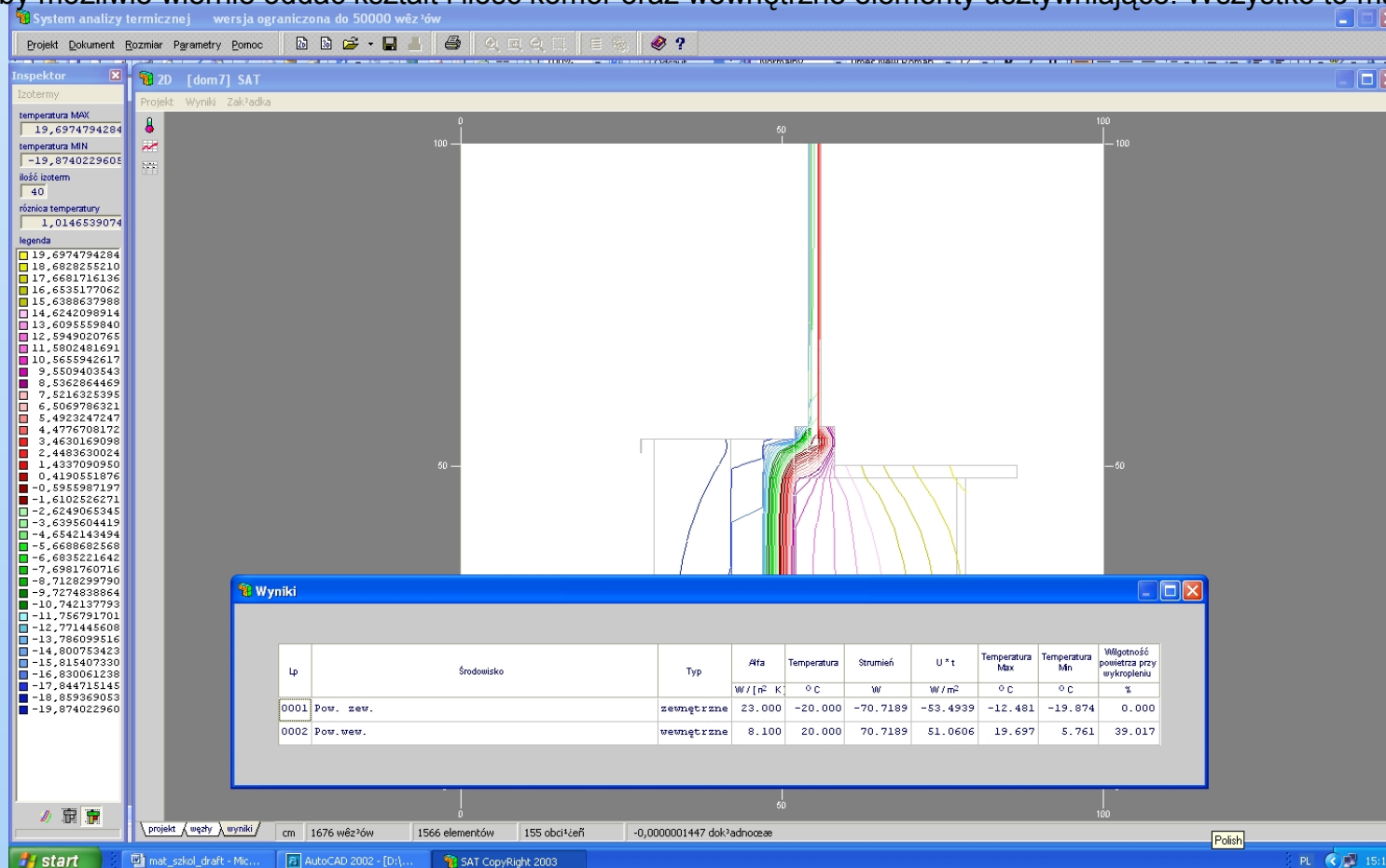
Analiza numeryczna przegród.

- Kolejnymi mostkami termicznymi są połączenia stolarki okiennej i drzwiowej z przegrodami (ścianami).
- Tu prezentowane jest połączenie dolne okna ze ścianą z uwzględnieniem parapetu i okapnika. Oba elementy mają tu bardzo duże znaczenie (jak i ich usytuowanie względem ściany, okna i siebie nawzajem).



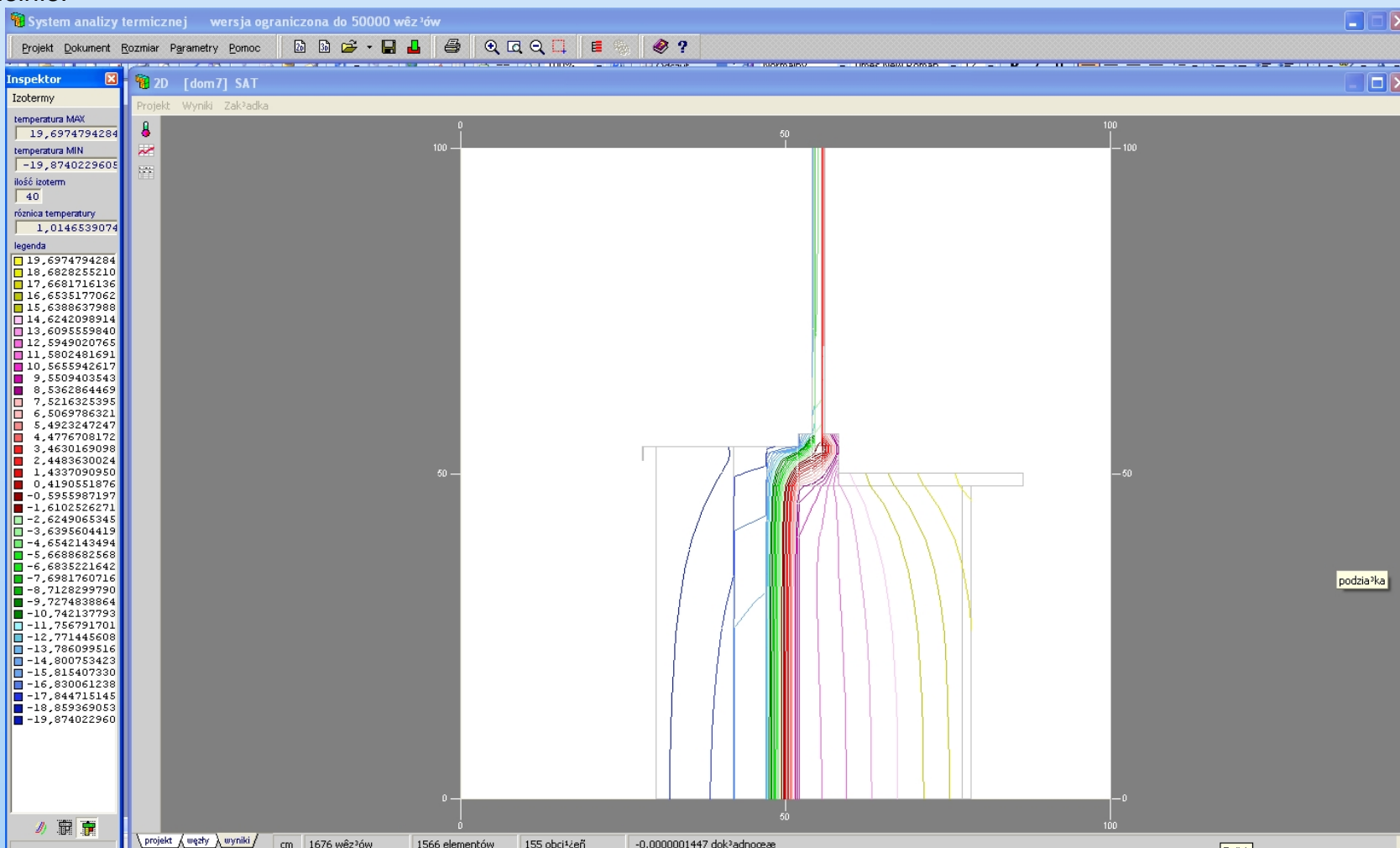
Analiza numeryczna przegród.

- Znane U_0 dla ściany
- Znane U_0 dla okna (przyjęto $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ nie może to być U_0 szyby, gdyż nie uwzględnia ramy)
- $U_1 = 70,7189/40 - 0,5208 \cdot 0,5 - 1,6 \cdot 2,0 = 0,508 \text{ W/mK}$
- **Uwaga:** Policzono wpływ krawędzi dolnej tj. z parapetem i okapnikiem. Wpływ krawędzi pionowej i górnej będzie inny i mniejszy. Oczywiście także trzeba go uwzględnić.
- **Uwaga:** W pokazanym przykładzie uwzględniono ramę drewnianą o prostej konstrukcji. W przypadku ram aluminiowych lub plastikowych ważne jest, aby możliwie wiernie oddać kształt i ilość komór oraz wewnętrzne elementy usztywniające. Wszystko to ma znaczenie dla modelu.



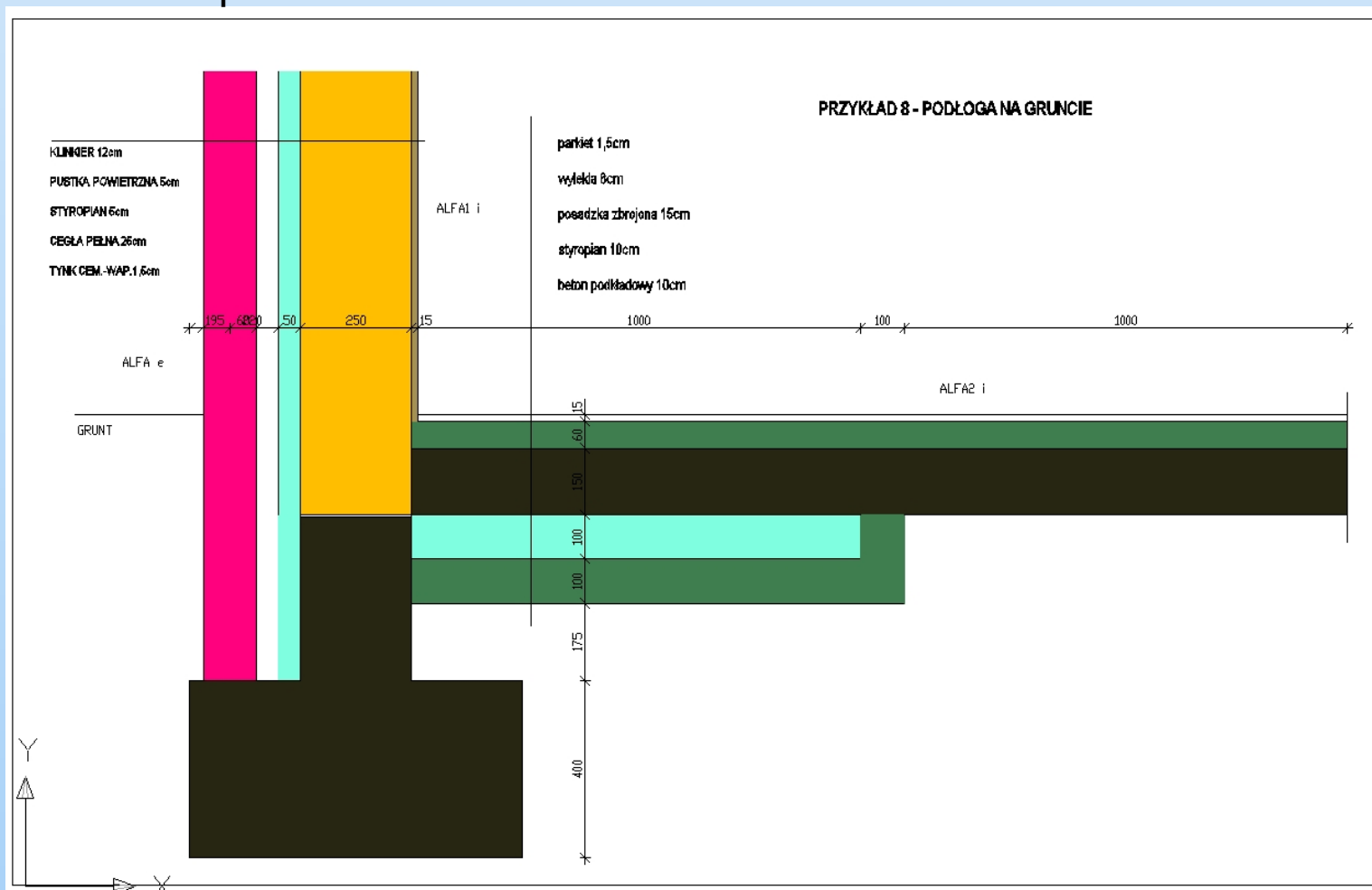
Analiza numeryczna przegród.

- **Uwaga:** Standardowo rozpatrujemy oddzielnie tzw. części „nieprzezroczyste przegród” oraz „części przezroczyste” (okna brutto – razem z ościeżnicami), gdyż wymogi normowe dla obu typów przegród są różne.
- Dlatego, także w tym przykładzie powinno się rozdzielić środowisko wewnętrzne na przylegające do części ściennej i do części okiennej, uzyskując w ten sposób dwa współczynniki U_1 dla obu części przegrody.
- Końcowe bilansowanie (obliczenie) współczynnika U powinno być także rozdzielone dla części okiennej i ściennej. Proszę to przećwiczyć samodzielnie.



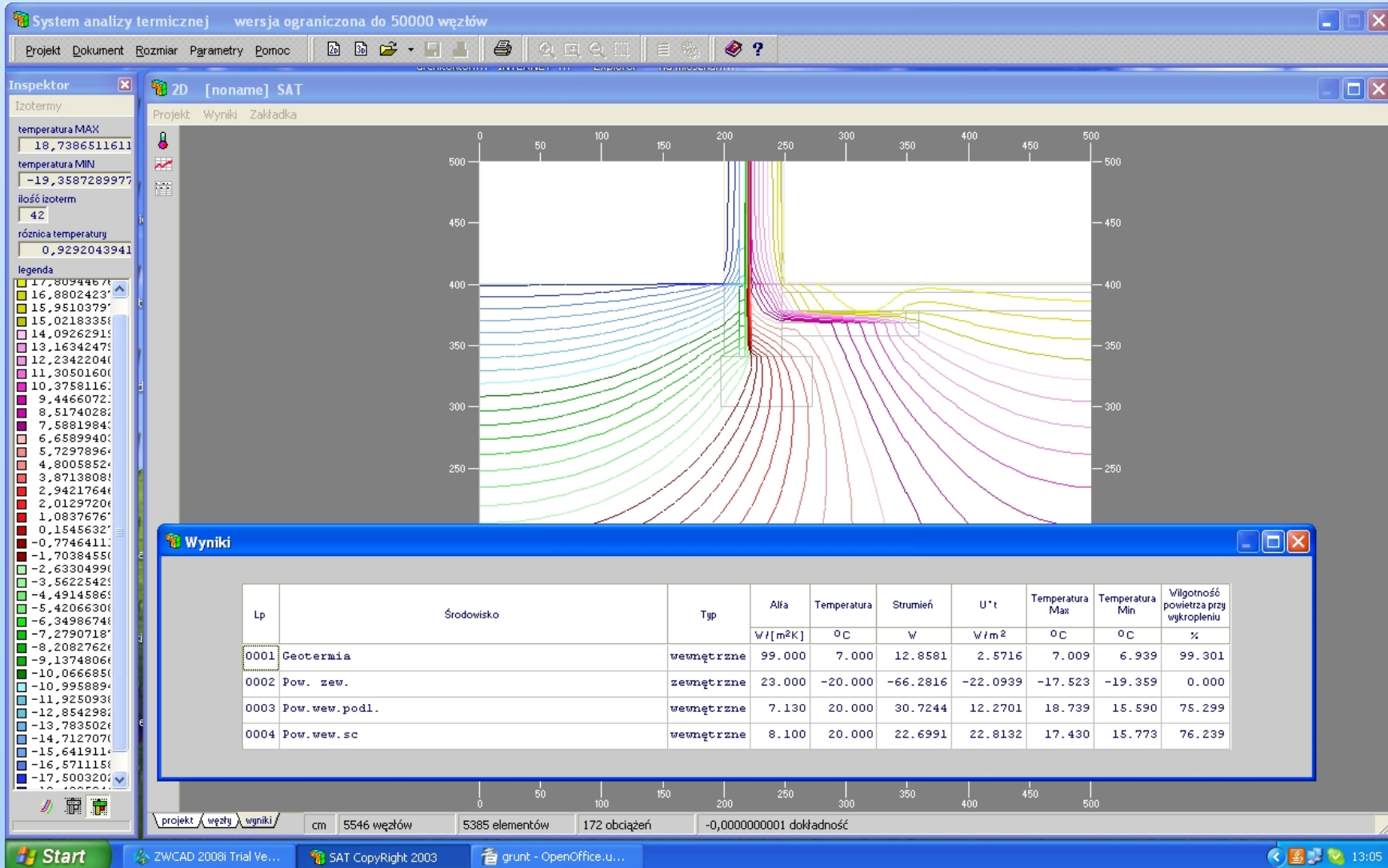
Analiza numeryczna przegród.

- Kolejnym przykładem jest mostek spowodowany podłogą na gruncie.
- Zastosowano tu rozdział środowiska wewnętrznego na przylegające do ściany i do podłogi.
- By zasymulować ciepło płynące z głębokiego gruntu wprowadzono pomocnicze środowisko o temperaturze 7 st. C.



Analiza numeryczna przegród.

- Mamy:
- Strumień wchodzący do środowiska zewnętrznego z budynku
- $66,2816 - 12,8581 = 53,4235 \text{ W}$
- Sprawdzamy dodając podłogę i ścianę
- $30,7244 + 22,6991 = 53,4235 \text{ W}$
- Zgadza się dokładnie
- Obliczamy UI dla podłogi na gruncie w przypadku j.w. $U_0 = 0,5208 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $UI = (53,4238 - 40 \cdot U_0) / 40\text{K} = 0,815 \text{ W/mK}$



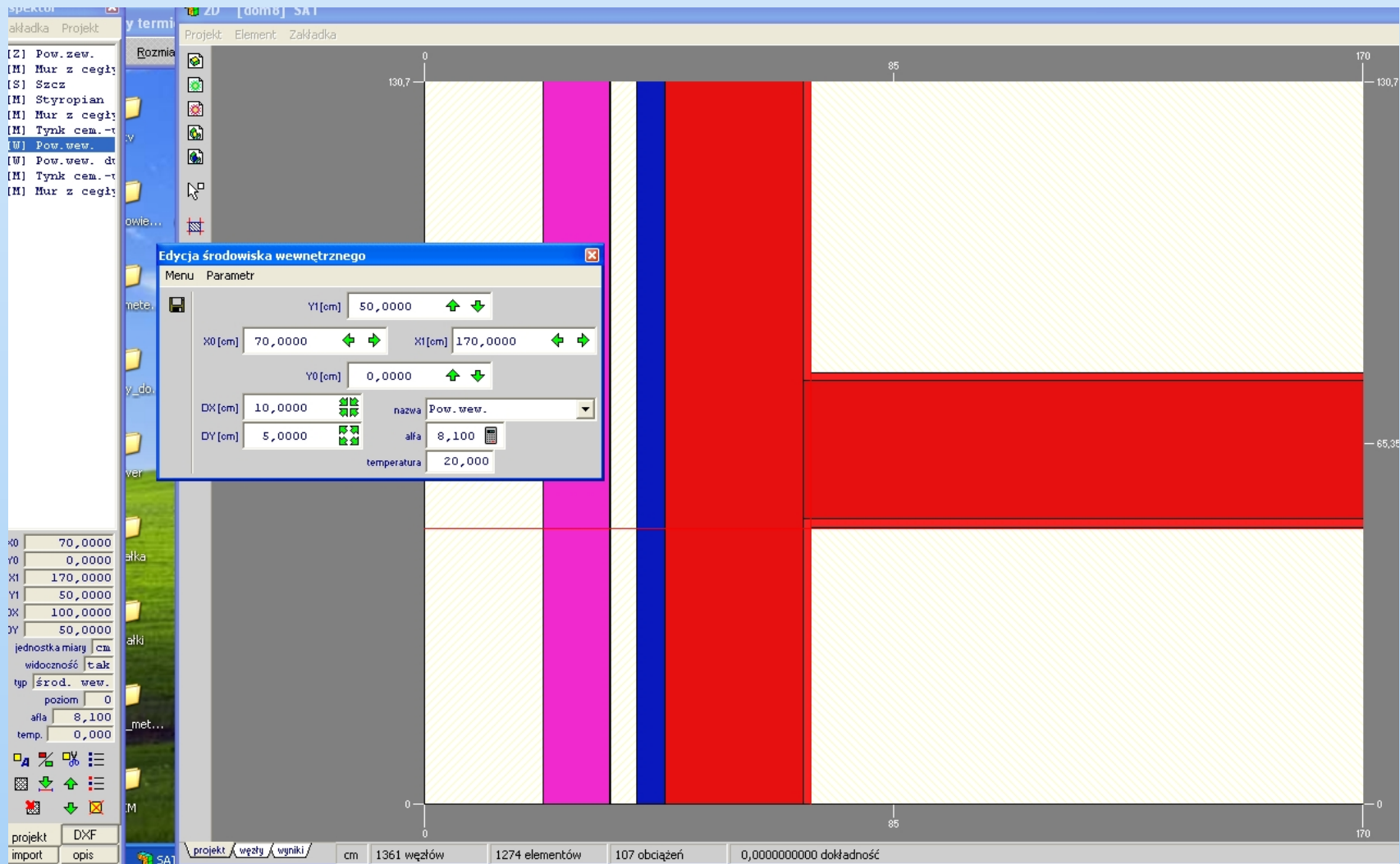
Analiza numeryczna przegród.

• Kolejnym analizowanym mostkiem termicznym jest ściana wewnętrzna pomiędzy pomieszczeniem typowym a np. klatką schodową o temp. 10st.C.

• Wprowadzono dwa różne środowiska wewnętrzne.

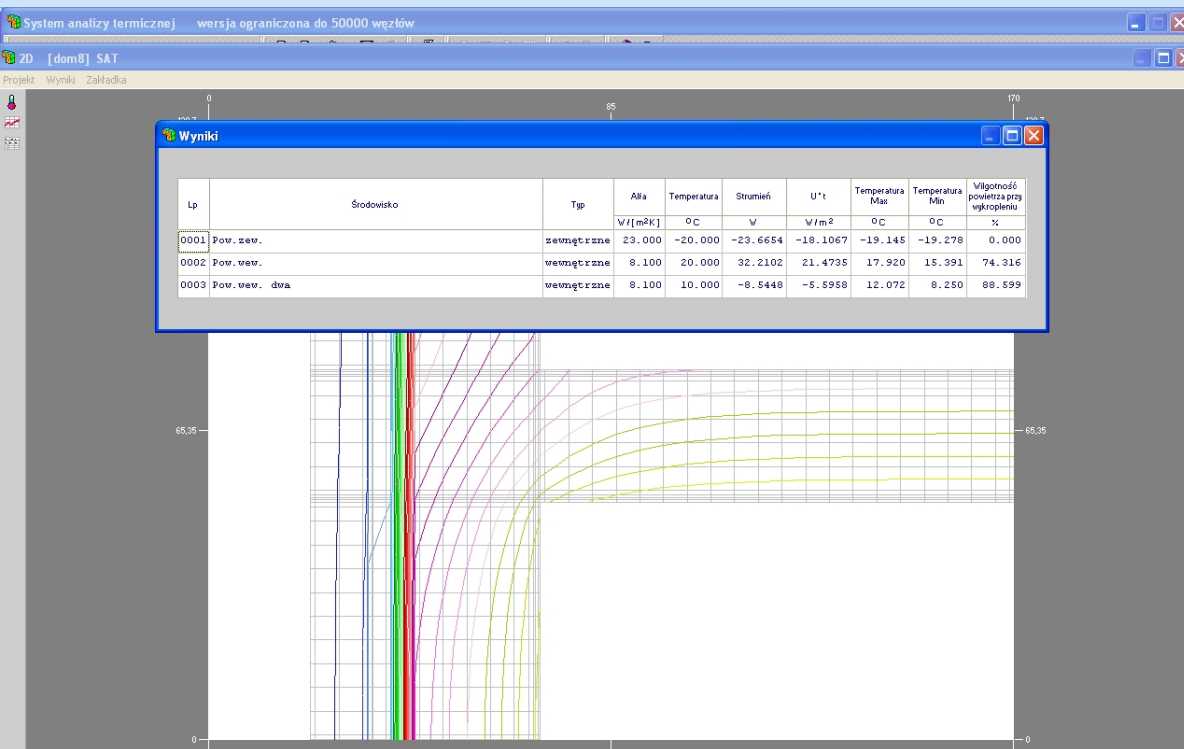
• Uwaga: Zadanie dotyczy klatki schodowej ogrzewanej (z własnym źródłem ciepła)

• Uwaga: Być może na klatce schodowej powinien być skorygowany (podwyższony) współczynnik przyjmowania ciepła. Zależy to od ruchu powietrza, który należy określić na obiekcie lub według danych projektowych.



Analiza numeryczna przegród.

- Mostek liniowy dla mieszkania. Żeby go określić potrzebny jest U_{ok} – współczynnik przenikania ciepła dla ściany między klatką a mieszkaniem.



- $U_{ok} = 1 / (2 * 1 / 8,1 + 2 * 0,015 / 0,85 + 0,25 / 0,8) = 1,681 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{lm} = (32,2102 - 0,5 * 0,5208 * 40 - 1,0 * 1,681 * 10) / 40 = 0,125 \text{ W/mK}$ – w narożniku mieszkania przylegającego do klatki schodowej (strata) w stosunku do środowiska zewnętrznego.

Opracowanie wyników analiz.

Pokazaliśmy kilka typowych przykładów dla budynku tzw. tradycyjnego. Nie są to oczywiście wszystkie przykłady mostków termicznych. Zgodnie z definicją podaną na początku w każdym budynku będzie inna liczba zaburzeń i mogą one być różnych typów. W ok. 85% będą to mostki termiczne, które będzie można zakwalifikować jako liniowe. Do Państwa zadań należeć będzie ich wyłapanie i zdefiniowanie, by odpowiedzialnie i świadomie określić oporność/przenikalność przegród budynku. Jest to pierwszy krok klasyfikacji energetycznej budynku, więc nie należy go bagatelizować ani na etapie projektowania budynku, klasyfikacji energetycznej, czy audytu na potrzeby termomodernizacji.

Po zidentyfikowaniu mostków termicznych oraz określeniu ich charakterystyk (U_i , U_p) należy zestawić je w tabeli zbiorczej.

Opracowanie wyników analiz.

Opracowanie wyników analiz.

Zestawienie wpływów mostków termicznych.

Ozn.	Źródło mostka	Wartość UL	Wartość UP	Uwagi
UL/LP		W/mK	W/K	
UP1	Kotwa muru	-	0,010	
UL1	Narożnik ściany zewnętrznej	0,209	-	
UL2	Strop międzykondygnacyjny	0,176	-	
UL3	Płyta balkonowa	0,384	-	
UL4	Dolna krawędź okna z parapetem	0,508	-	
UL5	Podłoga na gruncie	0,815	-	
UL6	Oparcie stropodachu na ścianie zewn.	0,205		
UL7	Ściana wewn. pomiędzy pomieszczeniami o różnych temperaturach	0,125	-	
...				
ULm	Ściany wewnętrzne dochodzące do zewnętrznych	0,.....	-	Tu nie obliczony, ale konieczny
ULn	Boczna krawędź okna	0,.....	-	Tu nie obliczony, ale konieczny
ULo	Oparcie stropodachu na ścianie wewn.	0,.....	-	Tu nie obliczony, ale konieczny
...				
...	pozostałe			

Opracowanie wyników analiz.

Określenie końcowej wartości współczynnika przenikania ciepła U dla poszczególnych przegród.

Uwaga: Przy określaniu końcowego współczynnika przenikania ciepła dla danej przegrody w jej pełnym zakresie lub w zakresie ograniczonym i ściśle określonym przyjmujemy do poniższego wzoru jedynie wartości mostków występujących w określonym zakresie danej przegrody.

Np. jeżeli uwzględniamy narożnik ścian zewnętrznych, ale liczymy tylko jedną ze ścian dochodzących do tego narożnika (a obie ściany są o identycznej konstrukcji) bierzemy 50% wartości U_{i1} . W przypadku narożnika ścian o różnej konstrukcji, należy wyznaczyć oddzielnie wpływ narożnika dla każdej ze ścian poprzez rozdział środowiska wewnętrznego.

Tak więc w przypadku:

- narożnika ścian o różnej konstrukcji;
 - ściany i stropu;
 - ściany i stropodachu;
 - ściany i stolarki okiennej i drzwiowej;
 - podłogi na gruncie;
 - ściany wewnętrznej pomiędzy pomieszczeniami o różnych temperaturach;
 - ściany j.w. dochodzącej do ściany zewnętrznej;
 - innych niesymetrycznych modeli;
- zaleca się rozdzielenie środowisk wewnętrznych.

Opracowanie wyników analiz.

$$U = U_0 + \{ \sum (U_{li} * L_i) + \sum U_{pj} \} / A \quad W/m^2K$$

U – współczynniki przenikania ciepła rozpatrywanego obszaru;

U_0 – współczynniki przenikania ciepła bez uwzględnienia wpływu mostków termicznych;

U_{li} – wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła i-tego mostka termicznego występującego w rozpatrywanym obszarze;

U_{pj} – wartość punktowego współczynnika przenikania ciepła j-tego mostka termicznego występującego w rozpatrywanym obszarze;

A – powierzchnia wewnętrzna netto przegrody w rozpatrywanym obszarze.

W przypadku obliczenia średniego ważonego współczynnika przenikania ciepła dla zespołu przegród o różnej konstrukcji:

$$U = \sum (U_{oi} * A_i + \{ \sum (U_{lj} * L_j) + \sum U_{ki} \}) / \sum A_i \quad W/m^2K$$

W przypadku konieczności przeliczenia współczynnika przenikania ciepła, obliczonego zgodnie ze sztuką dla powierzchni wewnętrznej przegród, na powierzchnię zewnętrzną

$$U' = U * A_w / A_z \quad W/m^2K$$

U' – przeliczony na powierzchnię zewnętrzną współczynnik przenikania ciepła;

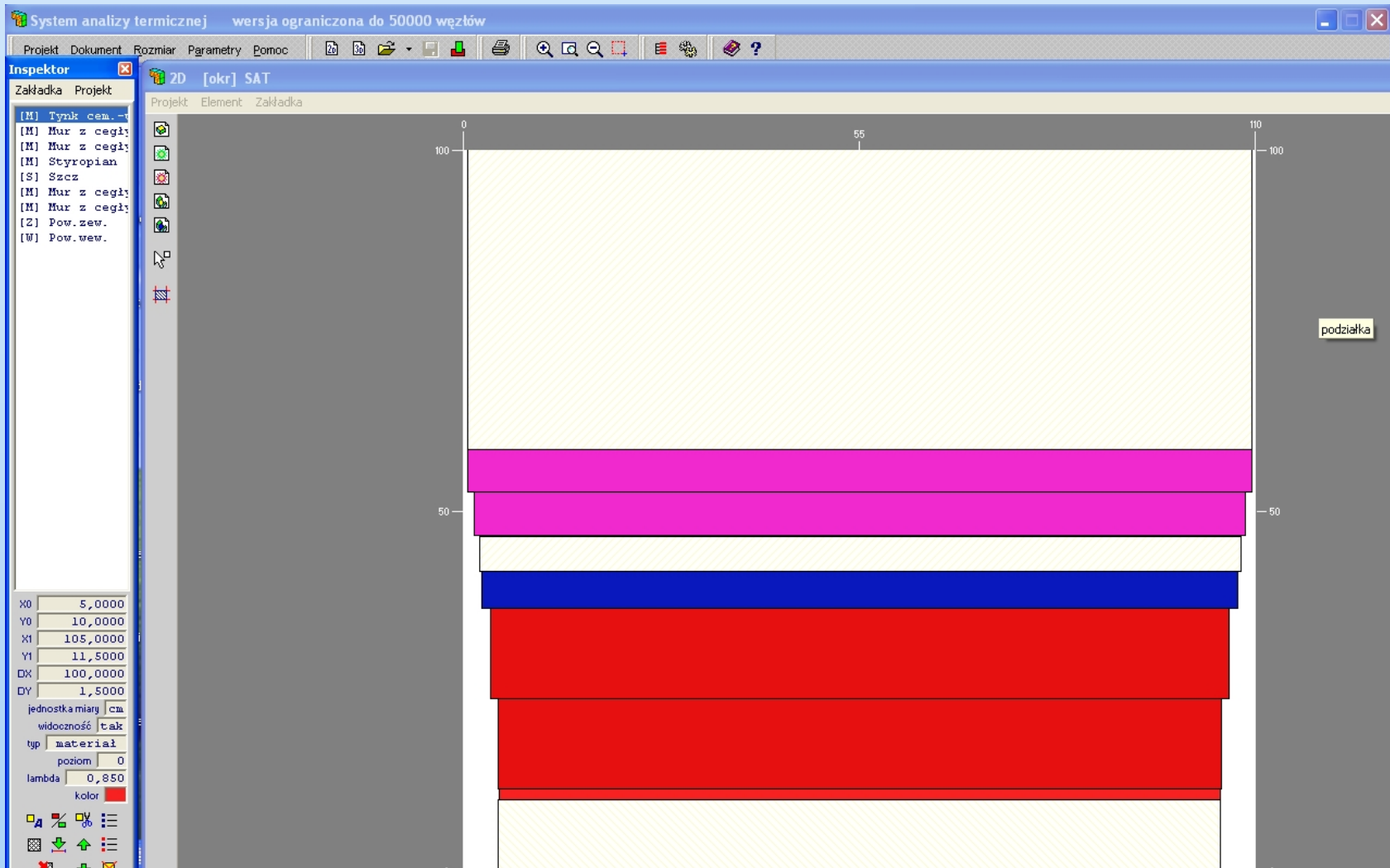
U – współczynnik przenikania ciepła;

A_w – powierzchnia wewnętrzna;

A_z – odpowiadająca temu samemu obszarowi powierzchnia zewnętrzna.

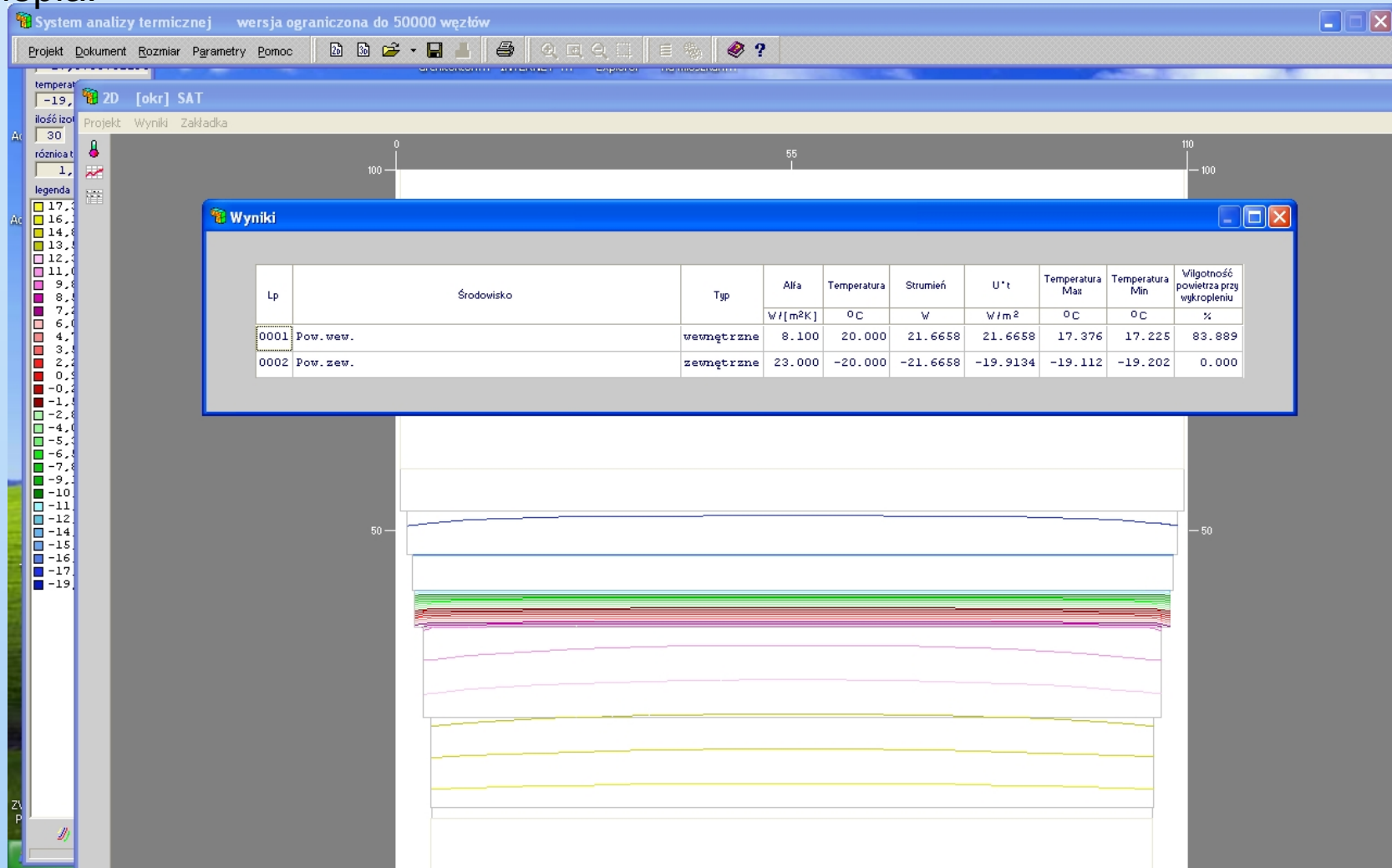
Ciekawostki

- Czasami zaistnieje konieczność analizy ściany łukowej. Jest to przykład „permanentnego mostka” gdyż powierzchnia pobierająca ciepło z wnętrza budynku jest mniejsza niż powierzchnia oddająca ciepło do środowiska zewnętrznego. Sytuację tę można zamodelować bez większego błędu w formie modelu złożonego z prostokątów, jeżeli tylko zachowane zostaną właściwe proporcje powierzchni wewnętrznej do zewnętrznej, a konstrukcja ściany w zakresie pośrednim będzie stopniowana. Środowiska - wewnętrzne i zewnętrzne muszą się stykać tylko z odpowiednimi powierzchniami bez nachodzenia na powierzchnie boczne.

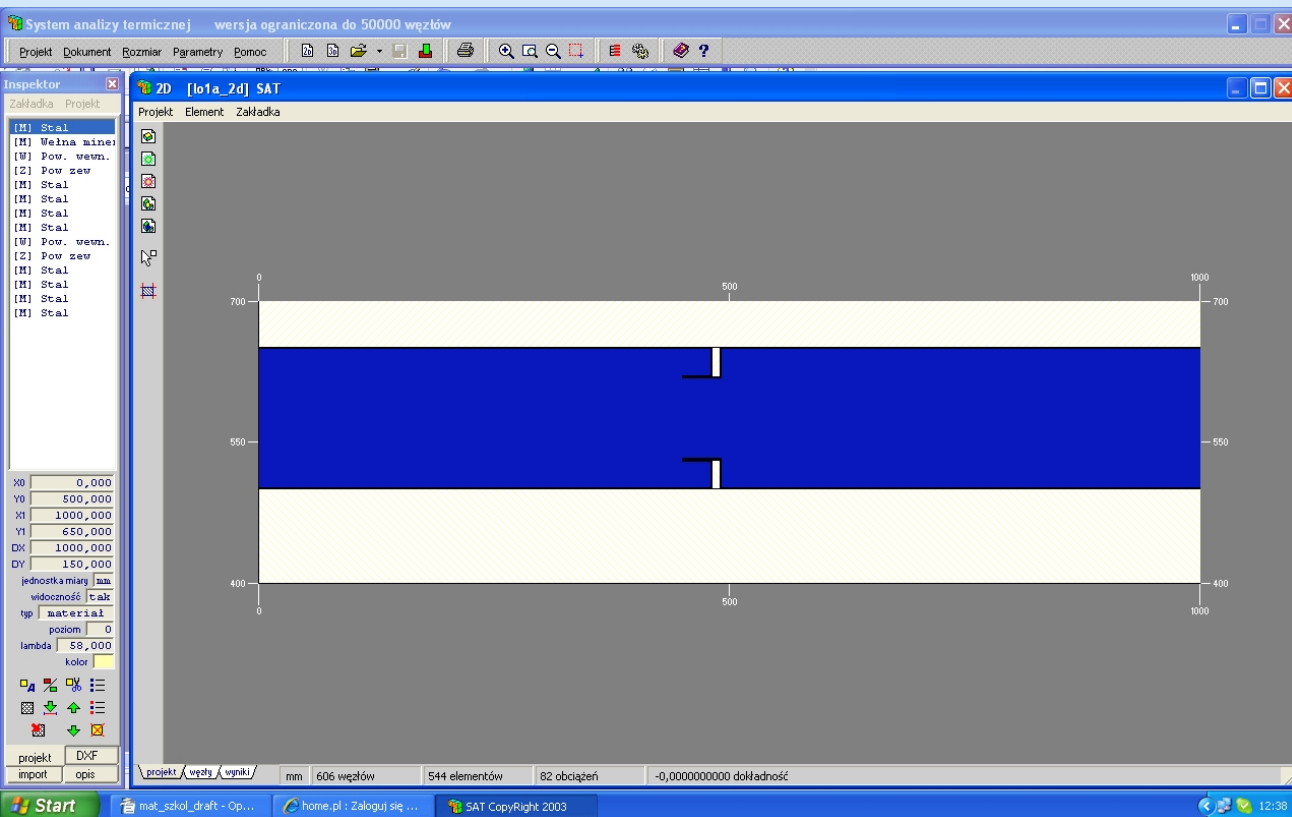


Ciekawostki

- $U_0 \text{ okr} = 21,6658 / 1,0 / 40 = 0,5416 \text{ W/m}^2\text{K}$ w stosunku do $U_0 = 0,5208 \text{ W/m}^2\text{K}$ ściany prostej
- Jak łatwo się domyślić, czym krzywizna będzie większa (krótszy promień), tym strata ciepła będzie większa na skutek większego rozwinięcia powierzchni oddawania ciepła.



Ciekawostki



•Przykład pierwszy – obudowa warstwowa „szczelna termicznie”.

•Podstawę stanowi „sandwich” grubości 150mm zbudowany z :

•1mm blachy stalowej $\lambda=58 \text{ W/mK}$

•148mm wełny mineralnej $\lambda=0,04 \text{ W/mK}$

•1mm blachy stalowej $\lambda=58 \text{ W/mK}$

•Należy poznać U_0 = takiego układu

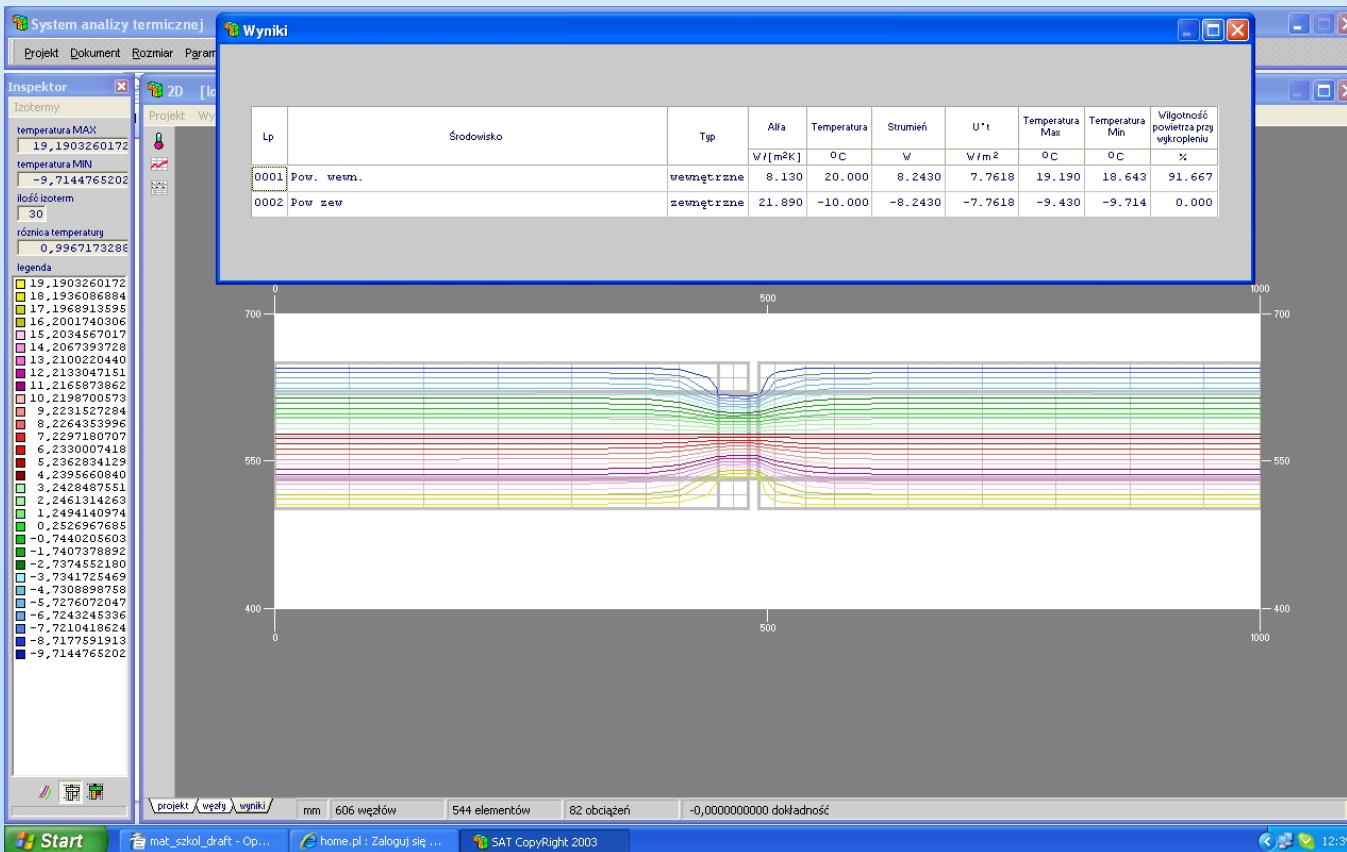
•Dane środowisko zewnętrzne $\alpha=21,89 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $t_e=-10 \text{ st. C}$

•Dane środowisko wewnętrzne $\alpha=8,13 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $t_i=+20 \text{ st.C}$

• $U_0 = 1/(1/21,89 + 1/8,13 + 0,148/0,04) = 0,2585 \text{ W/m}^2\text{K}$

•Blachę pominięto jako nie wpływającą na taki wynik.

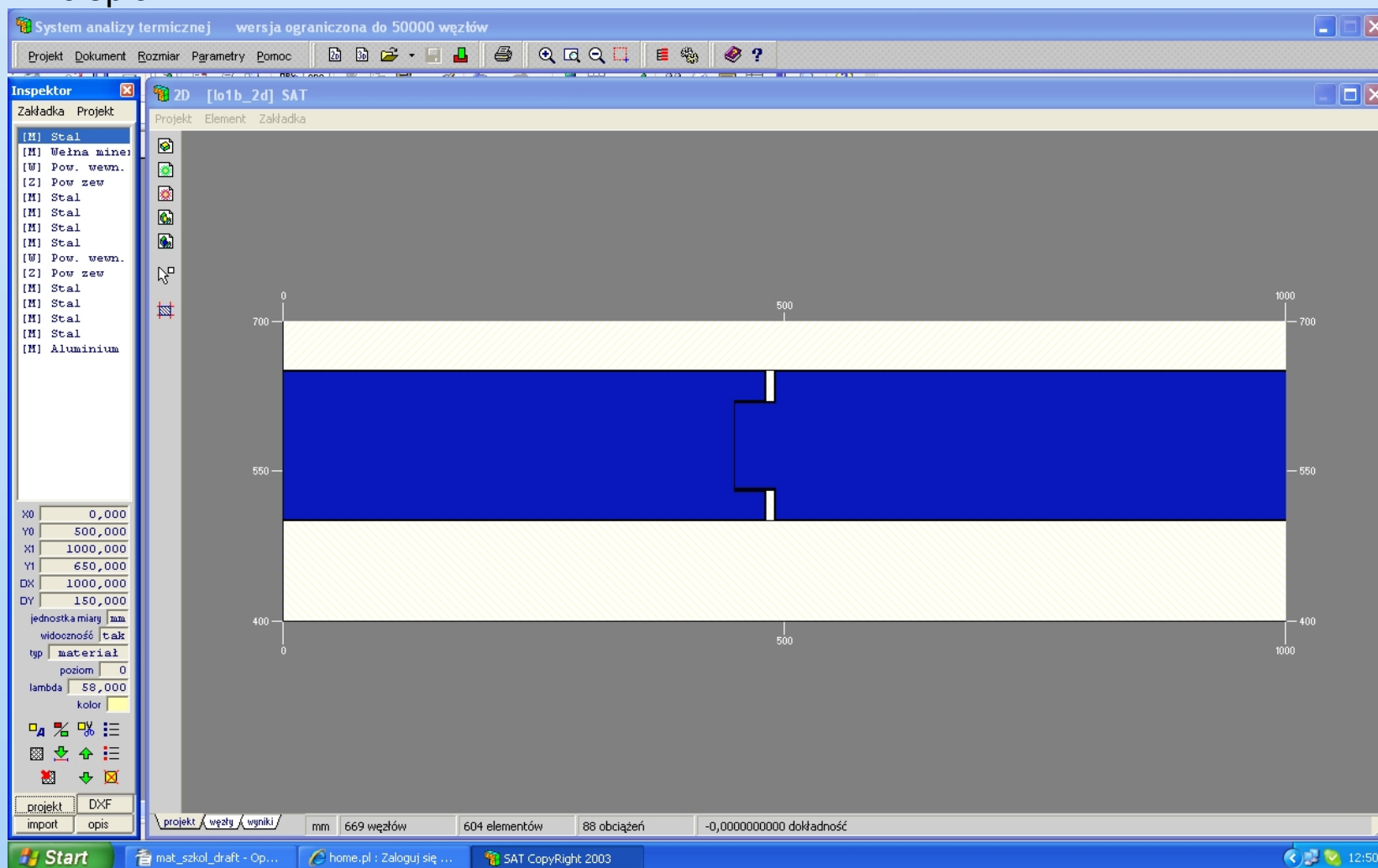
Ciekawostki



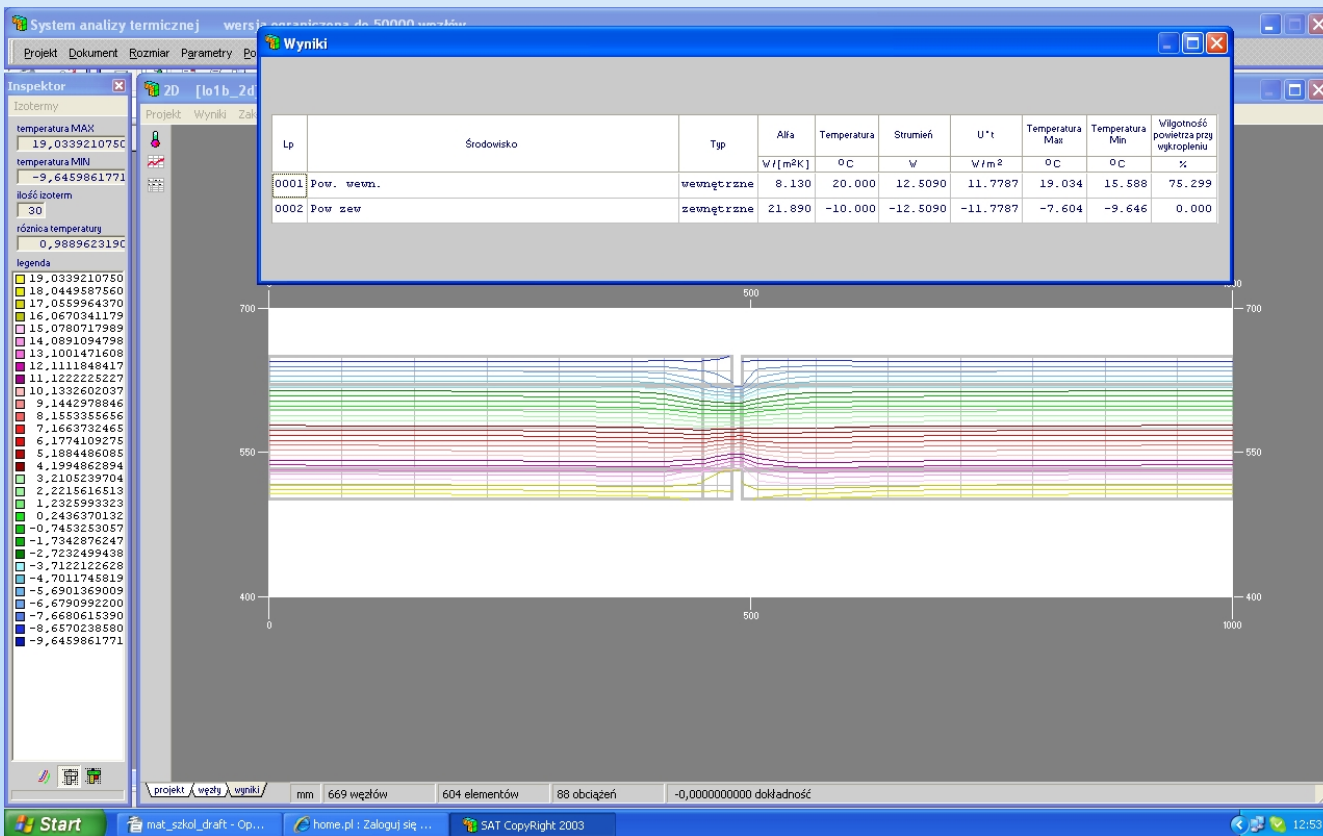
- Mamy do czynienia z mostkiem liniowym powodującym różnicę na metrze
- $(8,243 - 7,7545) \text{ [W/m}^2\text{]} * m =$
- 0,4885 W/m
- Co daje
- $U_l = 0,4885 / 30 = 0,0163 \text{ W/mK}$
- Można też sprawdzić, że wykroplenie na powierzchni obudowy nie grozi, gdyż to nastąpi dopiero przy 91.667% wilgotności powietrza.

Ciekawostki

- Przykład drugi – obudowa warstwowa z wadą konstrukcyjną.
- W drugiej połowie lat 90-tych ubiegłego wieku zdarzały się systemy takie jak w omawianym przykładzie.
- Tu końcówki blach w zamku połączone folią aluminiową, chcąc wytworzyć układ paroszczelny. Nie pomyślano o przewodności aluminium. Folia choć grubości jedynie 0,1mm, stanowi bardzo dobry przewodnik ciepła.

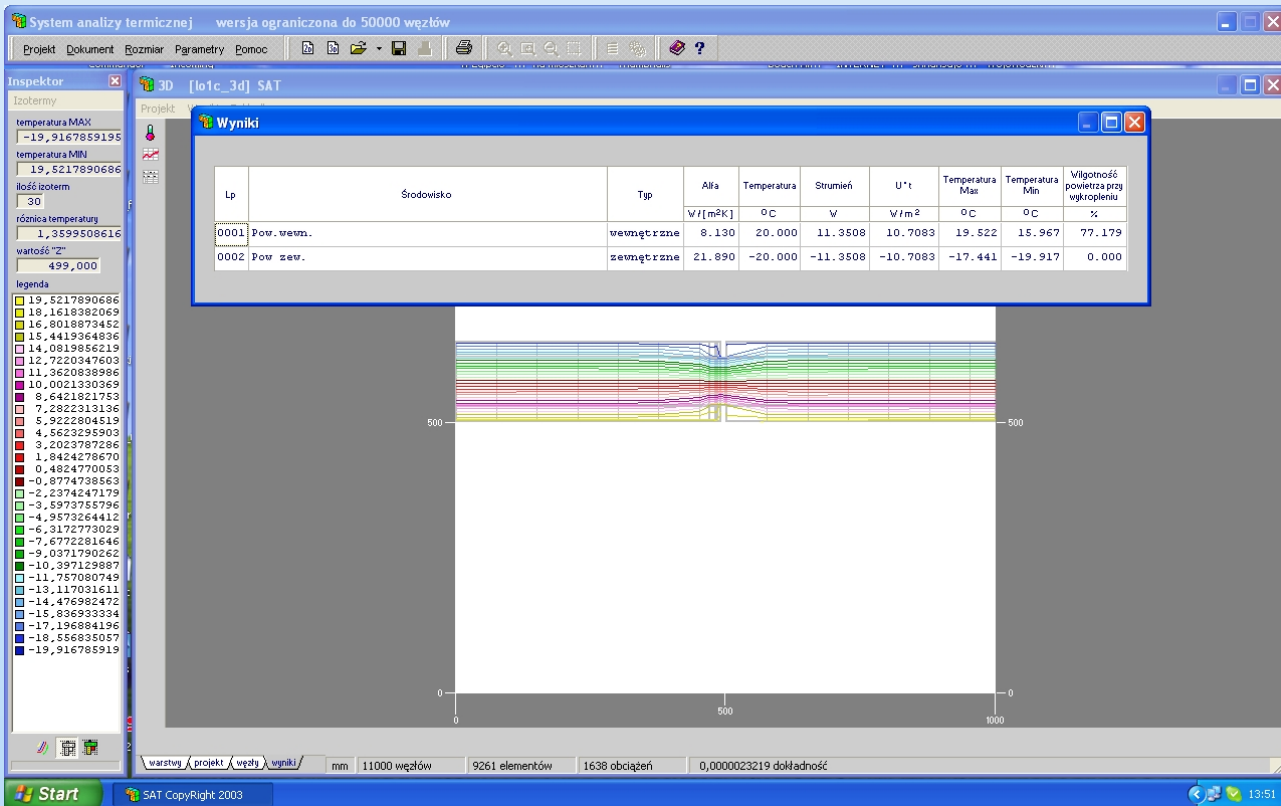


Ciekawostki



- Uzyskano strumień 11,7787 W/m²
- Mamy do czynienia z mostkiem liniowym powodującym różnicę na metrze
- $(12,509 - 7,7545) [W/m^2] * m = 4,7545 W/m$
- Co daje
- $U_l = 4,7545 / 30 = 0,1585 W/mK$
- Ten wynik wyraźnie wskazuje na pogorszenie izolacyjności systemu.
- Założmy, że panele są szerokości 1,2m tzn. że co 1,2m mamy do czynienia z mostkiem liniowym wynikającym z połączenia systemowego.
- $U = U_0 + U_l / 1,2 = 0,2585 + 0,1585 / 1,2 = 0,3906 W/m^2K$
- Jak widać, wilgotność powietrza przy której nastąpi wykroplenie na powierzchni wewnętrznej także spada.

Ciekawostki



- Jest to U po uwzględnieniu jedynie „szwów” systemu. By konstrukcja ściany mogła być trwała musi być poskręcana łącznikami śrubowymi do ryglówki.
- Należy uwzględnić mostki punktowe spowodowane śrubami.
- Wpływ mostka punktowego można zobaczyć obserwując izotermy przechodzące przez „śrubę” i porównując je z miejscem odległym od śruby.
- $U_p = (11,3508 - 8,2430) / 30 = 0,104 \text{ W/K}$
- Jest to wpływ pojedynczego łącznika.

Ciekawostki - podsumowanie

- Nie rozwijamy dalej tematu, gdyż sprowadza się on do tego samego, co w budynkach tradycyjnych tj. rozpoznania wszystkich mostków termicznych, zestawienia wartości ich współczynników przepływu ciepła oraz obliczenie rzeczywistego współczynnika przenikania ciepła dla poszczególnych przegród.
- Szanowni Państwo, z doświadczenia wiadomo, że najlepszym sposobem na zgłębienie tematu jest samodzielna praca w tym temacie.
- Proszę o pytania.