

silka[®]

YTONG[®]



Zeszyt Techniczny

Projektowanie przegród
z uwagi na mostki cieplne



xella[®]

dr inż. Robert Geryło

**Budynki wykonane w technologiach
SILKA i YTONG –
Projektowanie przegród
z uwagi na mostki cieplne**

wydanie II

Grudzień 2008

Copyright © by Xella Polska sp. z o.o.
Warszawa 2008

Znaki SILKA i YTONG są zarejestrowanymi znakami towarowymi.
Prawa ochronne na te znaki przysługują Xella Polska Sp. z o.o. z siedzibą w Warszawie.

Żadna część tej pracy nie może być powielana i rozpowszechniana bez pisemnej zgody wydawcy.

SPIS TREŚCI

1. Wymagania ochrony cieplnej w budynkach	5
1.1. Oszczędność energii	5
1.2. Ochrona przed powierzchniową kondensacją pary wodnej	5
2. Normy dotyczące zagadnień ochrony cieplnej w budynkach	8
2.1. Normy wyrobów	8
2.2. Normy badań izolacyjności cieplnej wyrobów murowych	10
2.3. Normy projektowania w zakresie ochrony cieplnej budynków	11
3. Obliczenia projektowe w zakresie ochrony cieplnej budynków	11
3.1. Współczynniki przenikania ciepła	11
3.2. Uwzględnienie mostków cieplnych	12
3.3. Minimalna temperatura powierzchni w obszarze oddziaływania mostków cieplnych	13
4. Budynek wykonany w systemach SILKA i YTONG – „odpowiedź na słabe miejsca”	15
5. Katalog mostków cieplnych	19

1. WYMAGANIA OCHRONY CIEPLNEJ W BUDYNKACH

1.1. Oszczędność energii

Podstawową regulacją dotyczącą wyrobów budowlanych i budownictwa w Unii Europejskiej jest Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich 89/106/EEC w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich. Ustanowione w niej szóste wymaganie podstawowe, dotyczące oszczędności energii i ochrony cieplnej w budynkach, określa, że powinny być one zaprojektowane i wykonane tak, aby utrzymać na niskim poziomie ilość energii niezbędnej do ich użytkowania, z uwzględnieniem lokalnych warunków klimatycznych i potrzeb użytkowników. Wartość energii rzeczywiście zużywanej lub zakładanej w odniesieniu do projektowych warunków użytkowania budynku, w zakresie ogrzewania, chłodzenia, wentylacji, przygotowania ciepłej wody oraz oświetlenia pomieszczeń w budynku użyteczności publicznej, określa jego charakterystykę energetyczną. Wymaganie jej obowiązkowej certyfikacji wprowadza w krajach Unii Europejskiej dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (2002/91/WE), której postanowienia powinny wejść w życie w Polsce w 2009 r. Przepisy budowlane, wynikające z wymagania podstawowego w zakresie oszczędności energii i ochrony cieplnej, mogą być sformułowane przez określenie:

- wymaganych wartości cech lub klas wyrobów budowlanych (sposób 1.),
- wymagań odnoszących się do cech przegród budynku lub części instalacji (sposób 2.),
- wymagań odnoszących się do cech obudowy budynku lub całych instalacji (sposób 3.),
- wymagań odnoszących się do zapotrzebowania budynku na energię netto, bez uwzględnienia strat energii w instalacjach, i pomocniczej energii do zapewnienia ich działania, bez uwzględnienia różnych nośników energii (sposób 4.),
- wymagań odnoszących się do zapotrzebowania budynku na energię dostarczoną (z uwzględnieniem ww. strat energii) lub zapotrzebowania na energię pierwotną (sposób 5.).

W polskich przepisach budowlanych, podanych w rozporządzeniu ministra infrastruktury z 12 kwietnia 2002 (z późniejszymi zmianami, obecnie w trakcie nowelizacji), w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, określono:

- maksymalne dopuszczalne wartości współczynników przenikania ciepła przegród budynku (ścian, stropodachów, stropów) i zastosowanych w nich okien oraz drzwi (sposób 1. i 2.),
- maksymalne dopuszczalne wartości wskaźnika sezonowego zapotrzebowania na ciepło (sposób 4.),

- a także inne wymagania związane z ochroną cieplną, np. dopuszczalne wartości temperatury wewnętrznej powierzchni przegród z uwagi na ochronę przed powierzchnią kondensacją pary wodnej.

Wymagane wartości współczynników i wskaźnika zamieszczono w tablicach 1, 2.

Dyrektywa 2002/91/WE wprowadza wymóg ustanowienia w przepisach krajowych państw UE dopuszczalnych wartości charakterystyki energetycznej budynku (sposób 5.)

Wspomniane wymaganie podstawowe ma umowny charakter, dostosowany do zmieniających się w czasie warunków mających wpływ na efektywność energetyczną (ekonomicznych, środowiskowych, klimatycznych, społeczno-użytkowych). Racjonalnie niski poziom ilości energii, potrzebnej do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem, wynika z opłacalności inwestycji w jego lepszą charakterystykę energetyczną z uwagi na przyszłe koszty użytkowania, w perspektywie co najmniej średniookresowej.

1.2. Ochrona przed powierzchnią kondensacją pary wodnej

Występowanie kondensacji pary wodnej na wewnętrznej powierzchni przegród budynku, które może przyczyniać się do pogorszenia ich stanu oraz pojawienia się i rozwoju zagrzybienia, zależy od izolacyjności cieplnej przegrody oraz cieplnych i wilgotnościowych warunków eksploatacji.

Wg wymagań podanych w ww. rozporządzeniu w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej czy budynkach produkcyjnych opór cieplny nieprzezroczystych przegród zewnętrznych powinien umożliwiać utrzymanie na wewnętrznych powierzchniach temperatury wyższej co najmniej o 1°C od punktu rosy powietrza w pomieszczeniu, przy obliczeniowych wartościach temperatury powietrza wewnętrznego i zewnętrznego. W pomieszczeniach klimatyzowanych, z utrzymywaną stałą wilgotnością względną powietrza, temperatura wewnętrznej powierzchni przegród powinna być wyższa od punktu rosy.

Punkt rosy określa wartość temperatury, w której wilgotne powietrze osiąga stan nasycenia (wilgotność względną $\phi = 100\%$). Zgodnie z powyższym kryterium dopuszczalna minimalna wartość temperatury powierzchni przegród zależy od parametrów powietrza. Obliczeniowe wartości temperatury w zależności od przeznaczenia lub sposobu wykorzystania pomieszczeń określono w ww. rozporządzeniu. Wartości wilgotności względnej przyjmuje się wg PN-78/B-03421 „Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi”.

Tablica 1. Wymagane wartości współczynnika przenikania ciepła elementów obudowy, wg przepisów budowlanych podanych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

Rodzaj budynku	Opis	Wartość wymagana
Budynek mieszkalny i zamieszkania zbiorowego	Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym, niezależnie od rodzaju ściany): a) przy $t_i > 16^{\circ}\text{C}$ b) przy $t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$	0,30 [W/(m ² ·K)] 0,80 [W/(m ² ·K)]
Budynek użyteczności publicznej	Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym, niezależnie od rodzaju ściany): a) przy $t_i > 16^{\circ}\text{C}$ b) przy $t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$	0,30 [W/(m ² ·K)] 0,65 [W/(m ² ·K)]
Budynek produkcyjny, magazynowy i gospodarczy	Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym, niezależnie od rodzaju ściany): a) przy $t_i > 16^{\circ}\text{C}$: b) przy $8^{\circ}\text{C} < t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$ c) przy $t_i \leq 8^{\circ}\text{C}$	0,30 [W/(m ² ·K)] 0,65 [W/(m ² ·K)] 0,90 [W/(m ² ·K)]

Rodzaj budynku	Opis	Wartość wymagana
Budynek mieszkalny i zamieszkania zbiorowego	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i > 16^{\circ}\text{C}$ b) przy $8^{\circ}\text{C} < t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$ Stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi	0,25 [W/(m ² ·K)] 0,50 [W/(m ² ·K)] 0,45 [W/(m ² ·K)]
Budynek użyteczności publicznej	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i > 16^{\circ}\text{C}$ b) przy $8^{\circ}\text{C} < t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$ Stropy nad nieogrzewanymi kondygnacjami podziemnymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi	0,25 [W/(m ² ·K)] 0,50 [W/(m ² ·K)] 0,45 [W/(m ² ·K)]
Budynek produkcyjny, magazynowy i gospodarczy	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i > 16^{\circ}\text{C}$: b) przy $8^{\circ}\text{C} < t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$ c) przy $t_i \leq 8^{\circ}\text{C}$	0,25 [W/(m ² ·K)] 0,50 [W/(m ² ·K)] 0,70 [W/(m ² ·K)]

Rodzaj budynku	Opis	Wartość wymagana
Budynek mieszkalny i zamieszkania zbiorowego	Okna (z wyjątkiem połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne w pomieszczeniach o $t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$: a) w I, II i III strefie klimatycznej b) w IV i V strefie klimatycznej Okna połaciowe (bez względu na strefę klimatyczną) w pomieszczeniach o $t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$	1,8 [W/(m ² ·K)] 1,7 [W/(m ² ·K)] 1,8 [W/(m ² ·K)]
Budynek użyteczności publicznej	Okna (z wyjątkiem połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne: a) przy $t_i > 16^{\circ}\text{C}$ b) przy $8^{\circ}\text{C} < t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$ c) przy $t_i \leq 8^{\circ}\text{C}$ Okna połaciowe i świetliki	1,8 [W/(m ² ·K)] 2,6 [W/(m ² ·K)] bez wymagań 1,7 [W/(m ² ·K)]
Budynek produkcyjny, magazynowy i gospodarczy	Okna (z wyjątkiem połaciowych), drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne w pomieszczeniach o $t_i \geq 16^{\circ}\text{C}$: a) w I, II i III strefie klimatycznej b) w IV i V strefie klimatycznej Okna połaciowe (bez względu na strefę klimatyczną) w pomieszczeniach o $t_i \leq 16^{\circ}\text{C}$	1,9 [W/(m ² ·K)] 1,7 [W/(m ² ·K)] 1,8 [W/(m ² ·K)]

Wartości graniczne EP rocznego wskaźnika obliczeniowego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz chłodzenia:

1. Budynek mieszkalny, do ogrzewania i wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (EP_{H+W})

$$\begin{aligned} A/V_e \leq 0,2 & \quad EP_{H+W} = 73 + \Delta EP \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]} \\ 0,2 \leq A/V_e \leq 1,05 & \quad EP_{H+W} = 55 + 90 \cdot (A/V_e) + \Delta EP \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]} \\ A/V_e \leq 1,05 & \quad EP_{H+W} = 149,5 + \Delta EP \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]} \end{aligned}$$

gdzie:

$\Delta EP = \Delta EP_W$ – dodatek na jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody użytkowej w ciągu roku, $\Delta EP_W = 7800/(300 + 0,1 \cdot A_f)$ [kWh/(m²·rok)]

A – jest sumą pól powierzchni wszystkich przegród budynku, oddzielających część ogrzewaną budynku od powietrza zewnętrznego, gruntu i przyległych pomieszczeń nieogrzewanych, liczona po obrysie zewnętrznym,

V_e – jest kubaturą ogrzewanej części budynku, pomniejszona o podcienia, balkony, loggie, galerie itp., liczona po obrysie zewnętrznym,

A_f – powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku (lokalu);

2. Budynek mieszkalny, do ogrzewania, wentylacji i chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej (EP_{HC+W})

$$EP_{HC+W} = EP_{H+W} + (5 + 15 \cdot A_{w,e}/A_f) \cdot (1 - 0,2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c}/A_f \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]}$$

gdzie:

EP_{H+W} – wartości według zależności podanej w pkt. 1,

$A_{w,e}$ – powierzchnia ścian zewnętrznych budynku, liczona po obrysie zewnętrznym,

$A_{f,c}$ – powierzchnia użytkowa chłodzona budynku (lokalu),

A_f – powierzchnia użytkowa ogrzewana budynku (lokalu),

V_e – jest kubatura ogrzewanej części budynku, pomniejszona o podcienia, balkony, loggie, galerie itp., liczona po obrysie zewnętrznym;

3. Zamieszkania zbiorowego, użyteczności publicznej i produkcyjnych do ogrzewania, wentylacji i chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej i oświetlenia wbudowanego (EP_{HC+W+L})

$$EP_{HC+W+L} = EP_{H+W} + (10 + 60 \cdot A_{w,e}/A_f) \cdot (1 - 0,2 \cdot A/V_e) \cdot A_{f,c}/A_f \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]}$$

gdzie:

$A_{w,e}$ – powierzchnia ścian zewnętrznych budynku, liczona po obrysie zewnętrznym,

$A_{f,c}$ – powierzchnia użytkowa chłodzona budynku (lokalu),

EP_{H+W} – wartości według zależności określonej w pkt. 1, przy czym: $EP = EP_W + EP_L$,

EP_W – dodatek na jednostkowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do przygotowania ciepłej wody użytkowej w ciągu roku; dla budynku z wydzielonymi częściami o różnych funkcjach użytkowych wyznacza się wartość średnią EPW dla całego budynku, przy czym:

$$EP_W = 1,56 \cdot 19,10 \cdot V_{CW} \cdot b_t/a_1; \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{rok)]}$$

gdzie:

V_{CW} – jednostkowe dobowe zużycie ciepłej wody użytkowej, [dm³/[(j.o.)·doba]] należy przyjmować z założeń projektowych,

a_1 – udział powierzchni A_f na jednostkę odniesienia [(j.o.), najczęściej na osobę, [m²/j.o.], należy przyjmować z założeń projektowych,

b_t – bezwymiarowy czas użytkowania w ciągu roku systemu ciepłej wody użytkowej, należy przyjmować z założeń projektowych.

Temperaturę punktu rosy θ_{dp} powietrza o temperaturze θ i wilgotności względnej ϕ można obliczyć wg następujących wzorów:

$$\theta_{dp} = (237,3 \cdot \ln(p_{sat}/610,5)) / (17,269 - \ln(p_{sat}/610,5)) \text{ gdy } p_{sat} \geq 610,5 \text{ Pa} \quad (1)$$

$$\theta_{dp} = (265,5 \cdot \ln(p_{sat}/610,5)) / (21,875 - \ln(p_{sat}/610,5)) \text{ gdy } p_{sat} < 610,5 \text{ Pa} \quad (2)$$

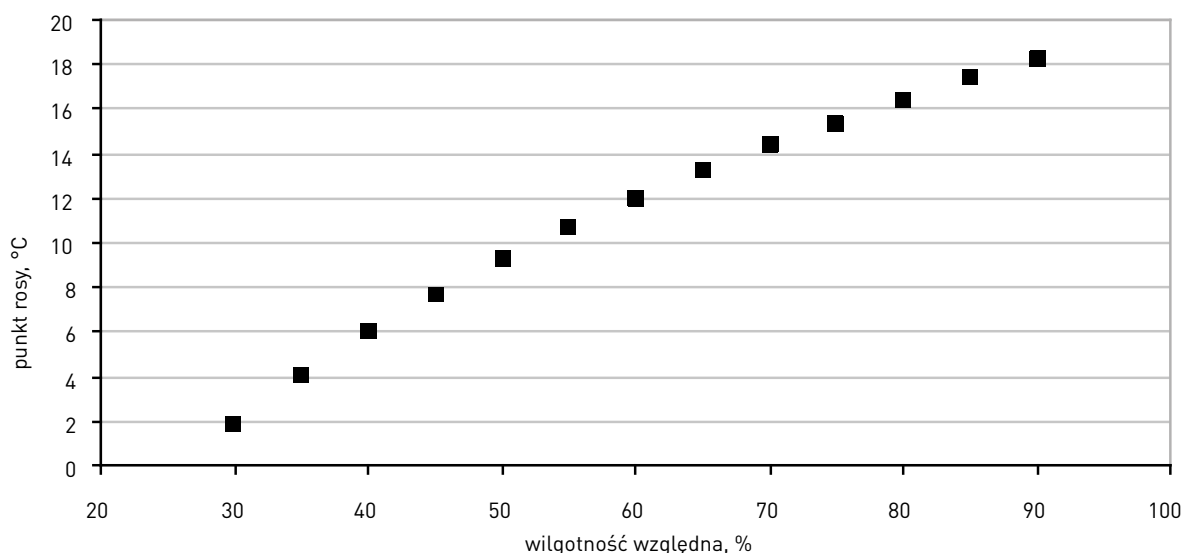
w których:

$$p_{sat} = \phi \cdot 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}} \quad \text{dla } \theta \geq 0^\circ \text{C} \quad (3)$$

$$p_{sat} = \phi \cdot 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}} \quad \text{dla } \theta < 0^\circ \text{C} \quad (4)$$

Wartości temperatury punktu rosy powietrza o temperaturze 20°C w zależności od wilgotności względnej przedstawiono na rys.1.

Zgodnie z normą **PN-EN ISO 13788:2003 „Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa – Metody obliczania”** powyższe kryterium ochrony przed powierzchniową kondensacją pary wodnej stosuje się w odniesieniu do lekkich przegród budynku (o małej bezwładności cieplnej) z materiałów nienasiąkliwych, np. szkło, metale, zwarte polimery konstrukcyjne. W odniesieniu do materiałów o budowie kapilarno-porowatej (np. wyroby ceramiczne, wapienno-piaskowe, betony kruszowe i komórkowe, gips, zaprawy), z uwagi na możliwość kondensacji kapilarnej, przyjmuje się dopuszczalną wilgotność względną powietrza w sąsiedztwie materiału równą 80%.



Rys. 1. Zależność punktu rosy od wilgotności względnej powietrza o temperaturze 20°C

Temperatura wewnętrznej powierzchni przegrody zależy od zmian temperatury na zewnątrz i w pomieszczeniu. W celu scharakteryzowania jakości cieplnej ściany w sposób niezależny od wartości temperatury środowiska, zgodnie z ww. normą, stosuje się współczynnik temperaturowy f_{Rsi} . Jego wartość jest równa różnicy temperatury powierzchni i temperatury środowiska zewnętrznego, podzielonej przez różnicę temperatury środowiska wewnętrznego i zewnętrznego, przy określonej wartości oporu przejmowania ciepła R_{si} na wewnętrznej powierzchni przegrody.

Dopuszczalną wartość współczynnika temperaturowego określa się z uwzględnieniem intensywności wentylacji i emisji wilgoci w pomieszczeniu. W odniesieniu do normalnych warunków eksploatacyjnych w budynkach mieszkalnych w Polsce, do masywnych przegród o dużej bezwładności cieplnej, można orientacyjnie przyjmować dopuszczalną wartość f_{Rsi} równą **0,7**.

2. NORMY DOTYCZĄCE ZAGADNIEŃ OCHRONY CIEPLNEJ W BUDYNKACH

Polskie Normy związane z zagadnieniami oszczędności energii i izolacyjności cieplnej w budynkach dotyczą określania cieplnych i cieplno-wilgotnościowych właściwości:

- budynków,
- przegród w budynkach,
- wyrobów budowlanych.

Zbiór aktualnych Polskich Norm w większości składa się z zatwierdzonych przez Polski Komitet Normalizacyjny:

- norm europejskich, wydawanych przez Europejski Komitet Normalizacyjny CEN,
- norm międzynarodowych, wydawanych przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną ISO.

Dokumenty **PN-EN** i **PN-EN ISO** są dość często aktualizowane, w związku z czym należy regularnie sprawdzać status ich ostatnich wydań.

Normy mają status dokumentów dobrowolnych i dopiero powołanie ich w aktach prawnych ustanawia obowiązek ich stosowania. W Polsce wykaz takich norm, związanych z przepisami budowlanymi, podaje załącznik do ww. rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki oraz ich usytuowanie.

Wyróżnia się następujące grupy norm:

- normy wyrobów budowlanych,
- normy metod określania cech wyrobów budowlanych,
- normy projektowe.

2.1. Normy wyrobów

Podstawowe znaczenie z punktu widzenia rynku wyrobów budowlanych mają obecnie europejskie zharmonizowane normy wyrobów. Wyroby, które, zgodnie z deklaracją producenta, spełniają wymagania ustanowione przez normę systemu oceny zgodności, są znakowane etykietą „CE”, której towarzyszą, określone na podstawie wyników wstępnych badań typu, wartości, poziomy lub klasy cech technicznych, istotnych z uwagi na przewidywany zakres ich stosowania (np. **deklarowane wartości współczynnika przewodzenia ciepła, oporu cieplnego, współczynnika przenikania ciepła**). W odniesieniu do wyrobów budowlanych, które nie są objęte normami, specyfikacje stanowią aprobaty techniczne.

Dotychczas ustanowiono normy na m.in.:

Tablica 3. Polskie wydania wybranych zharmonizowanych europejskich norm wyrobów

Numer i tytuł normy	deklarowana cecha związana z izolacyjnością cieplną
PN-EN 13162:2002 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z wełny mineralnej (MW) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13162:2002/AC:2006	opór cieplny / współczynnik przewodzenia ciepła wyrobu
PN-EN 13163:2004 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13163:2004/AC:2006	jw.
PN-EN 13164:2003 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z polistyrenu ekstrudowanego (XPS) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13164:2003/A1:2005 + PN-EN 13164:2003/AC:2006	jw.
PN-EN 13165:2003 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby ze sztywnej pianki poliuretanowej (PUR) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13165:2003/A1:2005 + PN-EN 13165:2003/A2:2005 + PN-EN 13165:2003/AC:2006	jw.
PN-EN 13166:2003 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby ze sztywnej pianki fenolowej (PF) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13166:2003/A1:2005 + PN-EN 13166:2003/AC:2006	jw.
PN-EN 13167:2003 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby ze szkła piankowego (CG) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13167:2003/A1:2005 + PN-EN 13167:2003/AC:2006	jw.
PN-EN 13168:2003 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z wełny drzewnej (WW) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13168:2003/A1:2005 + PN-EN 13168:2003/AC:2006	jw.
PN-EN 13169:2003 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z ekspandowanego perlitu (EPB) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13169:2003/A1:2005 + PN-EN 13169:2003/AC:2006	jw.
PN-EN 13170:2003 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z ekspandowanego korka (ICB) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13170:2003/AC:2006	jw.
PN-EN 13171:2002 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby z włókien drzewnych (WF) produkowane fabrycznie – Specyfikacja + PN-EN 13171:2002/A1:2005 + PN-EN 13171:2002/AC:2006	jw.
PN-EN 771-1:2006 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 1: Elementy murowe ceramiczne	współczynnik (lub ekwiwalentny współczynnik) przewodzenia ciepła
PN-EN 771-2:2006 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 2: Elementy murowe silikatowe	jw.
PN-EN 771-3:2005 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 3: Elementy murowe z betonu kruszywowego (z kruszywami zwykłymi i lekkimi) + PN-EN 771-3:2005/A1:2006	jw.
PN-EN 771-4:2004 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 4: Elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego + PN-EN 771-4:2004/A1:2006	jw.
PN-EN 771-5:2005 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 5: Elementy murowe z kamienia sztucznego + PN-EN 771-5:2005/A1:2006	jw.
PN-EN 771-6:2007 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 6: Elementy murowe z kamienia naturalnego	jw.
PN-EN 14351-1:2006 Okna i drzwi – Norma wyrobu, właściwości eksploatacyjne – Część 1: Okna i drzwi zewnętrzne bez właściwości dotyczących odporności ogniowych i/lub dymoszczelności	współczynnik przenikania ciepła
PN-EN 13830:2005 Ściany osłonowe – Norma wyrobu	jw.

- a) produkowane fabrycznie wyroby do izolacji cieplnej: z wełny mineralnej MW, ze styropianu EPS, z polistyrenu ekstrudowanego XPS, ze sztywnej pianki poliuretanowej PUR, innych rzadziej stosowanych materiałów: sztywnej pianki fenolowej PF, szkła piankowego CG, wełny drzewnej WW, ekspandowanego perlitu EPB, ekspandowanego korka ICB, włókien drzewnych WF;
- b) wyroby murowe: ceramiczne, silikatowe, z betonu kruszywowego, z autoklawizowanego betonu komórkowego, z kamienia sztucznego lub naturalnego;
- c) okna, drzwi, systemowe lekkie ściany ostonowe.
- Zestawienie wybranych norm wyrobów podano w tablicy 3.

2.2. Normy badań izolacyjności cieplnej wyrobów murowych

Wartości cech związanych z izolacyjnością cieplną wyrobów są określane jako:

- wartości deklarowane odniesione do umownych warunków laboratoryjnych,
- wartości projektowe (obliczeniowe) odniesione do przewidywanych przeciętnych warunków eksploatacyjnych.

Badania w celu określenia wartości deklarowanych współczynnika przewodzenia ciepła lub oporu cieplnego powinny być przeprowadzane tak, aby na podstawie uzyskanych wyników można było stwierdzić, że 90% produkcji danego wyrobu nie jest gorsze niż wartość deklarowana na poziomie ufności 90%. Procedura oceny statystycznej umożliwiającej takie stwierdzenie jest określona w normach wyrobów.

Badania laboratoryjne $\lambda_{10, dry}$ (lub $R_{10, dry}$) wykonuje się na:

- wysuszonych próbkach wyrobu o określonej grubości (izolacje cieplne spienione gazami innymi niż powietrze są badane na próbkach o określonym wieku),
- przy średniej temperaturze próbek równej 10°C.

Pomiary przewodności cieplnej materiałów są prowadzone wg **PN-EN 12667 „Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych. Określenie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego. Wyroby o dużym i średnim oporze cieplnym”** na aparatach płytowych z osłoniętą płytą grzejącą lub z ciepłomierzem. Przewodność cieplna materiałów zależy od gęstości, temperatury, wilgotności i może zmieniać się wraz z upływem czasu. Na podstawie wartości deklarowanych określa się wartości projektowe (obliczeniowe) stosując odpowiednią konwersję. Wartości projektowe na ogół odnosi się do średniej temperatury wyrobu w przegrodzie równej 10°C i jego ustabilizowanej wilgotności (w stanie równowagi termodynamicznej z powietrzem o wilgotności względnej 80% w 23°C).

Konwersję wilgotnościową współczynnika przewodzenia ciepła przeprowadza się wg wzoru:

$$\lambda_u = \lambda_s \cdot e^{f(w_u - w_s)} \quad (5)$$

w którym:

λ_u, w_u – wartość współczynnika przewodzenia ciepła i wilgotności w stanie użytkowym,

λ_s, w_s – wartość deklarowana współczynnika przewodzenia ciepła i wilgotność w stanie suchym,

f – współczynnik konwersji wilgotnościowej.

Metodykę określania wartości projektowych podaje **PN-EN ISO 10456:2008 „Materiały i wyroby budowlane – Właściwości cieplno-wilgotnościowe – Tabelaryczne wartości obliczeniowe i procedury określania deklarowanych i obliczeniowych wartości cieplnych”**

Procedury określania izolacyjności cieplnej wyrobów murowych i wykonanych z nich murów określa **PN-EN 1745:2004 + A1:2006 „Mury i wyroby murowe. Metody określania obliczeniowych wartości cieplnych”**. Norma dotyczy murów:

- z elementów murowych pełnych (bez pustek), łączonych zaprawą murarską, otynkowanych lub nieotynkowanych,
- z elementów murowych z pustkami (pustaków), łączonych zaprawą murarską, otynkowanych lub nieotynkowanych,
- z elementów murowych, łączonych zaprawą murarską i innych dodatkowych wyrobów lub materiałów, np. izolacji cieplnej, otynkowanych lub nieotynkowanych.

Przy różnej przewodności cieplnej zaprawy w spoinach i łączonych przez nie elementów (pustaków lub pełnych elementów murowych) przepływ ciepła przez mur odbywa się w trzech kierunkach.

Badania ekwiwalentnego współczynnika przewodzenia ciepła muru (oporu cieplnego) przeprowadza się metodą:

- pomiarową wg **PN-EN 1934:1999 „Właściwości cieplne budynków. Określenie oporu cieplnego metodą skrzynki grzejnej przy użyciu ciepłomierza – Mury”**,
- obliczeniową (komputerowa symulacja pola temperatury) wg **PN-EN ISO 10211:2008 „Mostki cieplne w budynkach – Strumienie cieplne i temperatury powierzchni – Obliczenia szczegółowe”**.

Norma obliczeniowa określa zasady:

- przyjmowania danych do obliczeń (wymiarów, przewodności cieplnej materiałów, warunków brzegowych),
- budowy modelu geometryczno-materiałowego wyrobu lub przegrody budowlanej,
- jego dyskretyzacji, umożliwiającej uzyskanie zadawanej jakości wyników obliczeń,
- oceny jakości rozwiązania układu równań określających wartości pola temperatury w węzłach przyjętego modelu dyskretnego.

2.3. Normy projektowania w zakresie ochrony cieplnej budynków

Obliczenia projektowe, związane z wymaganiami oszczędności energii i izolacyjności cieplnej w budynkach, podanymi we wspomnianym rozporządzeniu, przeprowadza się w celu określenia:

- sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania zgodnie z **PN-B-02025:2001 „Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego”**,
- współczynników przenikania ciepła przegród budynku zgodnie z **PN-EN ISO 6946:2008 „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”** (w przepisach budowlanych podanych w ww. rozporządzeniu powołano zastąpione wydanie normy z 1999 r.),
- rozkładu temperatury w przegrodzie do oceny występowania kondensacji pary wodnej, zgodnie z **PN-EN ISO 13788:2003 „Cieplno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku – Temperatura powierzchni wewnętrznej konieczna do uniknięcia krytycznej wilgotności powierzchni i kondensacja międzywarstwowa – Metody obliczania”**. (norma dotychczas nie powołana w ww. rozporządzeniu).

Obliczenia projektowe w zakresie ogrzewania pomieszczeń opisuje norma **PN-EN 12831:2006 „Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego”** (norma dotychczas nie powołana w rozporządzeniu odwołującym się do wycofanej PN-B-03406:1994).

- braku intensywnego przepływu powietrza przez przegrodę
- warunków bez oddziaływania promieniowania słonecznego,
- normowych warunków przejmowania ciepła na powierzchniach.

Straty ciepła w wyniku jego przenikania przez obudowę do środowiska zewnętrznego można podzielić na:

- bezpośrednie przez obudowę (zewnętrzne przegrody budynku),
- pośrednie przez grunt lub przez nieogrzewane części budynku.

W obliczeniach bezpośrednich strat ciepła przez przenikanie stosuje się podział na:

- przegrody nieprzezroczyste: ściany, stropy, dach;
- okna, drzwi, świetliki;
- połączenia przegród i węzły konstrukcyjne w obudowie.

O udziale tych elementów obudowy w łącznych stratach ciepła przez przenikanie decydują:

- ich izolacyjność cieplna,
- udział w całkowitej powierzchni obudowy.

Przykładowe wartości w odniesieniu do przeciętnego jednorodzinnego budynku mieszkalnego, obliczone przy przyjęciu podanych w tablicy 1. maksymalnych dopuszczalnych wartości współczynników przenikania ciepła, przedstawiono na rys. 2.

Strumień ciepła przez bezpośrednie przenikanie, w ustalonych warunkach różnicy temperatury w budynku i na zewnątrz, $(\theta_i - \theta_e)$ można obliczyć wg wzoru:

$$\Phi = H_D \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (6)$$

3. OBLICZENIA PROJEKTOWE W ZAKRESIE OCHRONY CIEPLNEJ BUDYNKÓW

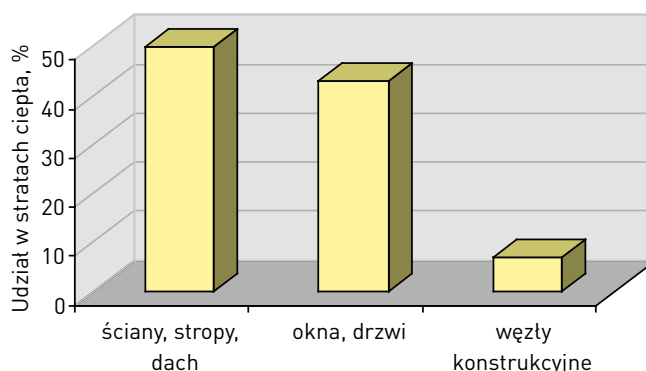
3.1. Współczynniki przenikania ciepła

Izolacyjność cieplna przegród budynku zależy od ich:

1. oporu cieplnego,
2. oddziaływania mostków cieplnych:
 - w przegrodzie (np. łączników mechanicznych mocujących warstwę izolacji cieplnej do muru),
 - w połączeniach z innymi przegrodami, wbudowanymi wyrobami (np. oknami), elementami konstrukcji (np. płytami balkonów, słupami),
3. stanu wilgotnościowego,
4. szczelności na przepływ powietrza.

Współczynniki przenikania ciepła przegród są obliczane przy założeniu:

- ustalonych (nie zmieniających się w czasie) warunków cieplnych,
- ustabilizowanej wilgotności,



Rys. 2. Przykładowe udziały procentowe strat ciepła na skutek przenikania przez elementy obudowy

Wartość współczynnika strat ciepła przez bezpośrednie przenikanie w odniesieniu do obudowy lub jej części określa się wg wzoru:

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j \quad (7)$$

w którym:

- $\sum_i A_i U_i$ – suma iloczynów współczynników przenikania ciepła elementów obudowy i powierzchni, do których mają one zastosowanie,
- $\sum_k l_k \Psi_k$ – suma iloczynów liniowych współczynników przenikania ciepła połączeń elementów obudowy i długości, do których mają one zastosowanie,
- $\sum_j \chi_j$ – suma punktowych mostków cieplnych występujących w obudowie, które zwykle uwzględnia się stosując odpowiednie poprawki do współczynników przenikania ciepła elementów obudowy ($U_c = U + \Delta U_\chi$).

Na podstawie wartości współczynnika strat ciepła przez przenikanie można określić średnią wartość współczynnika przenikania ciepła obudowy (lub jej części), wg wzoru:

$$U_{k, \text{sr}} = \frac{H_D}{\sum_i A_i} \quad (8)$$

W odniesieniu do wybranego („i-tego”) elementu obudowy, np. jednej ze ścian, na wzorze (8), można określić wartość współczynnika przenikania ciepła z uwzględnieniem występujących w nim mostków cieplnych:

$$U_{k,i} = \frac{H_{D,i}}{A_i} = U_i + \frac{\sum_k l_{k,i} \Psi_{k,i}}{A_i} + \frac{\sum_j \chi_{j,i}}{A_i} \quad (9)$$

Współczynnik przenikania ciepła U z indeksem dolnym „c” uwzględnia normowe dodatki ΔU , z uwagi na nieszczelności, łączniki mechaniczne w przegrodzie, wpływ opadów w dachu o odwróconym układzie warstw izolacji wodochronnej i cieplnej. W odniesieniu do ścian poprawka do współczynnika przenikania ciepła U może uwzględniać wpływ punktowych mostków cieplnych, występujących w miejscu zastosowania kotew w murze szczelinowym lub kotków mocujących izolację cieplną.

Wartość współczynnika przenikania ciepła przegród, w których występują warstwy niejednorodne (np. konstrukcja drewniana lub metalowa wypełniona izolacją cieplną, różne przewodności cieplne elementów murowych i zaprawy w spoinach muru) może być określona na podstawie współczynnika sprzężenia cieplnego (strumienia ciepła przy jednostkowej różnicy temperatury środowiska wewnętrznego i zewnętrznego), którego wartość określa się na podstawie wyników komputerowych obliczeń pola temperatury. W ten sam sposób określa się wartości liniowych współczynników przenikania ciepła Ψ .

$$U_c = U + \Delta U = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{d}{\lambda} + R_{se}} + \Delta U = \frac{L_{3D}}{A} \quad (10)$$

$$\Psi = L_{2D} - \sum U \cdot b_U \quad (11)$$

w których:

- R_{si}, R_{se} – opory przejmowania ciepła na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni przegrody (w odniesieniu do ściany przyjmuje się ich łączną wartość równą $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$),
- d, λ – grubość i projektowa (obliczeniowa) wartość współczynnika przewodzenia ciepła jednorodnej cieplnie warstwy materiałowej (lub ekwiwalentna wartość współczynnika przewodzenia ciepła warstwy niejednorodnej, np. muru),
- L_{3D}, A – współczynnik sprzężenia cieplnego (model trójwymiarowy) i powierzchnia, do której ma on zastosowanie,
- L_{2D} – współczynnik sprzężenia cieplnego (model dwuwymiarowy),
- $\sum U \cdot b_U$ – suma iloczynów współczynników przenikania ciepła i liniowego wymiaru, do którego mają one zastosowanie (w obliczeniach wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła stosuje się zewnętrzne lub wewnętrzne wymiary przegrody).

3.2. Uwzględnienie mostków cieplnych

Mostki cieplne stanowią miejsca w przegrodach budowlanych, w których występują większe straty ciepła i niższe wartości temperatury wewnętrznej powierzchni niż w ich częściach znajdujących się poza zasięgiem oddziaływania mostków.

Mogą one być spowodowane:

- różnicami przewodności cieplnej materiałów zastosowanych w jednej warstwie, np. słup w ścianie,
- różnicami geometrycznymi, np. większą powierzchnią zewnętrzną niż wewnętrzną ścian w narożu,
- dwiema wymienionymi przyczynami, np. połączenie ościeżnicy okna ze ścianą w nadprożu, słup w narożu ścian, wieniec stropu, oparcie potaci dachowej na ścianie.

Wyróżnia się dwa rodzaje mostków cieplnych:

- strukturalne, wynikające z technologii wykonania przegrody,
 - konstrukcyjne, w połączeniach przegród budynku.
- Powodem występowania strukturalnych mostków cieplnych w ścianach są cieplne niejednorodności materiałowe, np.:
- drewniana lub metalowa konstrukcja ściany szkieletowej wypełniona izolacją cieplną,

- tworzywowe lub tworzywowo-metalowe kotki mocujące izolację cieplną do muru lub kotwy muru szczelinowego przenikające przez warstwę izolacji cieplnej,
- spoiny w murze wykonane z zaprawy lepiej przewodzącej ciepło niż materiał elementów murowych.

Wpływ tego typu mostków uwzględnia się w obliczeniach współczynnika przenikania ciepła U_c wg wzoru (10).

Konstrukcyjne mostki cieplne występują w połączeniach ścian zewnętrznych:

- ze stropami międzykondygnacyjnymi (wieńce),
- ze stropodachem lub połacią dachu stromego,
- ze stropem pod najniższą ogrzewaną kondygnacją budynku lub podłogą na gruncie,
- w narożach, ze ścianami wewnętrznymi, ścianą fundamentową,
- z ościeżnicami okien, drzwi,
- z płytami balkonów, tarasów, logii.

Orientacyjne wartości liniowych współczynników przenikania ciepła podane są w PN-EN ISO 14683:2007 „Mostki cieplne w budynkach – Liniowy współczynnik przenikania ciepła – Metody uproszczone i wartości orientacyjne”. Niestety norma nie obejmuje najczęściej stosowanych rozwiązań technicznych w Polsce. Orientacyjne wartości w odniesieniu do rozwiązań krajowych podano w tablicy 4.

Wpływ konstrukcyjnych mostków cieplnych uwzględnia się w: $\sum_k l_k \Psi_k$ we wzorze (7) lub $\sum_k \frac{l_{k,i} \Psi_{k,i}}{A_i}$ we wzorze (9).

We współcześnie wznoszonych budynkach mieszkalnych w Polsce, przy zastosowaniu poprawnych rozwiązań technicznych izolacji cieplnej w połączeniach przegród i węzłach konstrukcyjnych, udział konstrukcyjnych mostków cieplnych w obliczonej wg wzoru (8) średniej wartości współczynnika przenikania ciepła obudowy, stanowi od około 0,05 do 0,10 W/(m²·K). W odniesieniu do wybranych ścian, wg obliczeń zgodnie ze wzorem (9) może on przekraczać podane wartości.

Jakość cieplną konstrukcyjnych mostków cieplnych opisują katalogi, w których podaje się uzyskane na podstawie komputerowych obliczeń pola temperatury i strumienia ciepła:

- rozkład i minimalną wartość temperatury wewnętrznej powierzchni przegród,
- wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła.

3.3. Minimalna temperatura powierzchni w obszarze oddziaływania mostków cieplnych

W odniesieniu do mostków cieplnych, zwłaszcza trójwymiarowych, w węzłach konstrukcyjnych w narożach - rys. 3, konieczne jest sprawdzenie, czy minimalna temperatura wewnętrznej powierzchni obudowy spełnia kryterium ochrony przed powierzchniową kondensacją pary wodnej.

Przy zbyt niskiej temperaturze istnieje, w zależności od warunków wilgotnościowych w pomieszczeniu, możliwość pojawienia się i rozwoju zagrzybienia, a przez to pogorszenia warunków higienicznych.

Na podstawie minimalnej wartości temperatury wewnętrznej powierzchni przegród $\theta_{si,min}$ (obliczonej przy przyjęciu temperatury w pomieszczeniu θ_i i temperatury zewnętrznej θ_e) można obliczyć minimalną wartość współczynnika temperaturowego $f_{Rsi,min}$ wg wzoru:

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (12)$$

Zgodnie z PN-EN ISO 13788:2003 stosuje się następującą procedurę oceny węzła konstrukcyjnego z uwagi na ochronę przed rozwojem zagrzybienia na wewnętrznej powierzchni obudowy:

a) W odniesieniu do poszczególnych miesięcy określa się średnią wartość temperatury i wilgotności powietrza zewnętrznego;

b) Określa się temperaturę w pomieszczeniu;

c) Określa się wilgotność powietrza w pomieszczeniu w następujący sposób:

- przy zastosowaniu klimatyzacji – przyjmuje się zadaną, stałą wartość wilgotności względnej, powiększoną o normowy dodatek bezpieczeństwa równy 5%,
- w pomieszczeniach bez klimatyzacji, uwzględnia się intensywność wentylacji i emisję wilgoci wg poniżej podanych wzorów.

Wartość ciśnienia cząstkowego pary wodnej zawartej w powietrzu p_i w pomieszczeniu określa się wg wzoru:

$$p_i = p_e + \Delta p \quad (13)$$

w którym:

p_e – ciśnienie cząstkowe pary wodnej zawartej w powietrzu zewnętrznym, dostarczanym do pomieszczenia, w Pa,

Δp – nadwyżka ciśnienia cząstkowego pary wodnej wynikająca z emisji pary wodnej w pomieszczeniu.

Analogicznie, zawartość pary wodnej w jednostce objętości v_i można określić wg wzoru:

$$v_i = v_e + \Delta v \quad (13)$$

w którym:

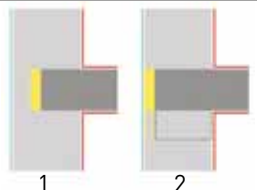
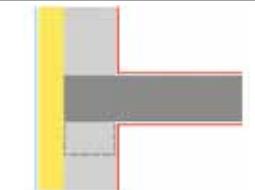
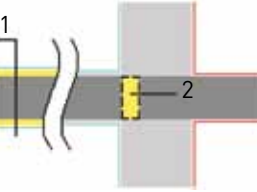
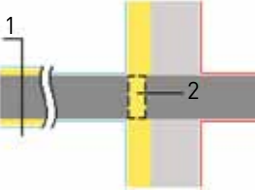
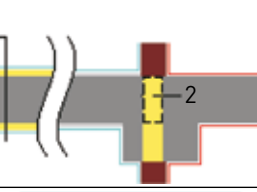
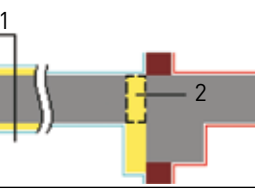
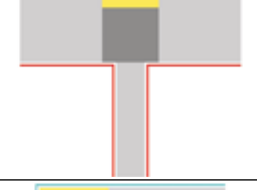
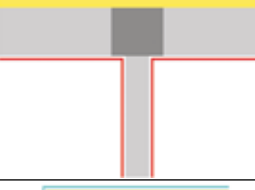
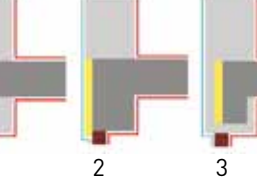
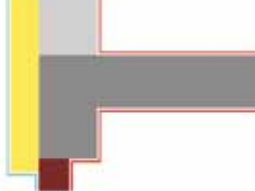
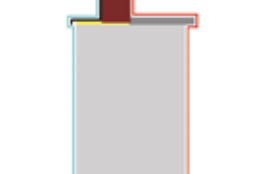
v_e – zawartość pary wodnej w jednostce objętości powietrza zewnętrznego dostarczanego do pomieszczenia, w kg/m³,

Δv – nadwyżka wynikająca z emisji pary wodnej w pomieszczeniu.

Wartości nadwyżek Δp lub Δv określa się następująco:

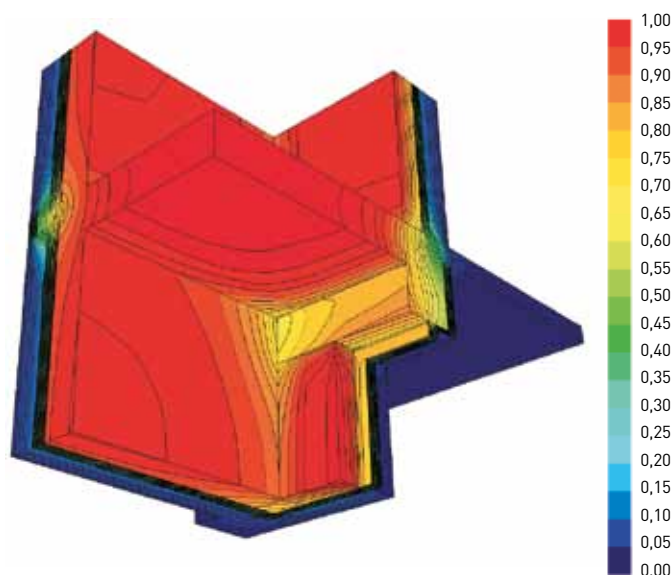
- na podstawie wartości normowych w odniesieniu do klasy wilgotności pomieszczenia – rys. 4,

Tablica 4. Orientacyjne wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła

Poz.	Konstrukcyjny mostek cieplny		Wartości orientacyjne liniowego współczynnika przenikania ciepła (wymiary zewnętrzne) W/(m·K)		
	Opis	Szkic *			
		ściana jednowarstwowa	ściana dwuwarstwowa (zewnątrzna izolacja cieplna)	ściana jedno-warstwowa	ściana dwu-warstwowa
1	Połączenie ściany ze stropem: 1), 2) - międzykondygnacyjnym, 3) nad piwnicą lub nieogrzewanym poddaszem			1) 0,1 2) 0,2 3) 0,2-0,3	1) 0,0 2) 0,0 3) 0,2-0,3
2	Żelbetowa wspornikowa płyta balkonowa: 1) izolacja cieplna powierzchni płyty, 2) łącznik zbrojenia z izolacją cieplną			1) 0,3 2) 0,25	1) 0,4 2) 0,2
3	jw. – przekrój przez drzwi balkonowe			1) 0,65 2) 0,25	1) 0,6 2) 0,4
4	Słup żelbetowy w ścianie			0,15	0,0
5	Naroże wypukłe ścian ze słupem żelbetowym			-0,2 **	-0,1 **
6	Nadproże: 1) zbrojony beton komórkowy 2) izolacja cieplna powierzchni czołowej 3) kształtka „U” z betonu komórkowego z izolacją cieplną			1) 0,15 2) 0,25 3) 0,20	0,05
7	Połączenie z ościeżnicą okna, drzwi			0,1	0,05
8	Podokiennik			0,10	0,20

* Kolorem żółtym oznaczono izolację cieplną

** Ujemna wartość wynika z przyjęcia w obliczeniach wymiarów zewnętrznych ścian w narożu



Rys. 3. Przykład obliczonego rozkładu temperatury w trójwymiarowym węźle konstrukcyjnym

– na podstawie obliczeń uwzględniających strumień emisji pary wodnej i intensywność wentylacji pomieszczenia wg wzoru:

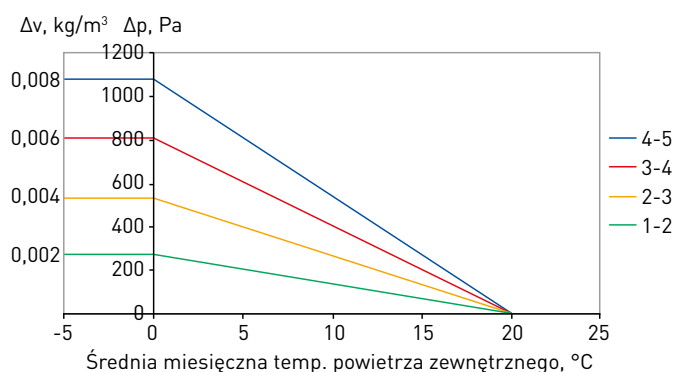
$$\Delta v = \frac{G}{n \cdot V} \quad (15)$$

w którym:

G – strumień emisji wilgoci w pomieszczeniu w kg/h,

n – wielokrotność wymiany powietrza, w h⁻¹,

V – objętość pomieszczenia w m³.



Rys. 4. Normowe nadwyżki Δp , Δn w odniesieniu do klas wilgotności pomieszczeń o następującym przeznaczeniu: 1 – magazyny, 2 – biura, sklepy, 3 – mieszkania z małą liczbą lokatorów, 4 – mieszkania z dużą liczbą lokatorów, 5 – specjalne, charakteryzujące się dużą emisją pary wodnej, np. pralnia, browar, basen.

W odniesieniu do tak określonych wartości nadwyżek Δp lub Δv stosuje się normowy współczynnik bezpieczeństwa równy 1,1.

d) Określa się wilgotność w stanie nasycenia $p_{\text{sat}}(\theta_{\text{si, dop}})$ lub $v_{\text{sat}}(\theta_{\text{si, dop}})$ przyjmując maksymalną dopuszczalną wilgotność względną w sąsiedztwie powierzchni przegrody $\phi_{\text{si, max}} = 80\%$;

e) Określa się odpowiadającą ww. wilgotności minimalną dopuszczalną temperaturę powierzchni $\theta_{\text{si, dop}}$ i odpowiadający jej współczynnik temperaturowy $f_{\text{Rsi, dop}}$;

f) Sprawdza się spełnienie warunku $f_{\text{Rsi, min}} > f_{\text{Rsi, dop}}$

W odniesieniu do normalnych warunków w pomieszczeniach mieszkalnych dopuszczalną wartość współczynnika temperaturowego można przyjmować za równą około 0,7. Wartości $f_{\text{Rsi, min}}$ liniowych mostków cieplnych powinny być znacznie wyższe, aby uzyskać „zapas” niezbędny w trójwymiarowych narożach przegród, w których dochodzi do dodatkowego obniżenia temperatury spowodowanego nakładaniem się oddziaływania mostków liniowych.

4. BUDYNEK WYKONANY W SYSTEMACH SILKA I YTONG – „ODPOWIEDŹ NA SŁABE MIEJSCA”

Ściany zewnętrzne budynków w technologiach SILKA i YTONG mogą być wykonane jako:

- jednowarstwowe w postaci muru z wyrobów YTONG, na zaprawie do cienkich spoin poziomych, bez spoin pionowych (tłaczanie na pióro-wpust),
- dwuwarstwowe w postaci muru z wyrobów YTONG lub SILKA z zewnętrzną warstwą izolacji cieplnej (bezsponinowy system ocieplania).

W asortymencie znajdują się wyroby murowe YTONG o szerokości (grubości muru): 200, 240, 300, 365, 400 mm oraz wyroby murowe SILKA o szerokości (grubości muru): 150, 180, 240 mm. Ta sama wysokość elementów murowych YTONG i SILKA umożliwia łączenie obu systemów.

W tablicy 5. zamieszczono wartości projektowe (obliczeniowe) współczynników przewodzenia ciepła wyrobów i murów systemów YTONG, SILKA, a w tablicach 6.1 i 6.2 wartości współczynnika przenikania ciepła wykonanych z nich ścian.

Jak wynika z zamieszczonych w tablicy 4., orientacyjnych wartości liniowych współczynników przenikania ciepła, miejscami charakteryzującymi się niższą jakością cieplną w budynkach są:

- wspornikowe płyty balkonowe w ścianie,
- połączenia ścian ze stropem nad piwnicą lub nieogrzewanym poddaszem czy połacią dachową,
- nadproża z wieńcami.

Tablica 5. Wartości projektowe (obliczeniowe) współczynników przewodzenia ciepła wyrobów i murów systemów YTONG, SILKA.

Poz.	Opis	Projektowa (obliczeniowa) wartość współczynnika przewodzenia ciepła $W/(m \cdot K)$
1	mur YTONG z wyrobów odmiany 0,35	0,095
2	mur YTONG z wyrobów odmiany 0,40	0,110
3	mur YTONG z wyrobów odmiany 0,60	0,160
4	zbrojony beton komórkowy w nadprożach YTONG	0,190
5	zbrojony beton komórkowy w płytach YTONG – odmiana 0,55	0,170
6	mur SILKA z elementów murowych o gęstości brutto w stanie suchym około 1600 kg/m ³	0,8

Tablica 6.1. Wartości współczynników przenikania ciepła dla murów systemu YTONG

Poz.	Opis ściany	Współczynnik przenikania ciepła U ściany $W/(m^2 \cdot K)$
1	ściana zewnętrzna - mur YTONG o grubości 400 mm z elementów murowych odmiany 0,35	0,23
2	ściana zewnętrzna - mur YTONG o grubości 400 mm z elementów murowych odmiany 0,40	0,26
3	ściana zewnętrzna - mur YTONG o grubości 365 mm z elementów murowych odmiany 0,35	0,25
4	ściana zewnętrzna - mur YTONG o grubości 365 mm z elementów murowych odmiany 0,40	0,28

Tablica 6.2. Wartości współczynników przenikania ciepła dla murów systemów YTONG, SILKA

Poz.	Opis ściany	Współczynnik przenikania ciepła U ściany $W/(m^2 \cdot K)$			
		grubość izolacji cieplnej ($\lambda = 0,042 W/(m \cdot K)$), cm			
		10	12	15	20
1	ściana zewnętrzna - mur YTONG o grubości 300 mm z elementów murowych odmiany 0,40	0,19	0,17	0,15	0,13
2	ściana zewnętrzna - mur YTONG o grubości 240 mm z elementów murowych odmiany 0,60	0,24	0,22	0,19	0,15
3	ściana zewnętrzna - mur YTONG o grubości 200 mm z elementów murowych odmiany 0,60	0,26	0,23	0,20	0,16
4	ściana zewnętrzna - mur SILKA o grubości 240 mm	0,35	0,30	0,25	0,19
5	ściana zewnętrzna - mur SILKA o grubości 180 mm	0,36	0,30	0,25	0,19
6	ściana zewnętrzna - mur SILKA o grubości 150 mm	0,36	0,31	0,25	0,19

W systemie YTONG stosowane są następujące wyroby redukujące mostki cieplne w takich miejscach:

- płyty ze zbrojonego betonu komórkowego (stosowane jako płyty balkonowe, stropowe, dachowe),
- nadproża ze zbrojonego betonu komórkowego,
- elementy docieplenia wieńca (błoczek z betonu komórkowego z izolacją cieplną).

Dzięki ich zastosowaniu uzyskuje się:

- korzystne z uwagi na zmniejszenie strat ciepła, niskie wartości liniowych współczynników przenikania ciepła ($\Psi_{\max} = 0,18 W/(m \cdot K)$),
- wysokie temperatury wewnętrznej powierzchni przegród (zmniejszenie ryzyka powierzchniowej kondensacji pary wodnej oraz w konsekwencji pojawienia się i roz-

woju zagrzybienia] – rozkłady temperatury w wybranych połączeniach przegród wykonanych z wyrobów YTONG i SILKA zamieszczono w katalogu.

5. KATALOG MOSTKÓW CIEPLNYCH

W katalogu mostków cieplnych zamieszczono wyniki obliczeń cieplnych w odniesieniu do reprezentatywnych rozwiązań technicznych połączeń przegród z zastosowaniem wymienionych wyrobów, w ścianach wykonanych w systemach YTONG, SILKA.

Zestawienie rodzajów mostków cieplnych zamieszczonych w kartach katalogowych podano w tablicy 7.

Tablica 7. Zestawienie kart katalogowych

Nr karty	Opis	Strona
1-8	Naroża wypukłe ścian YTONG i SILKA	17-24
9-16	Połączenie ściany zewnętrznej z fundamentową – YTONG i SILKA	25-32
17-24	Połączenie ściany zewnętrznej ze stropem międzykondygnacyjnym – YTONG i SILKA	33-40
25-32	Oparcie dachu z płyt YTONG na ścianie zewnętrznej – YTONG i SILKA	41-48
33-40	Płyty balkonowe z płyt YTONG w ścianach YTONG i SILKA	49-56
41-48	Nadproża ze zbrojonego betonu komórkowego YTONG w ścianach YTONG i SILKA	57-64

1. Naroże wypukłe ścian jednowarstwowych YTONG o grubości 400 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

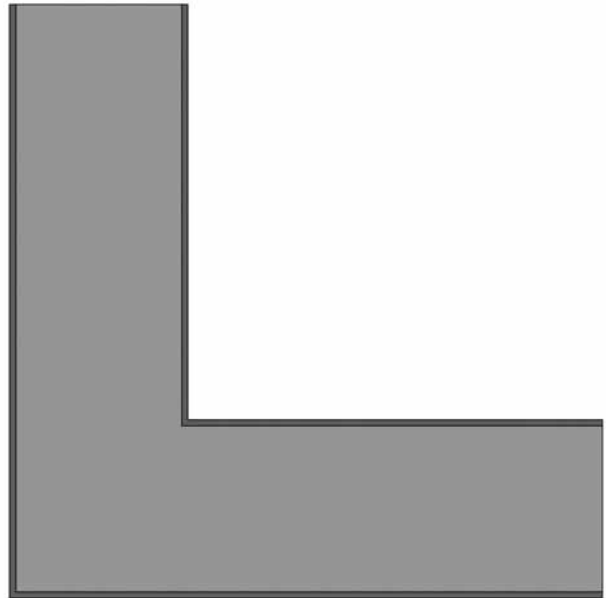
$f_{Rsi,min} = 0,89$ – odmiana 0,35

$f_{Rsi,min} = 0,87$ – odmiana 0,40

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

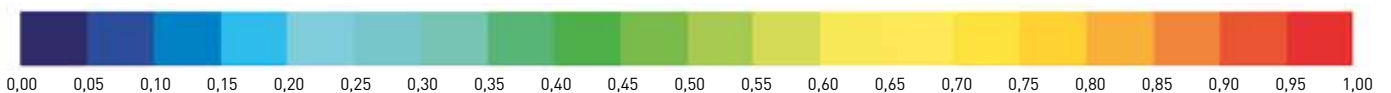
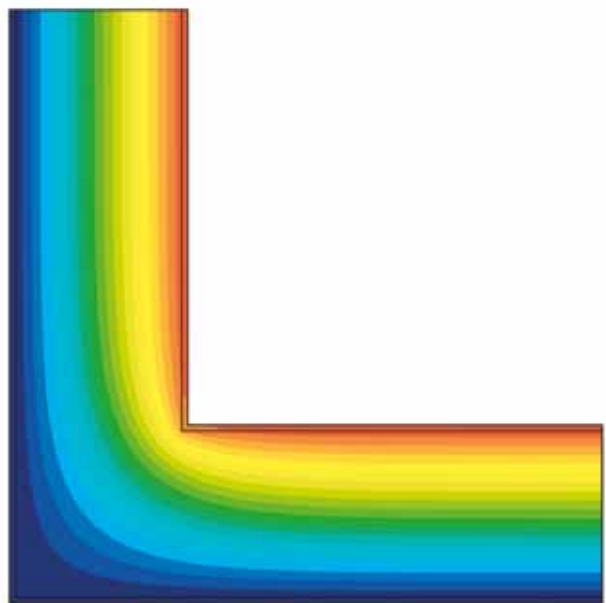
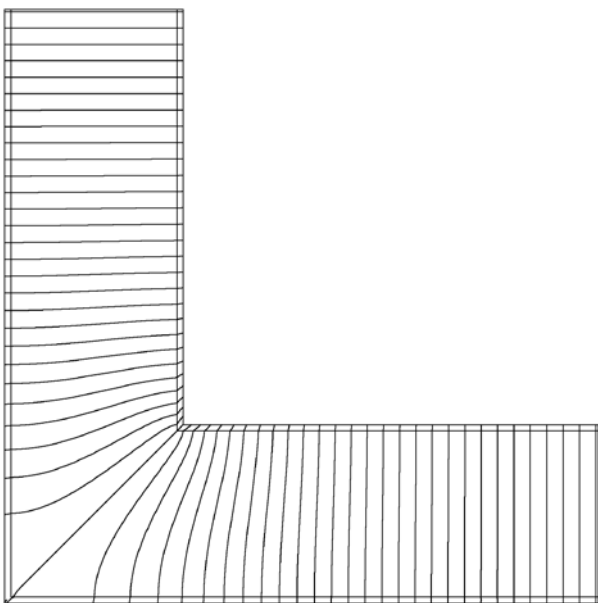
$\Psi = -0,14 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – odmiana 0,35

$\Psi = -0,16 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – odmiana 0,40



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



2. Naroże wypukłe ścian jednowarstwowych YTONG o grubości 365 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

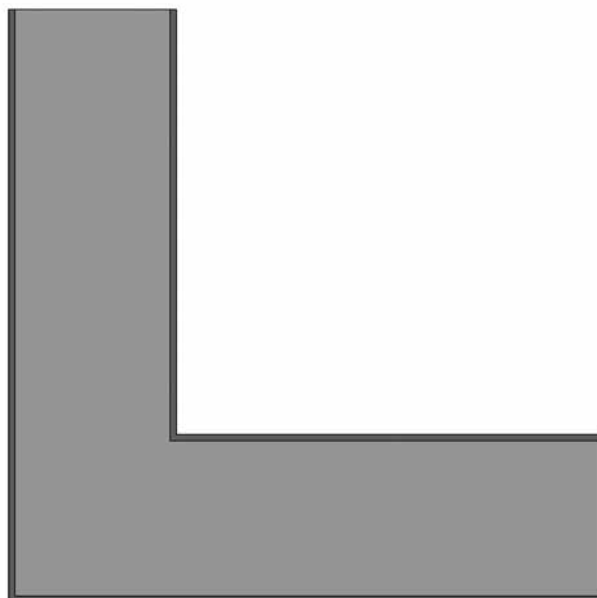
$f_{Rsi,min} = 0,88$ – odmiana 0,35

$f_{Rsi,min} = 0,86$ – odmiana 0,40

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

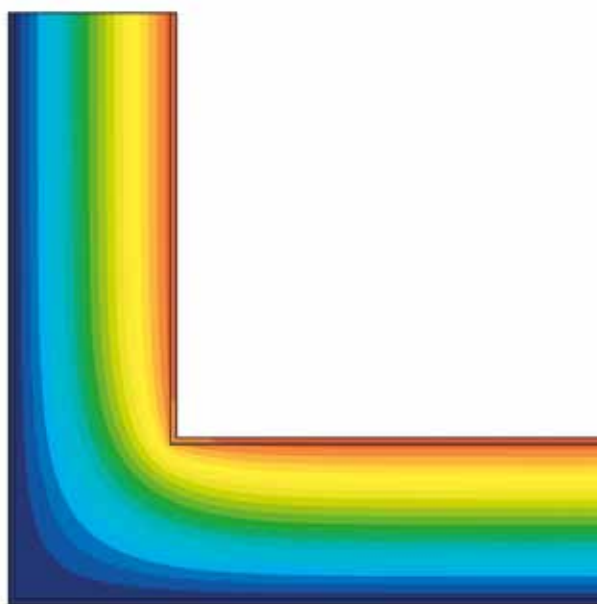
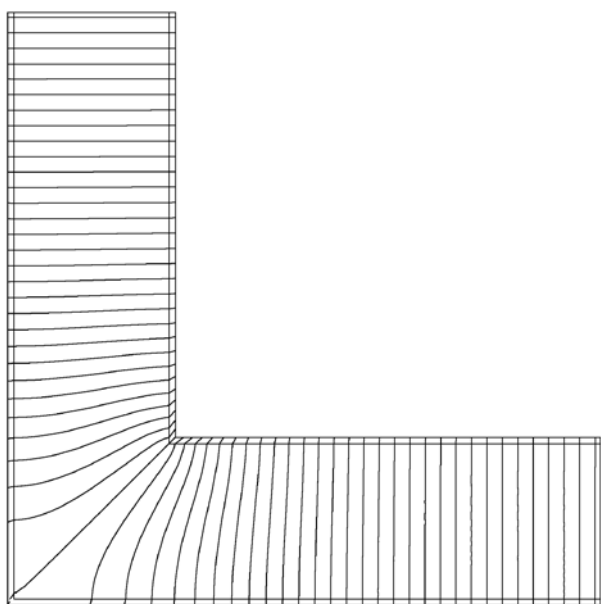
$\Psi = -0,14 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – odmiana 0,35

$\Psi = -0,16 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – odmiana 0,40



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



3. Naroże wypukłe ścian dwuwarstwowych, mur YTONG o grubości 300 mm z zewnętrzną warstwą izolacji cieplnej

Charakterystyka jakości cieplnej:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,90$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

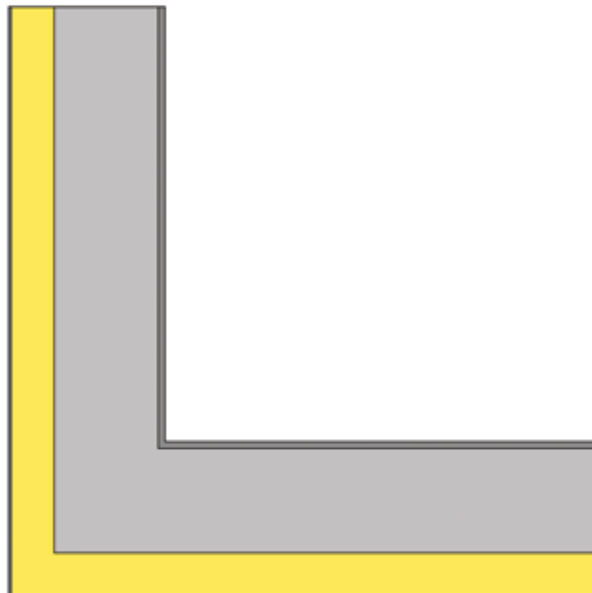
$f_{Rsi,min} = 0,92$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

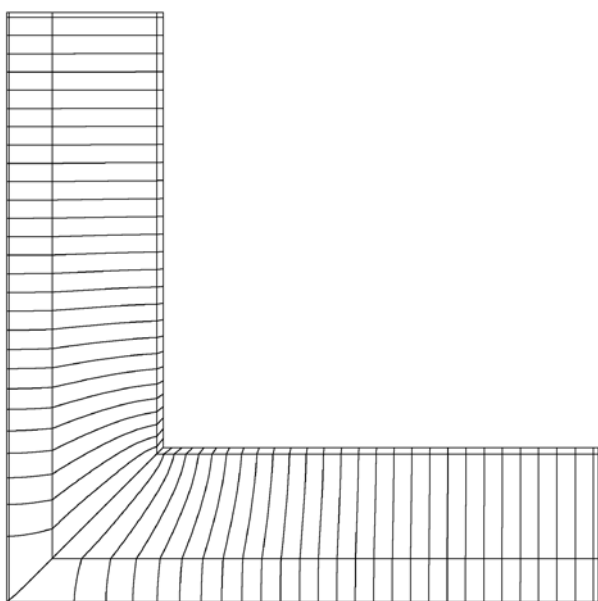
$\Psi = -0,10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

$\Psi = -0,08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

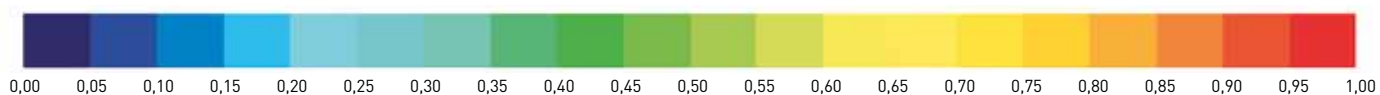
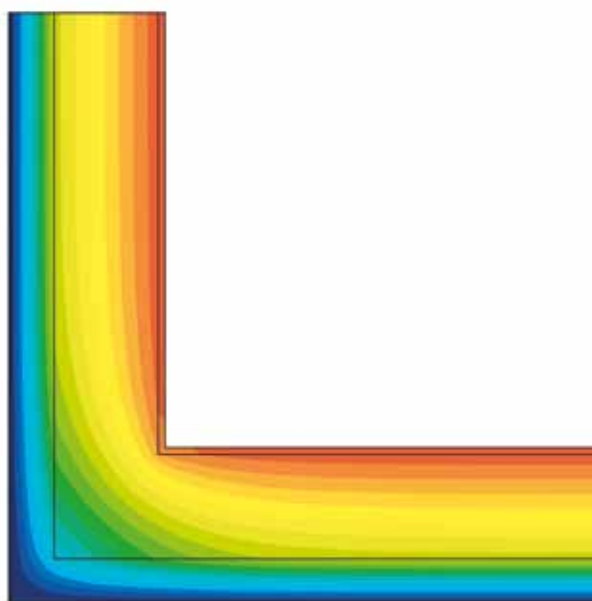
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



4. Naroże wypukłe ścian dwuwarstwowych, mur YTONG o grubości 240 mm z zewnętrzną warstwą izolacji cieplnej

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

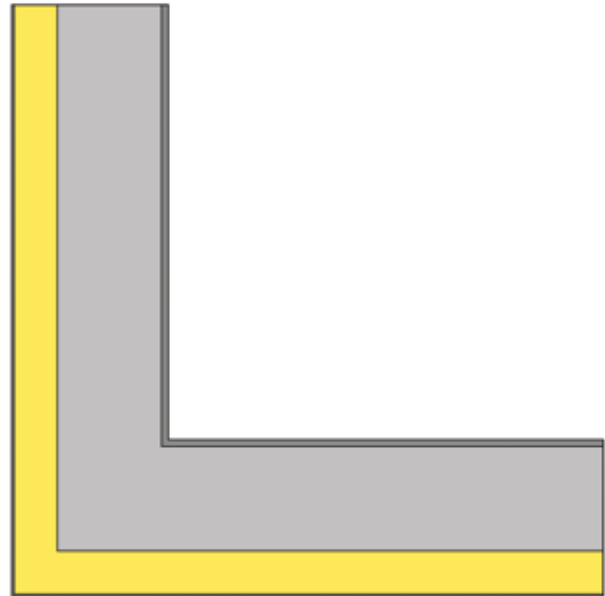
$f_{Rsi,min} = 0,87$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

$f_{Rsi,min} = 0,91$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

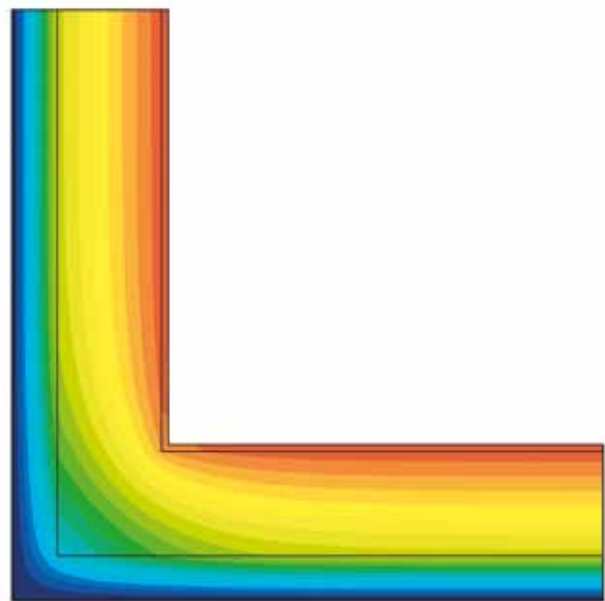
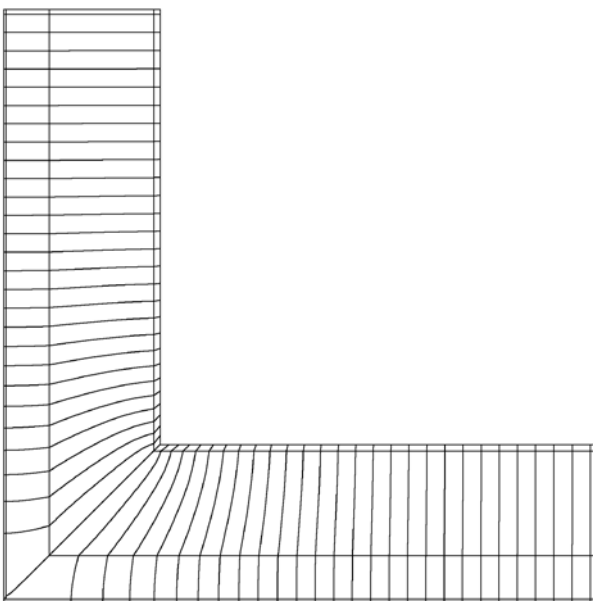
$\Psi = -0,10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

$\Psi = -0,08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



5. Naroże wypukłe ścian dwuwarstwowych, mur SILKA o grubości 240 mm z zewnętrzną warstwą izolacji cieplnej

Charakterystyka jakości cieplnej:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,84$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

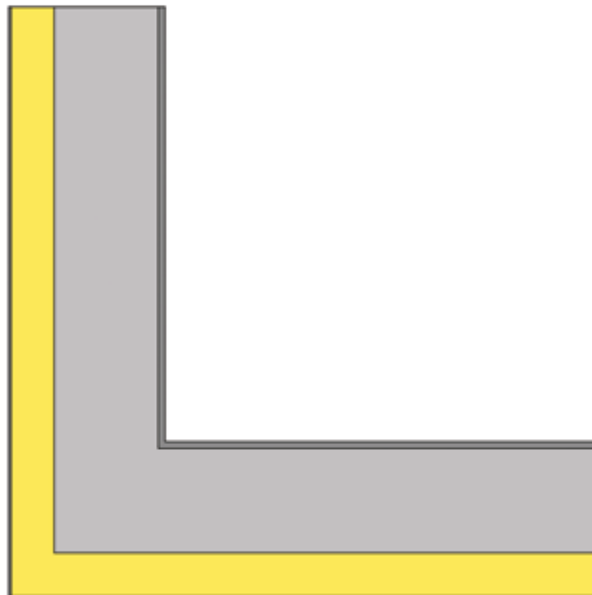
$f_{Rsi,min} = 0,90$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

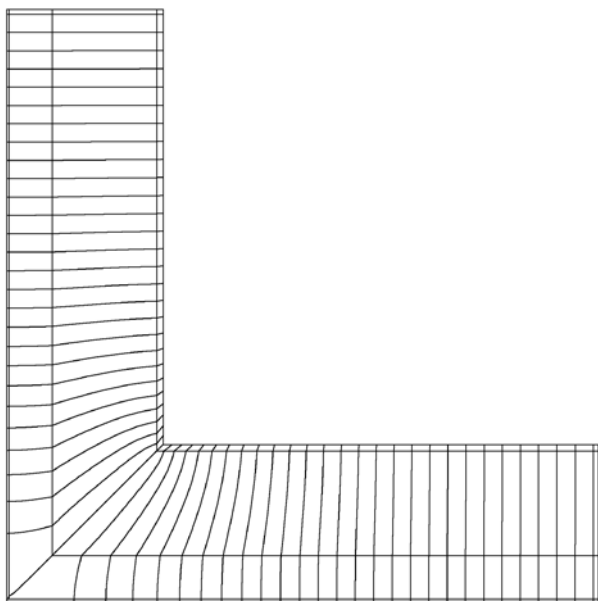
$\Psi = -0,11 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

$\Psi = -0,08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

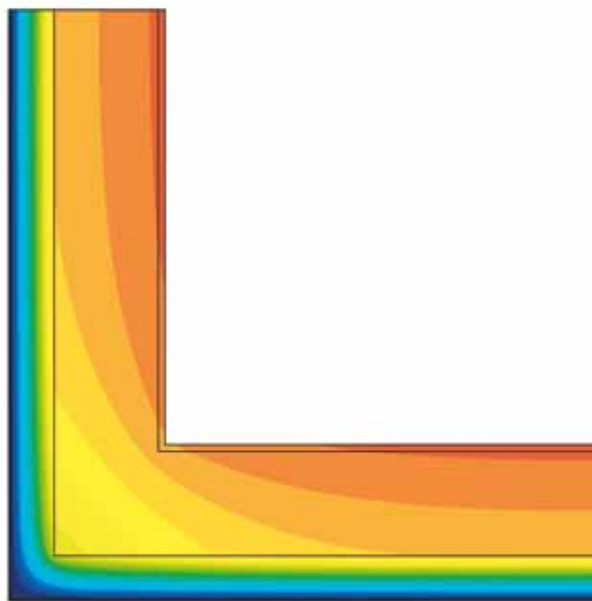
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



6. Naroże wypukłe ścian dwuwarstwowych, mur YTONG o grubości 200 mm z zewnętrzną warstwą izolacji cieplnej

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

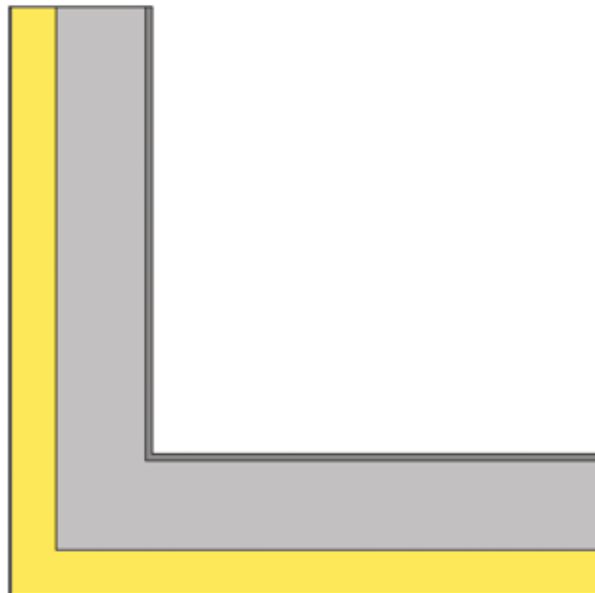
$f_{Rsi,min} = 0,87$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

$f_{Rsi,min} = 0,91$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

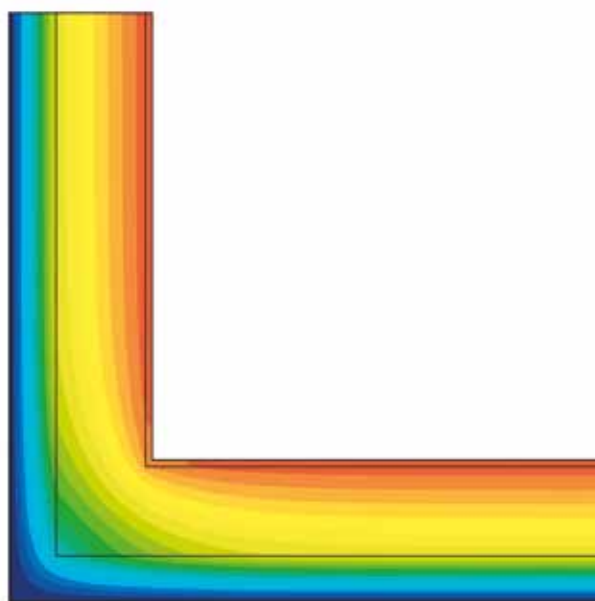
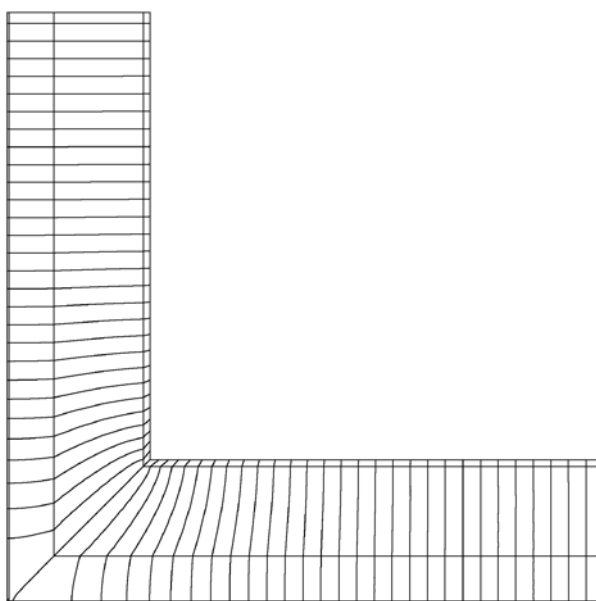
$\Psi = -0,10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

$\Psi = -0,08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



7. Naroże wypukłe ścian dwuwarstwowych, mur SILKA o grubości 180 mm z zewnętrzną warstwą izolacji cieplnej

Charakterystyka jakości cieplnej:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,84$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

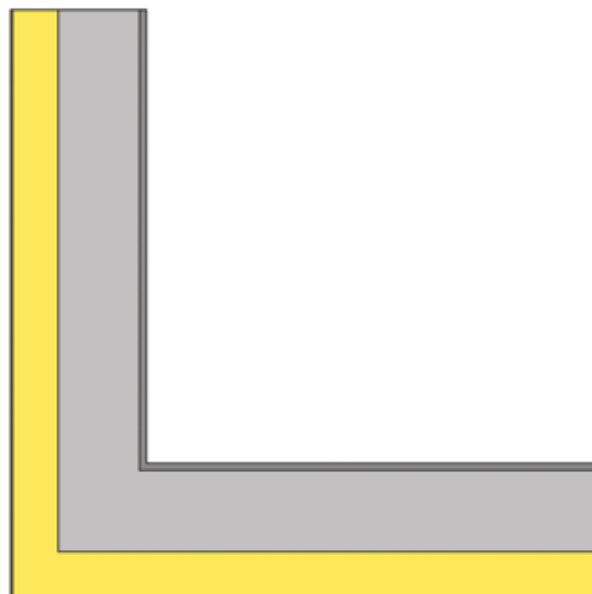
$f_{Rsi,min} = 0,90$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

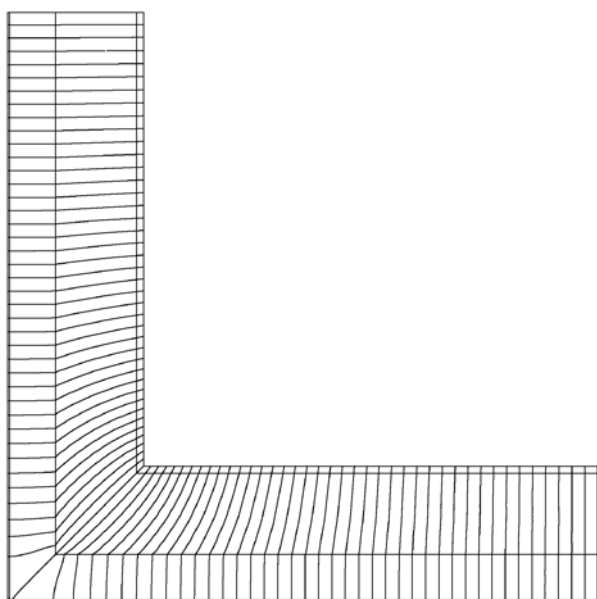
$\Psi = -0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

$\Psi = -0,07 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

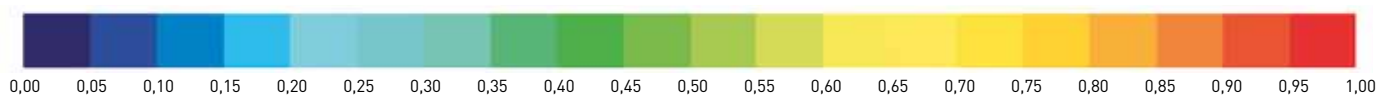
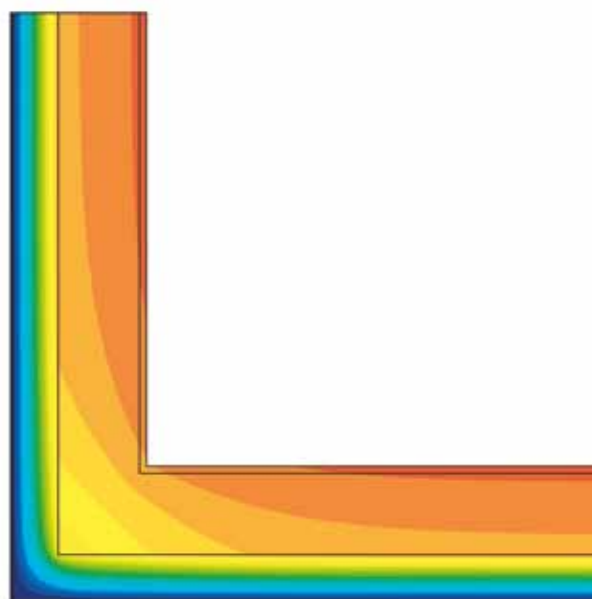
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



8. Naroże wypukłe ścian dwuwarstwowych, mur SILKA o grubości 150 mm z zewnętrzną warstwą izolacji cieplnej

Charakterystyka jakości cieplnej:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,84$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

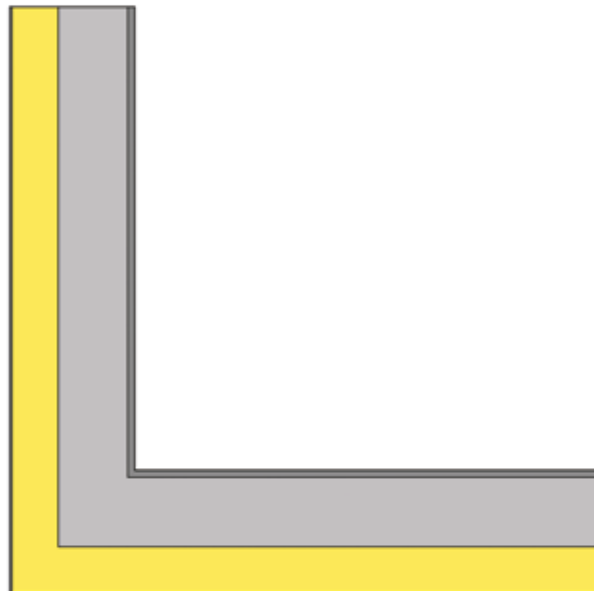
$f_{Rsi,min} = 0,91$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

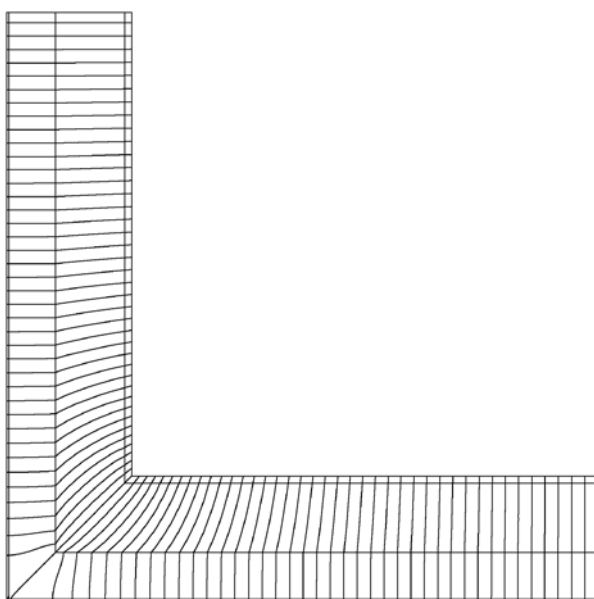
$\Psi = -0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 100 cm

$\Psi = -0,07 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. izolacji cieplnej 200 cm

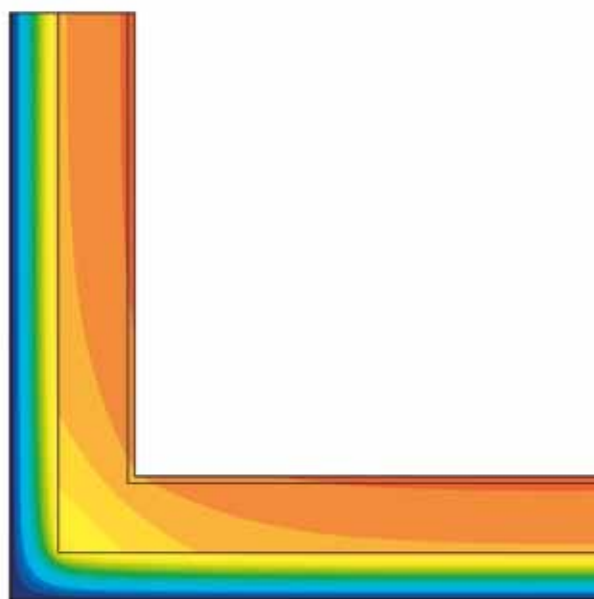
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



9. Połączenie ściany jednowarstwowej YTONG o grubości 400 mm ze ścianą fundamentową SILKA

Charakterystyka jakości cieplnej:

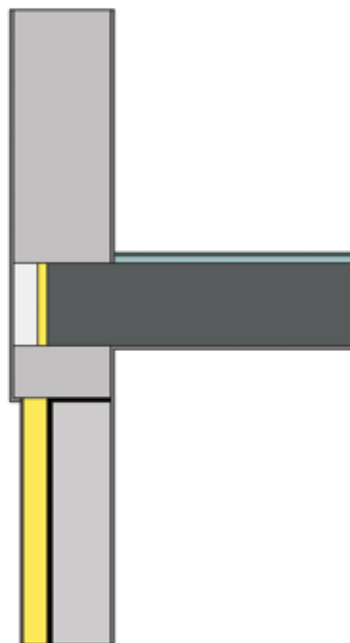
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,90$$

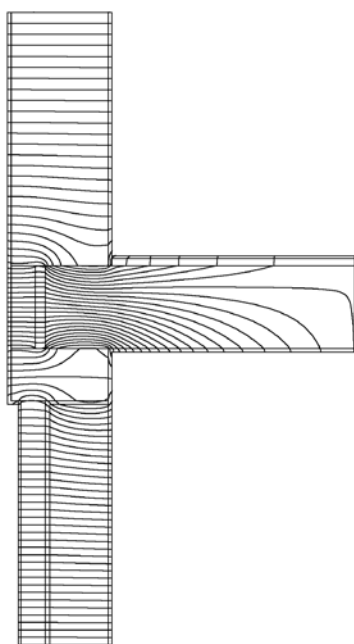
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

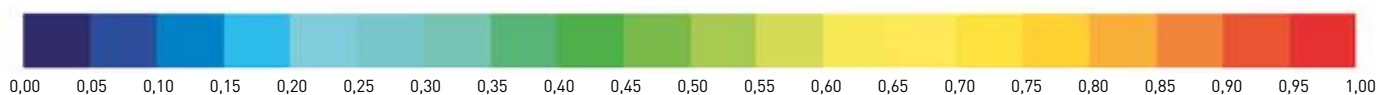
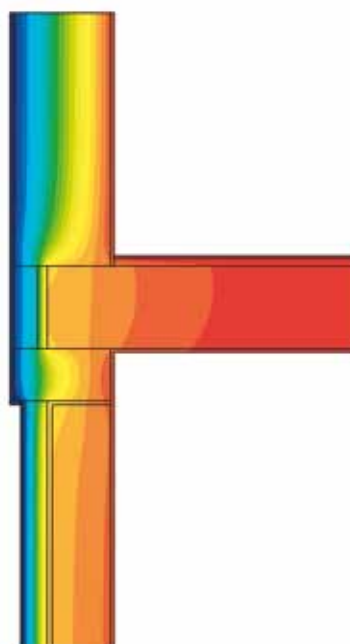
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



10. Połączenie ściany jednowarstwowej YTONG o grubości 365 mm ze ścianą fundamentową SILKA

Charakterystyka jakości cieplnej:

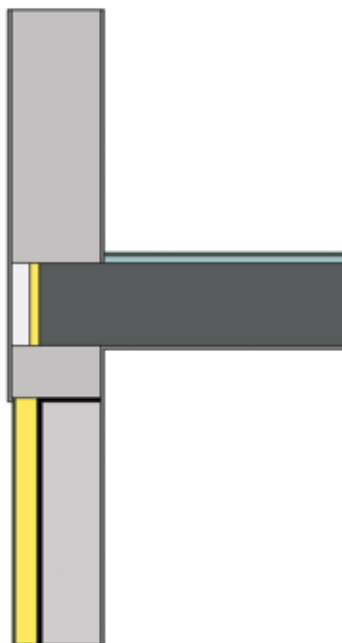
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,90$$

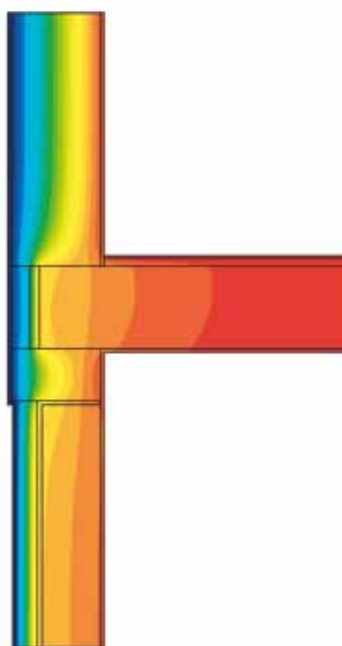
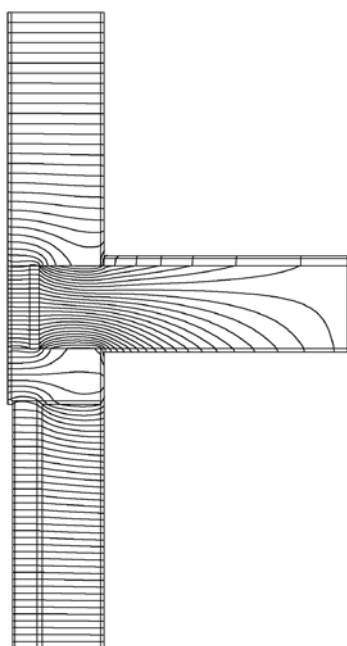
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,17 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



11. Połączenie ściany jednowarstwowej YTONG o grubości 300 mm ze ścianą fundamentową SILKA

Charakterystyka jakości cieplnej:

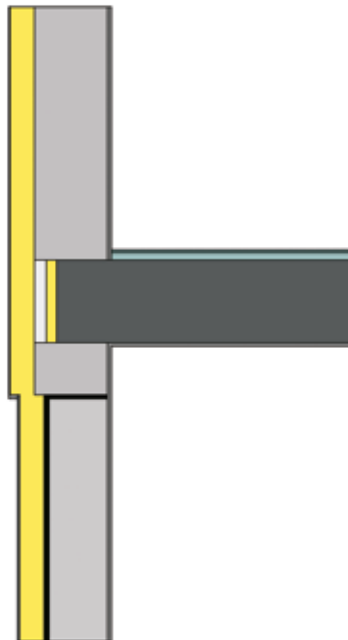
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,92$$

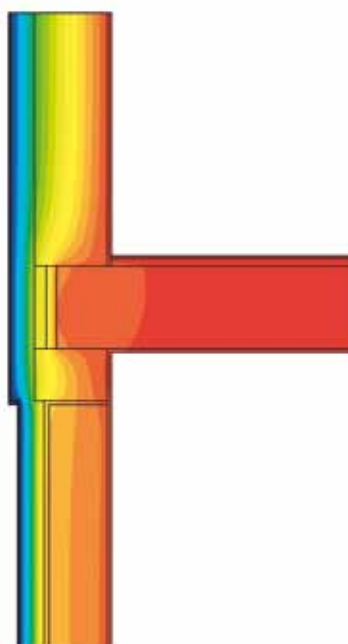
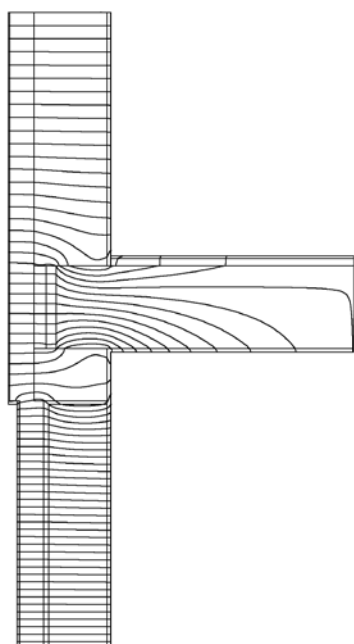
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



12. Połączenie ściany dwuwarstwowej YTONG o grubości 240 mm ze ścianą fundamentową SILKA

Charakterystyka jakości cieplnej:

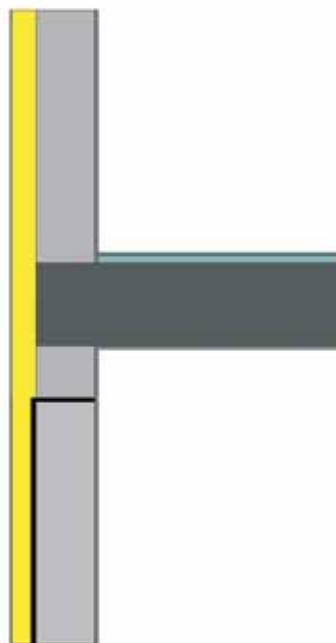
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,90$$

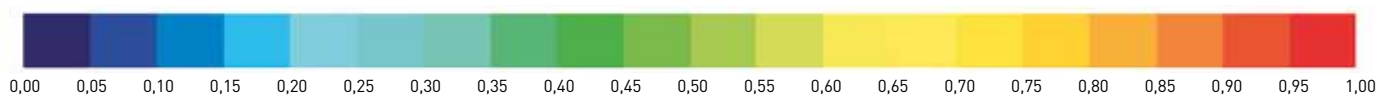
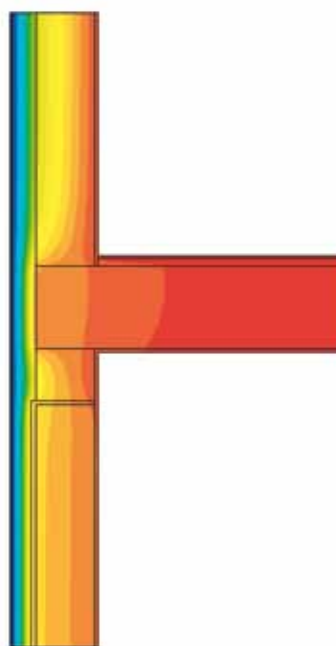
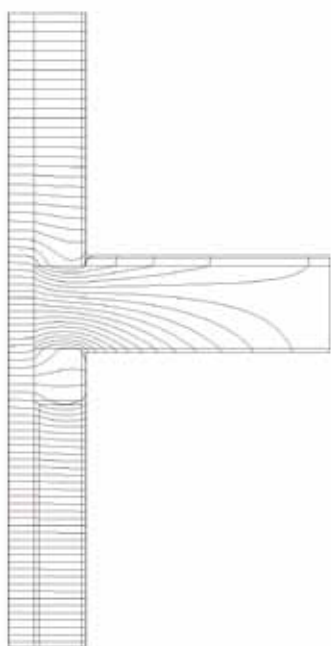
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,06 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



13. Połączenie ściany dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 240 mm ze ścianą fundamentową SILKA

Charakterystyka jakości cieplnej:

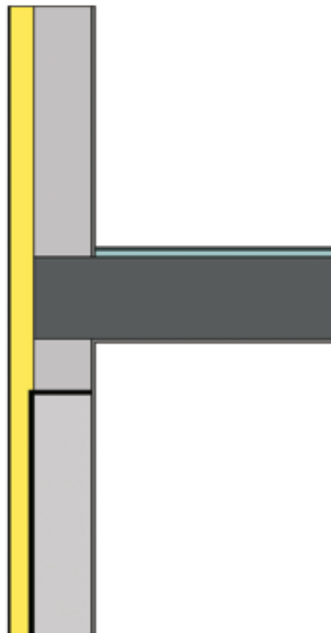
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,90$$

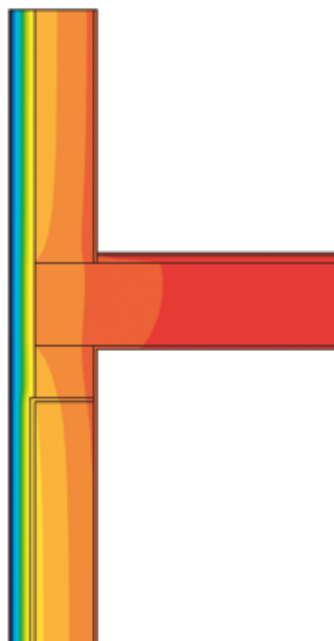
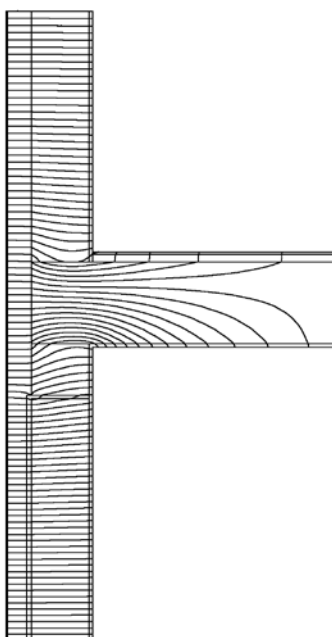
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



14. Połączenie ściany dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 200 mm ze ścianą fundamentową SILKA

Charakterystyka jakości cieplnej:

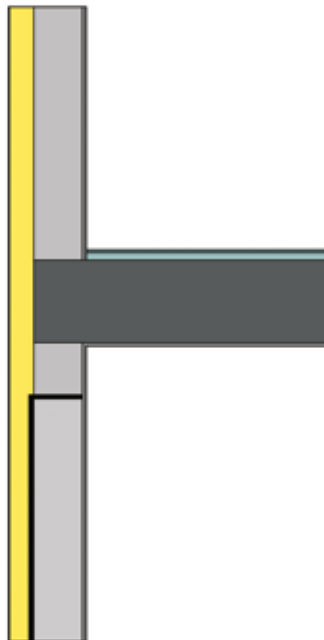
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,91$$

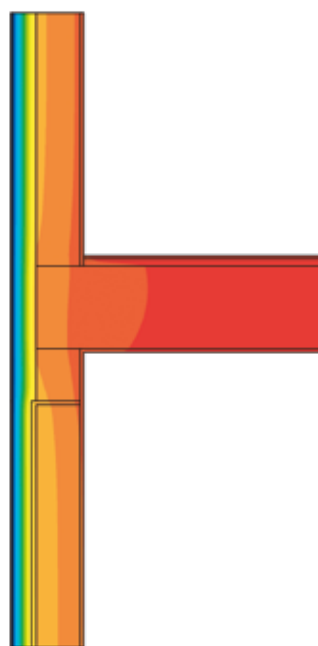
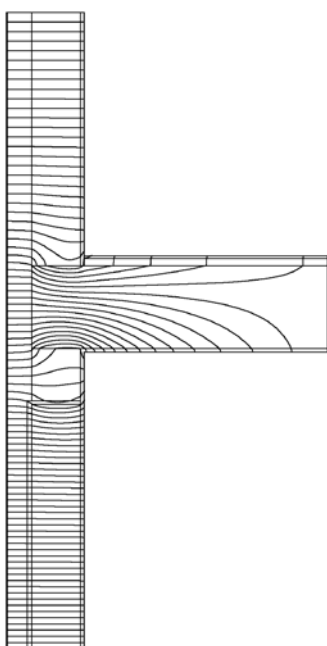
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,06 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



15. Połączenie ściany dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 180 mm ze ścianą fundamentową SILKA

Charakterystyka jakości cieplnej:

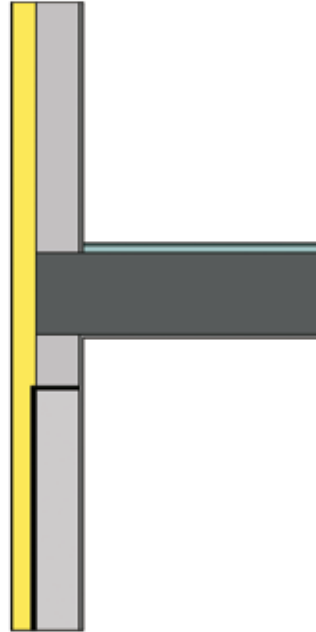
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,90$$

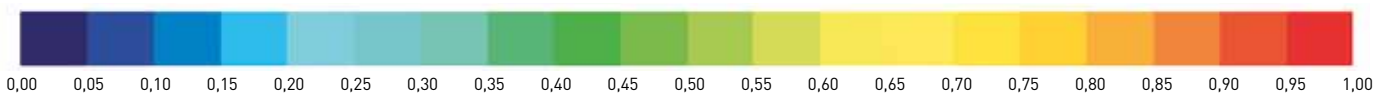
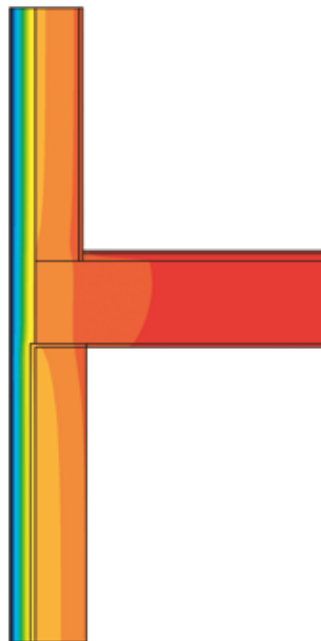
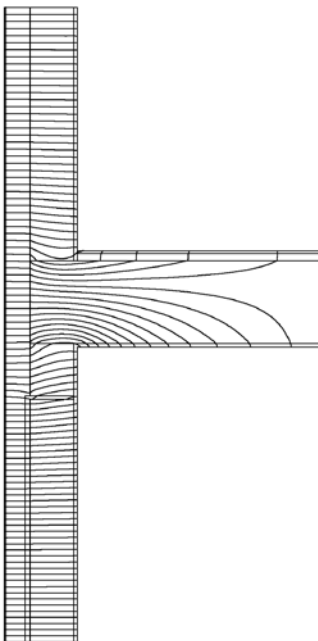
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



16. Połączenie ściany dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 150 mm ze ścianą fundamentową SILKA

Charakterystyka jakości cieplnej:

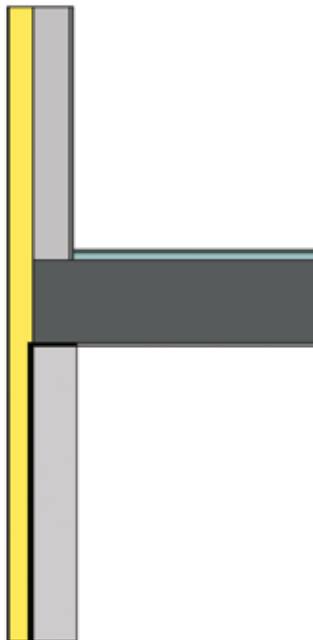
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,90$$

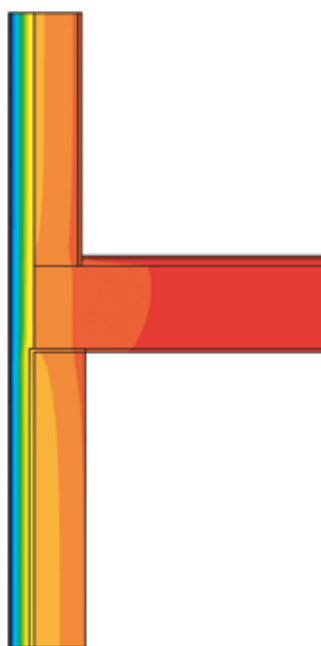
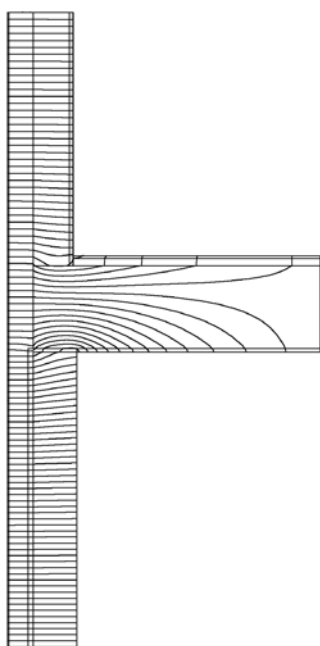
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



17. Połączenie ściany jednowarstwowej YTONG o grubości muru 400 mm ze stropem międzykondygnacyjnym

Charakterystyka jakości cieplnej:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

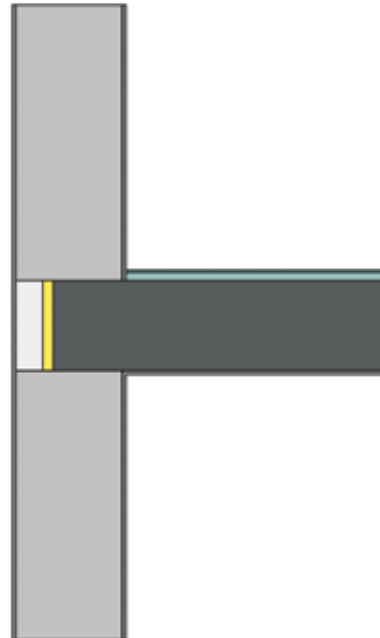
$$f_{Rsi,min} = 0,90$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

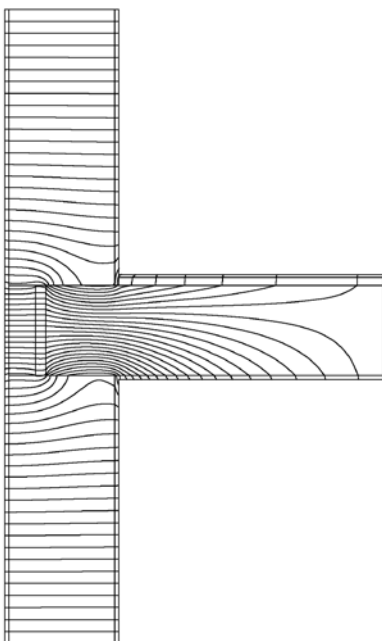
$\Psi = 0,10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 160 mm

$\Psi = 0,11 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 340 mm

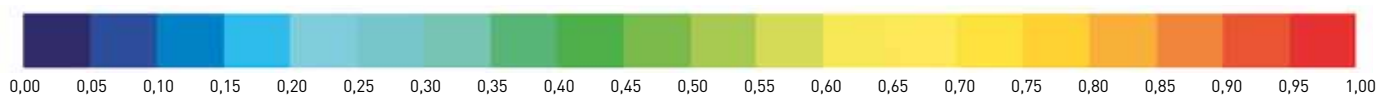
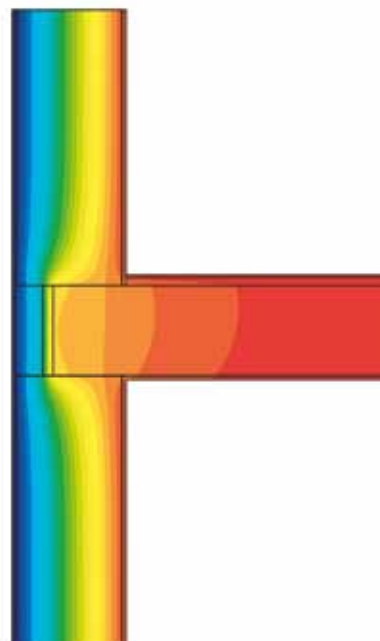
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



18. Połączenie ściany jednowarstwowej YTONG o grubości muru 365 mm ze stropem międzykondygnacyjnym

Charakterystyka jakości cieplnej:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

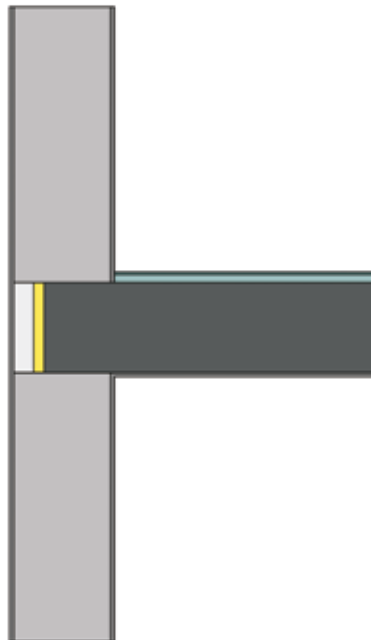
$$f_{Rsi,min} = 0,89$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

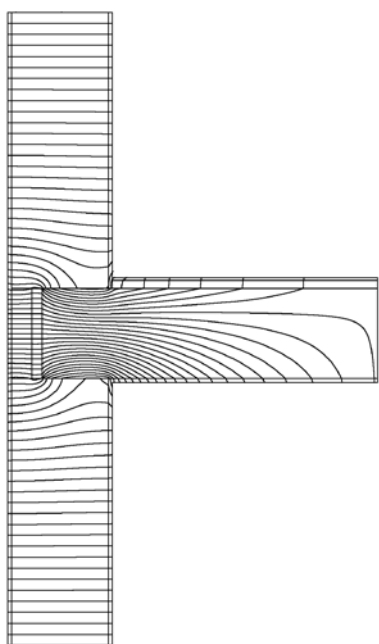
$\Psi = 0,11 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 160 mm

$\Psi = 0,13 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 340 mm

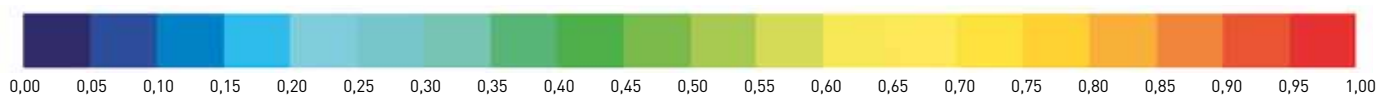
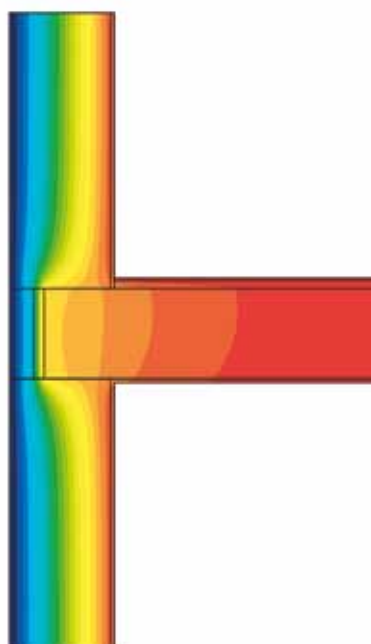
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



19. Połączenie ściany dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 300 mm ze stropem międzykondygnacyjnym

Charakterystyka jakości cieplnej:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,93$ – bez elementu docieplenia wieńca

$f_{Rsi,min} = 0,94$ – z elementem docieplenia wieńca

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

gr. płyty stropowej 160 mm:

$\Psi = 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – z elementem docieplenia wieńca

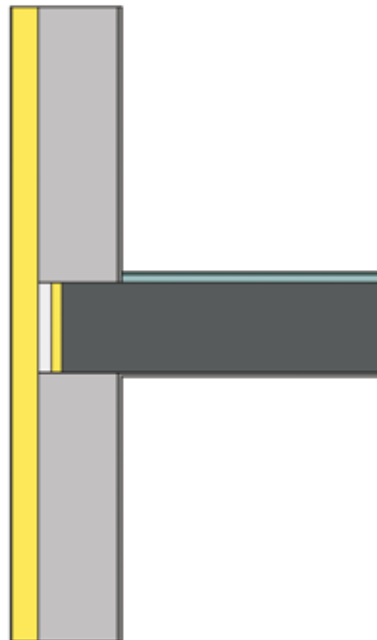
$\Psi = 0,07 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – bez elementu docieplenia wieńca

gr. płyty stropowej 340 mm:

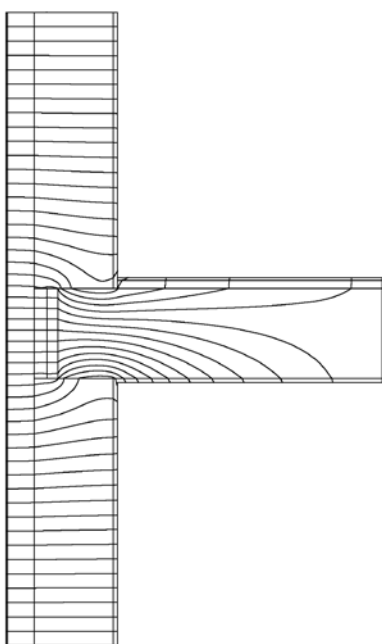
$\Psi = 0,07 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – z elementem docieplenia wieńca

$\Psi = 0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – bez elementu docieplenia wieńca

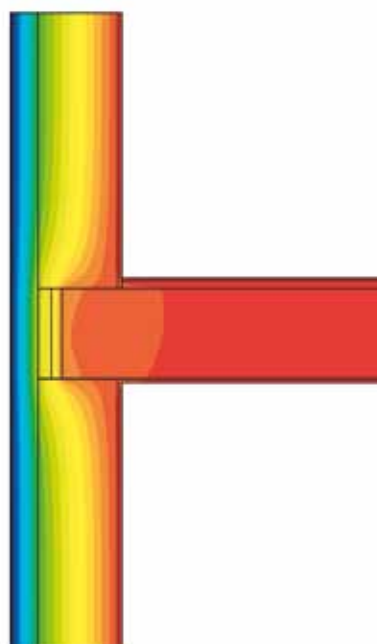
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



20. Połączenie ściany dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 240 mm ze stropem międzykondygnacyjnym

Charakterystyka jakości cieplnej:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

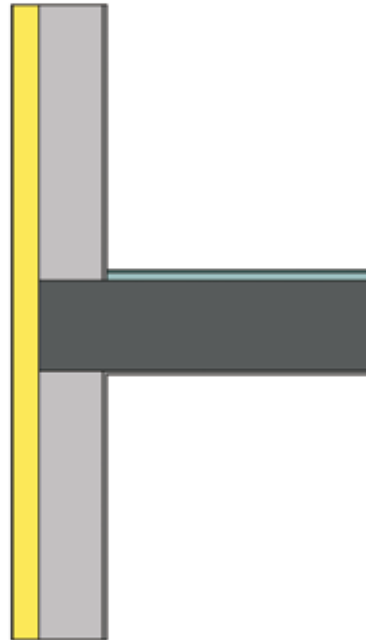
$$f_{Rsi,min} = 0,92$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

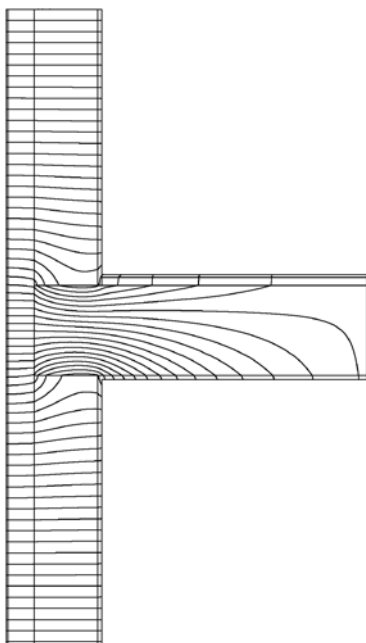
$\Psi = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 160 mm

$\Psi = 0,06 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 340 mm

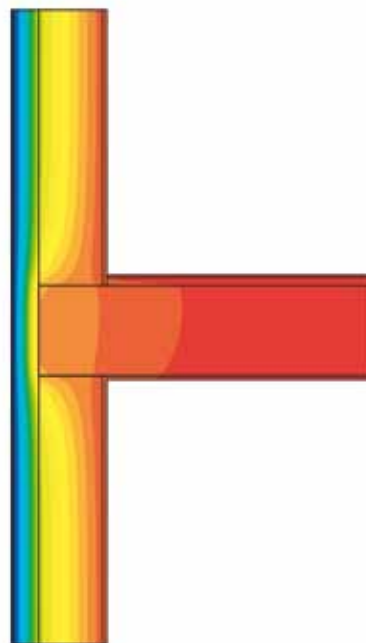
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



21. Połączenie ściany dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 240 mm ze stropem międzykondygnacyjnym

Charakterystyka jakości cieplnej:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

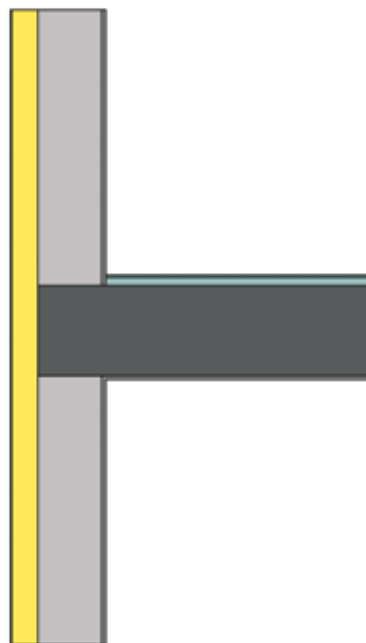
$$f_{Rsi,min} = 0,92$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

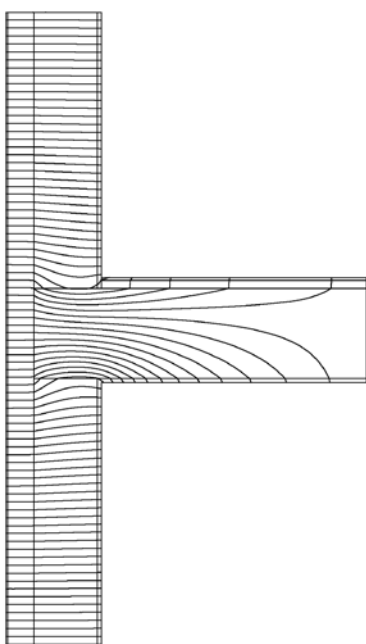
$\Psi = 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 160 mm

$\Psi = 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 340 mm

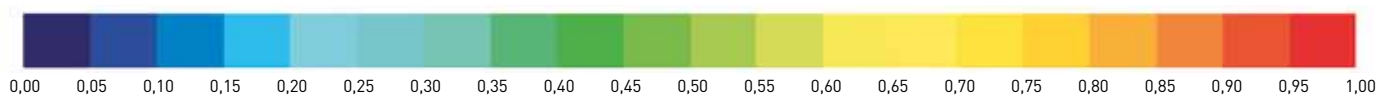
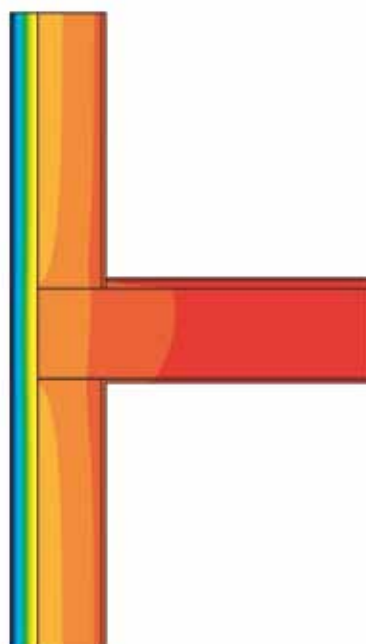
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



22. Połączenie ściany dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 200 mm ze stropem międzykondygnacyjnym

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

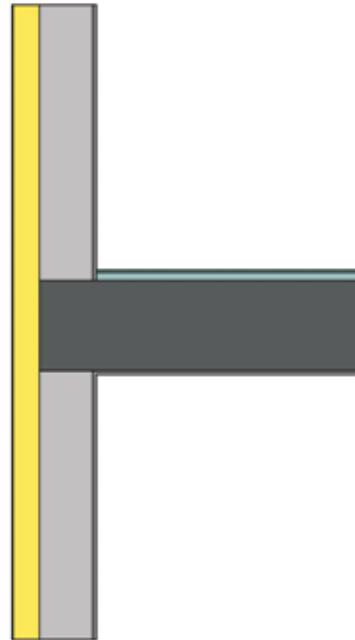
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,93$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

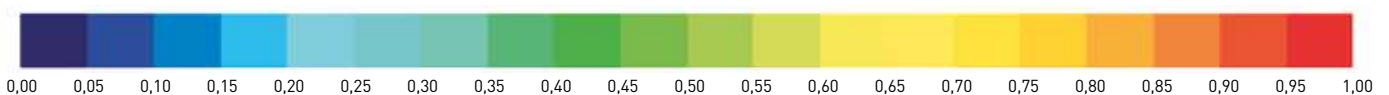
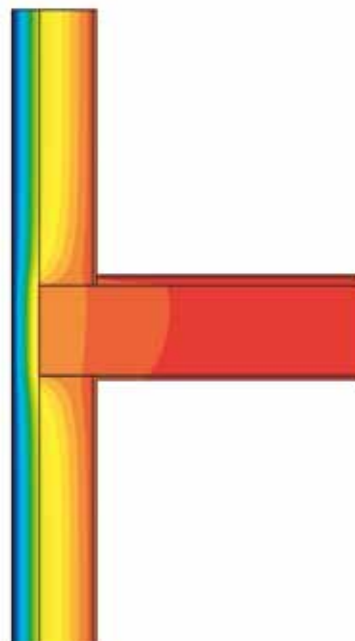
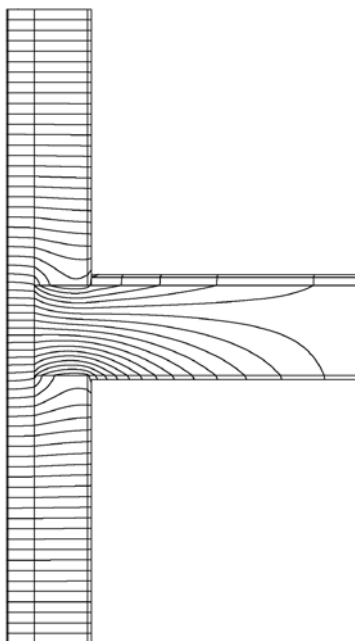
$\Psi = 0,03 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 160 mm

$\Psi = 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 340 mm



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



23. Połączenie ściany dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 180 mm ze stropem międzykondygnacyjnym

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

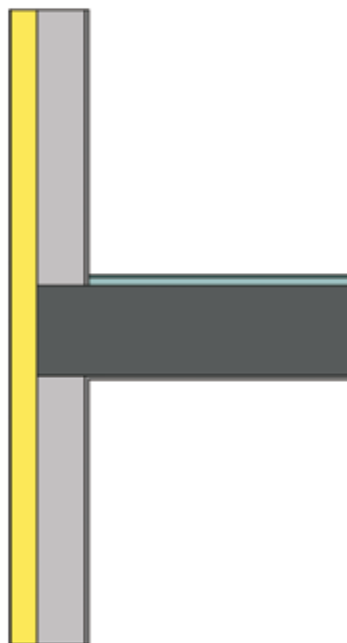
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,91$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

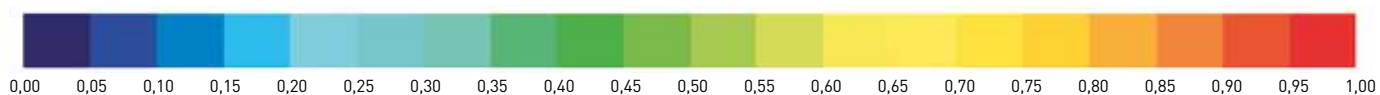
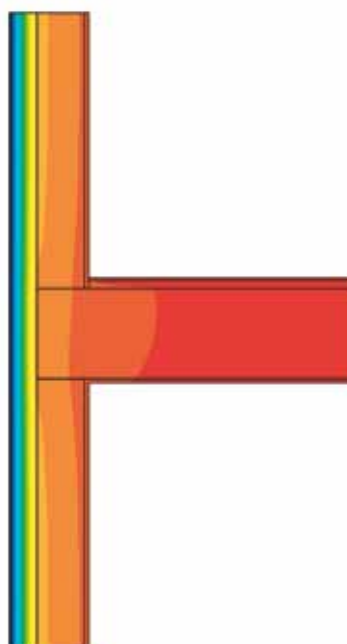
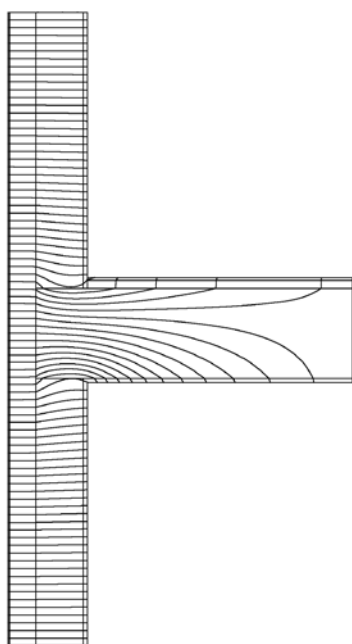
$\Psi = 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 160 mm

$\Psi = 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 340 mm



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



24. Połączenie ściany dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 150 mm ze stropem międzykondygnacyjnym

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

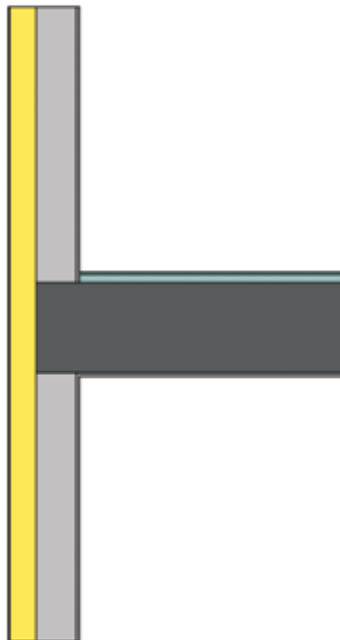
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,91$$

Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

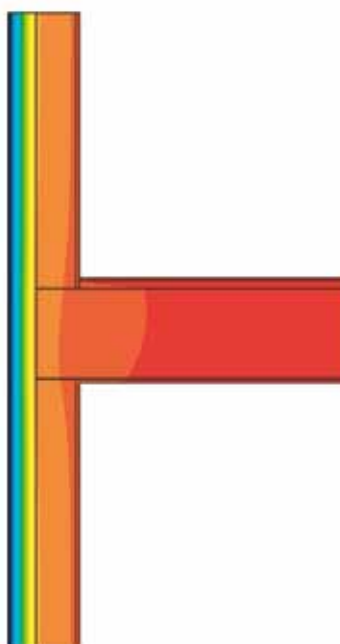
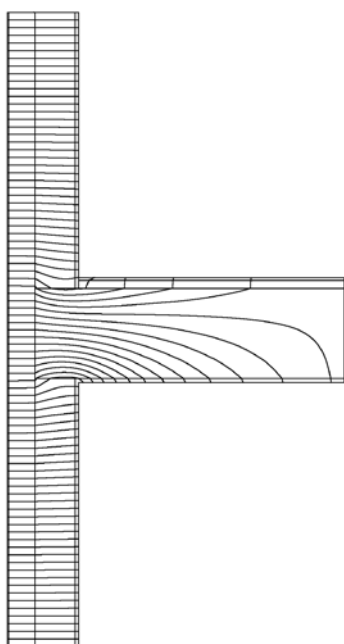
$\Psi = 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 160 mm

$\Psi = 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ – gr. płyty stropowej 340 mm



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



25. Oparcie dachu z płyt YTONG z izolacją cieplną na ścianie jednowarstwowej YTONG o grubości muru 400 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

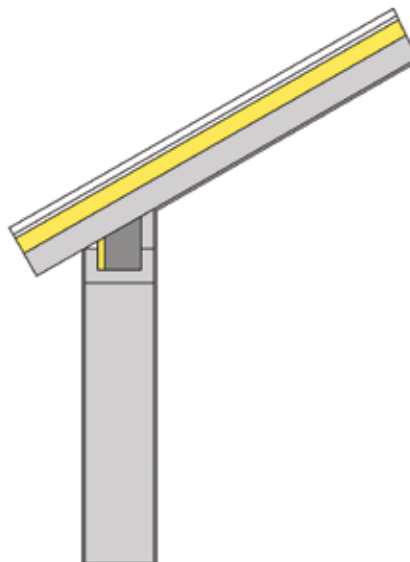
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,88$$

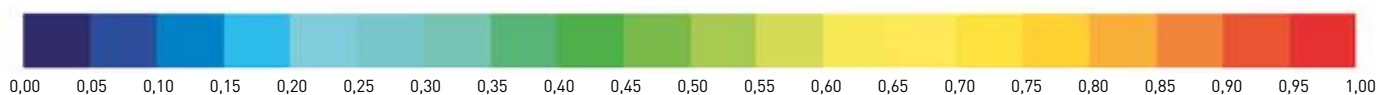
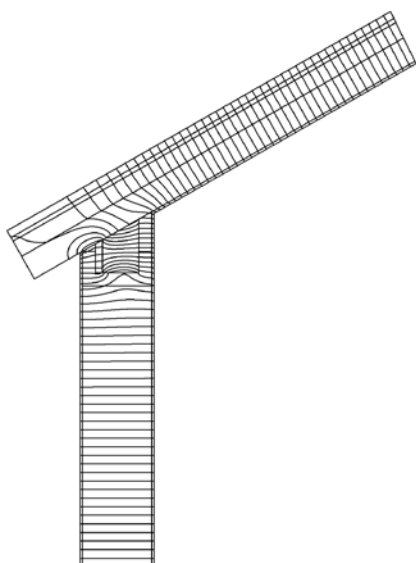
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



26. Oparcie dachu z płyt YTONG z izolacją cieplną na ścianie jednowarstwowej YTONG o grubości muru 365 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

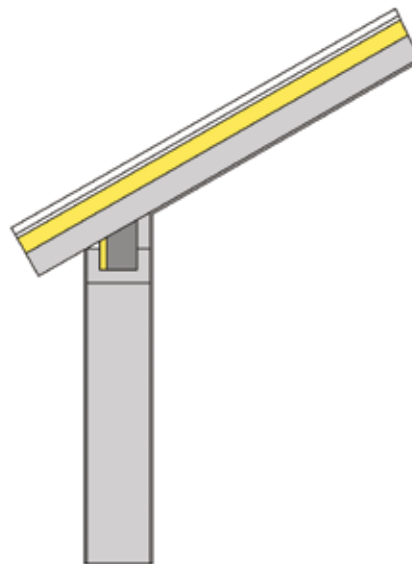
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,87$$

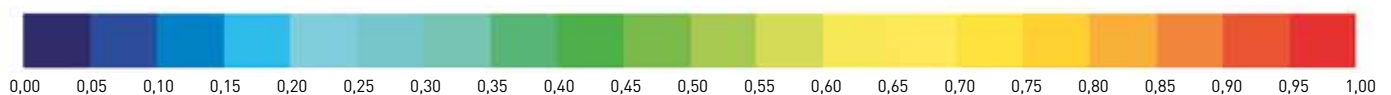
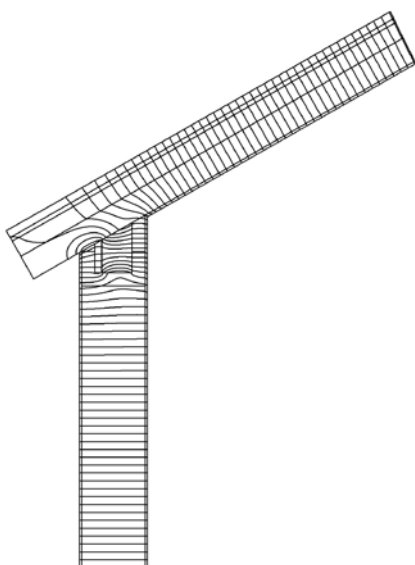
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



27. Oparcie dachu z płyt YTONG z izolacją cieplną na ścianie dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 300 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

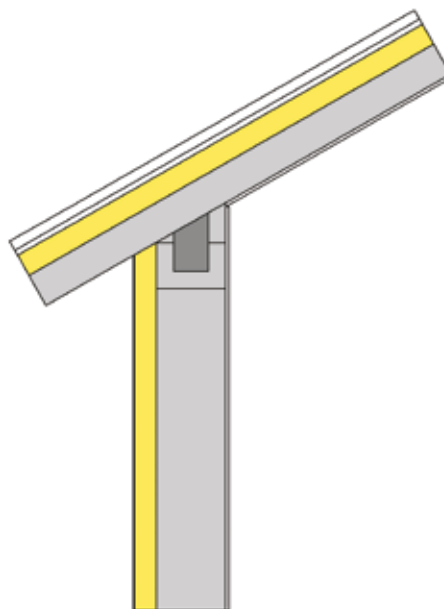
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,90$$

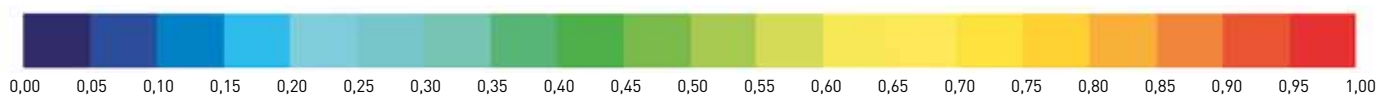
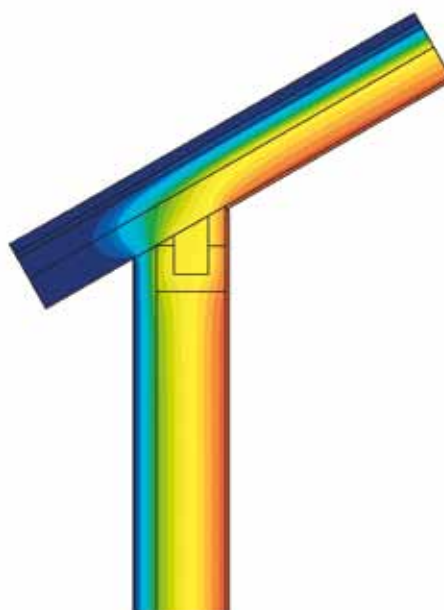
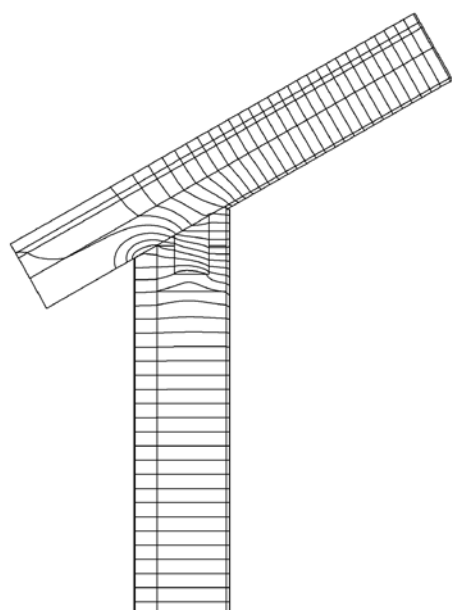
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



28. Oparcie dachu z płyt YTONG z izolacją cieplną na ścianie dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 240 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

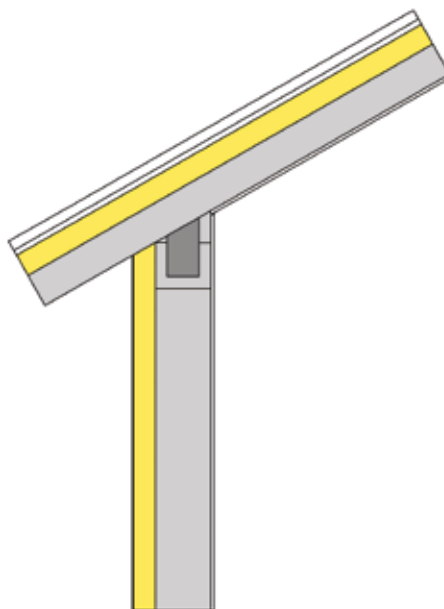
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,89$$

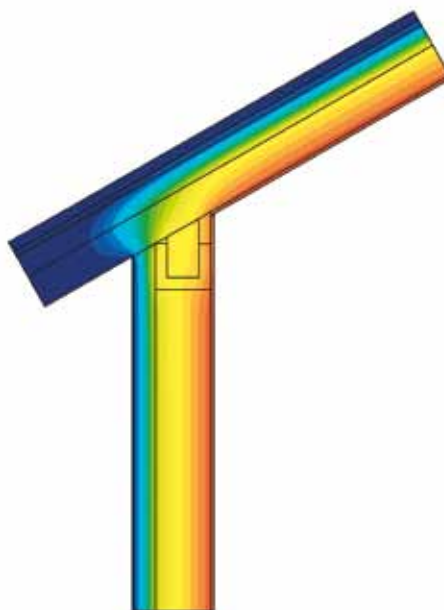
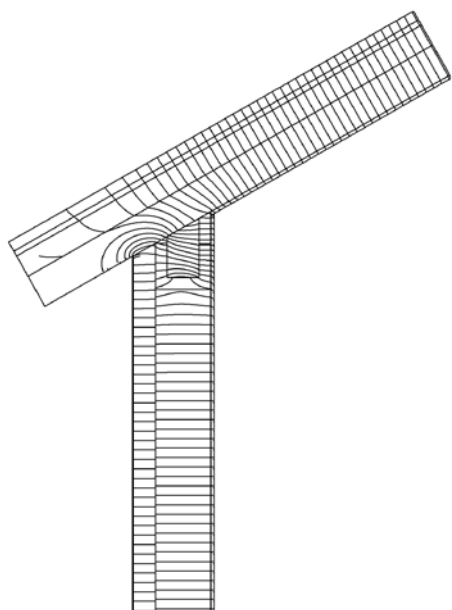
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



29. Oparcie dachu z płyt YTONG z izolacją cieplną na ścianie jednowarstwowej SILKA o grubości muru 240 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

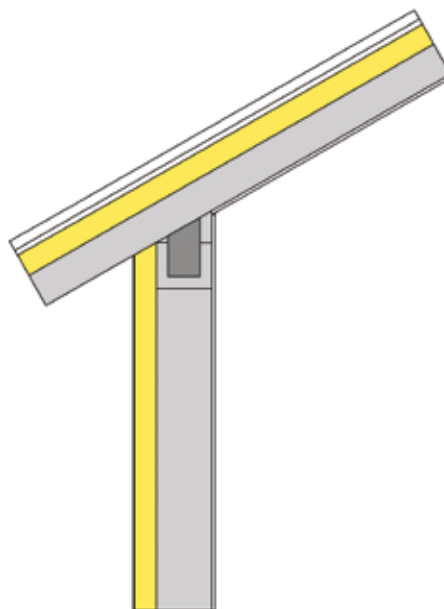
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,87$$

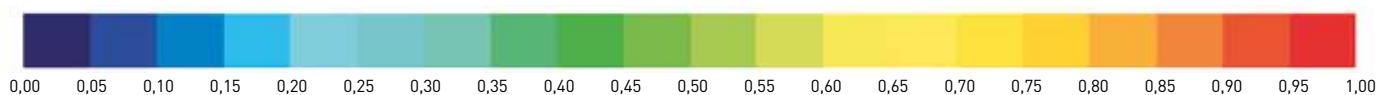
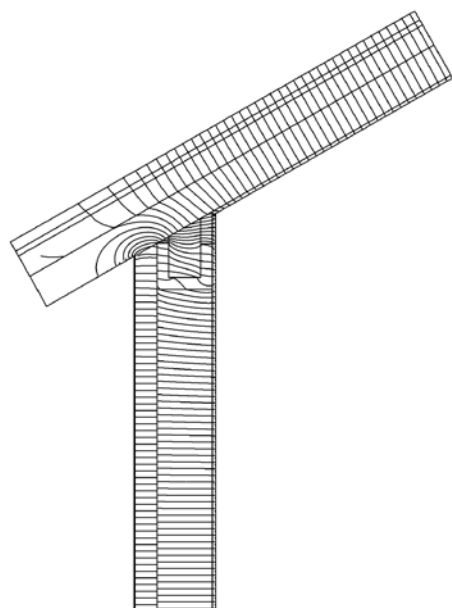
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



30. Oparcie dachu z płyt YTONG z izolacją cieplną na ścianie dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 200 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

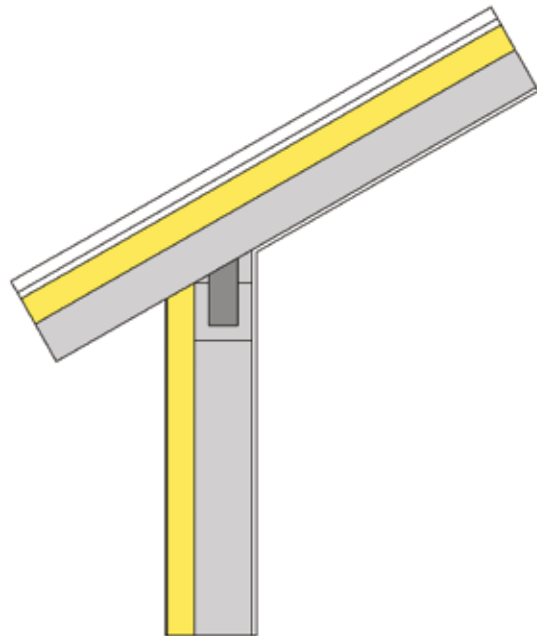
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,87$$

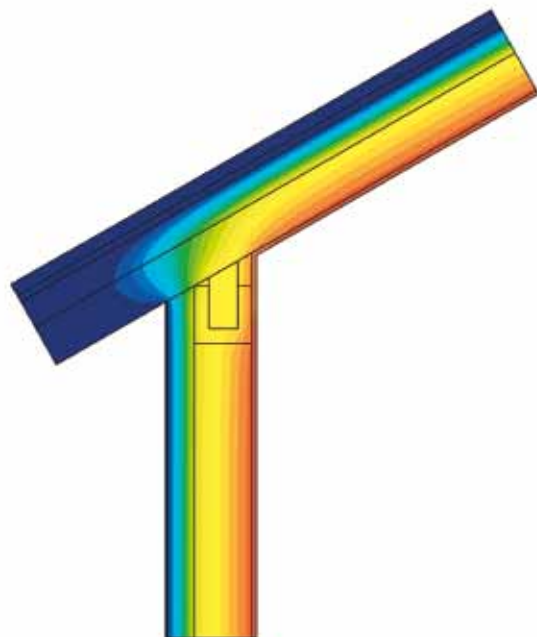
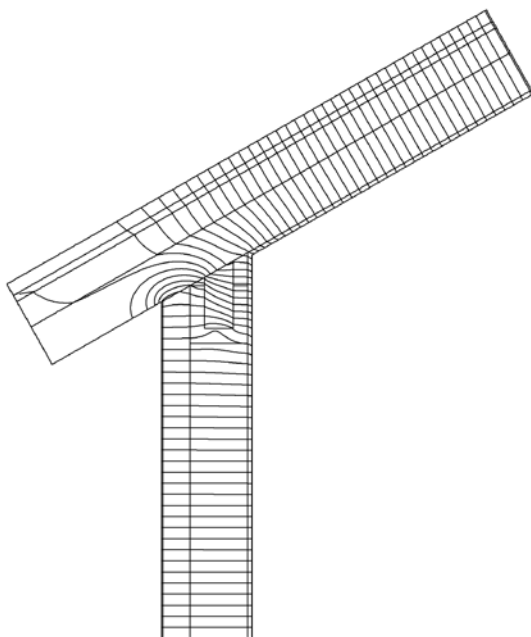
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



31. Oparcie dachu z płyt YTONG z izolacją cieplną na ścianie dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 180 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

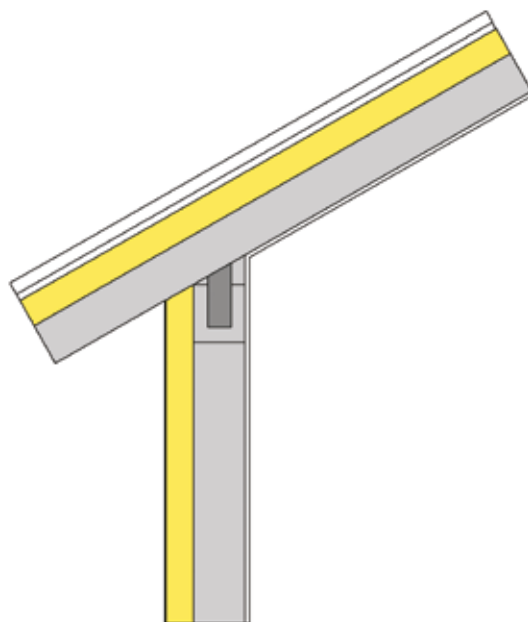
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,88$$

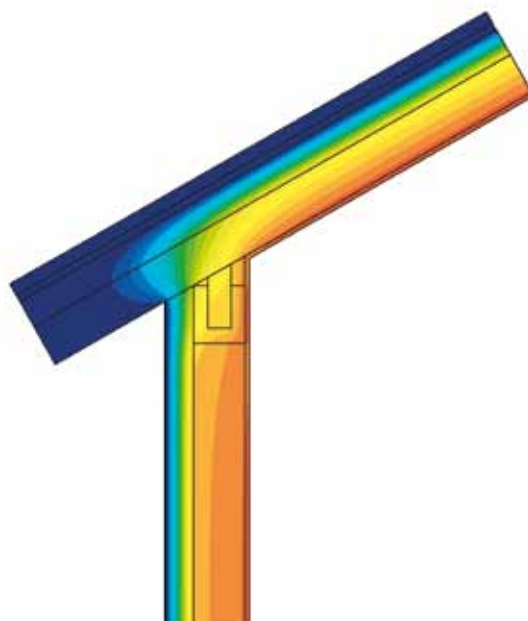
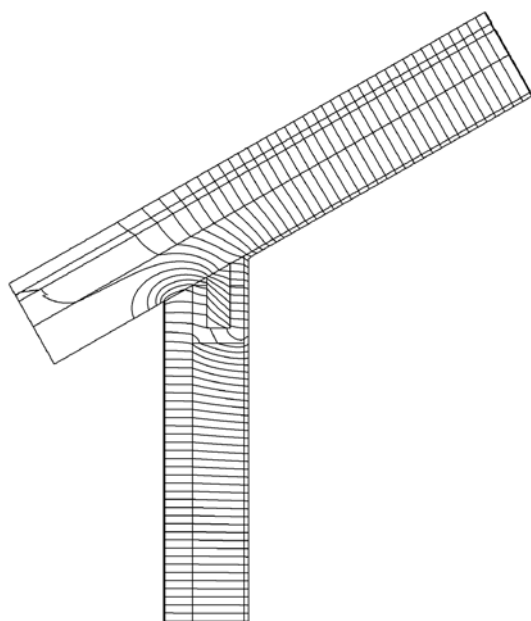
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



32. Oparcie dachu z płyt YTONG (prostopadle do kalenicy) z izolacją cieplną na ścianie dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 150 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

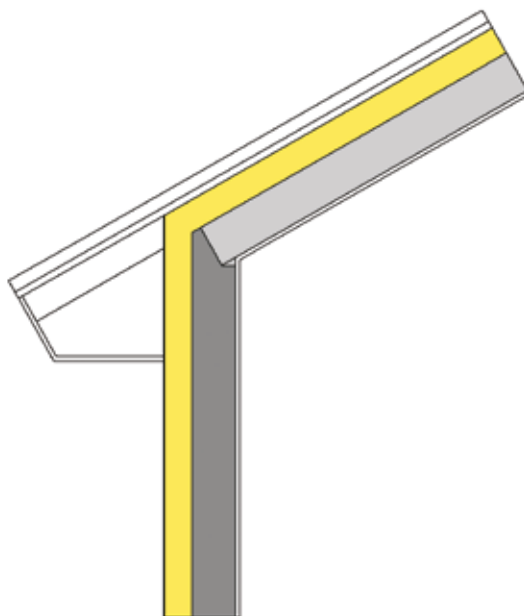
Model obliczeniowy:

Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,87$$

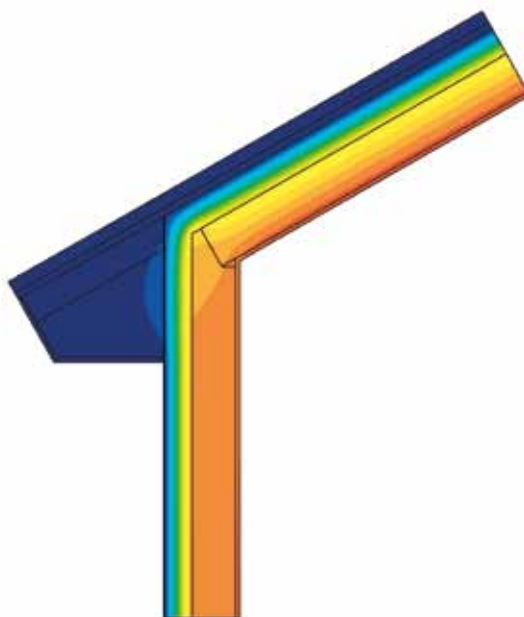
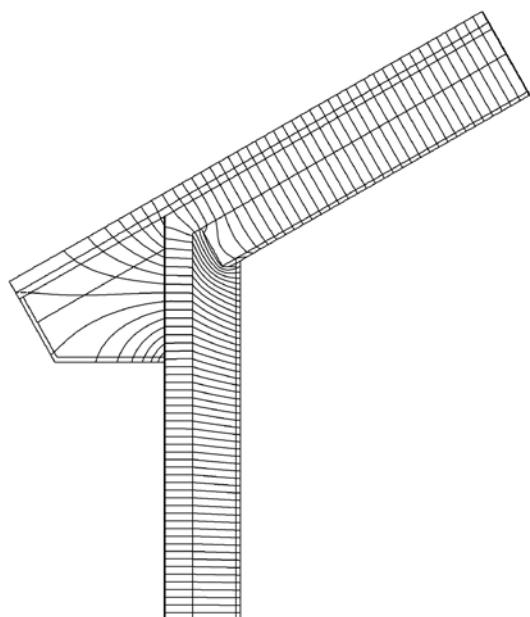
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



33. Płyta balkonowa ze zbrojonego betonu komórkowego i ściana jednowarstwowa YTONG o grubości muru 400 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

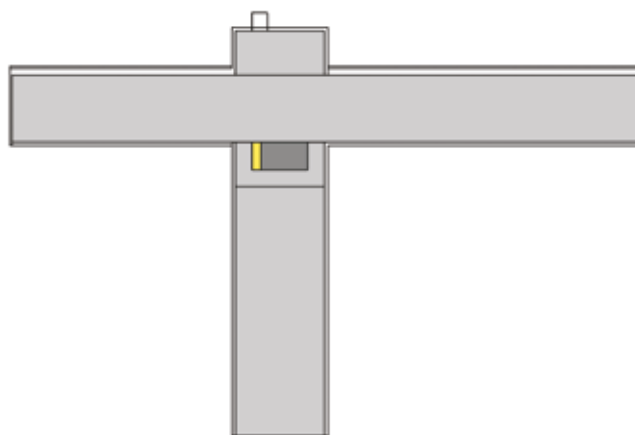
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,79$ – nad stropem (próg)

$f_{Rsi,min} = 0,89$ – pod stropem

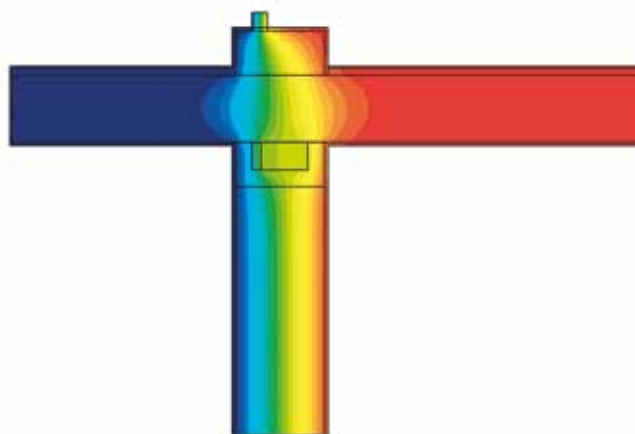
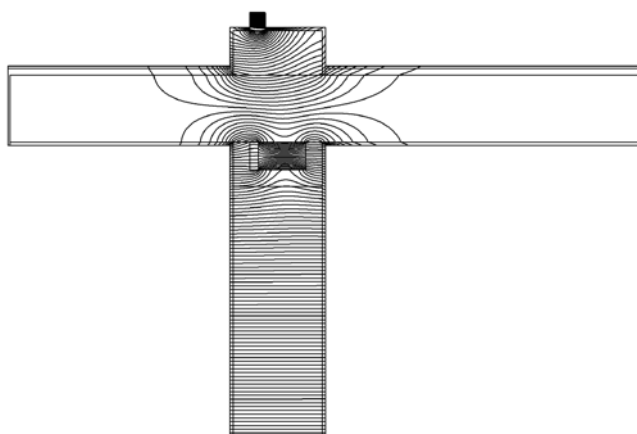
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$\Psi = 0,10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



34. Płyta balkonowa ze zbrojonego betonu komórkowego i ściana jednowarstwowa YTONG o grubości muru 365 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

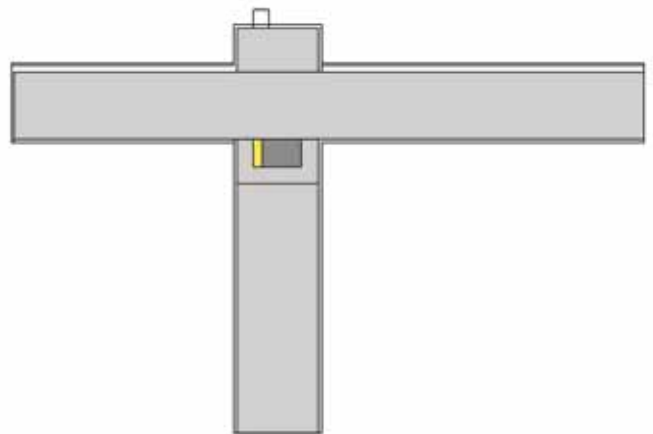
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,79$ – nad stropem (próg)

$f_{Rsi,min} = 0,89$ – pod stropem

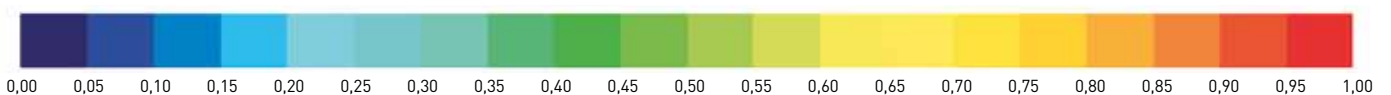
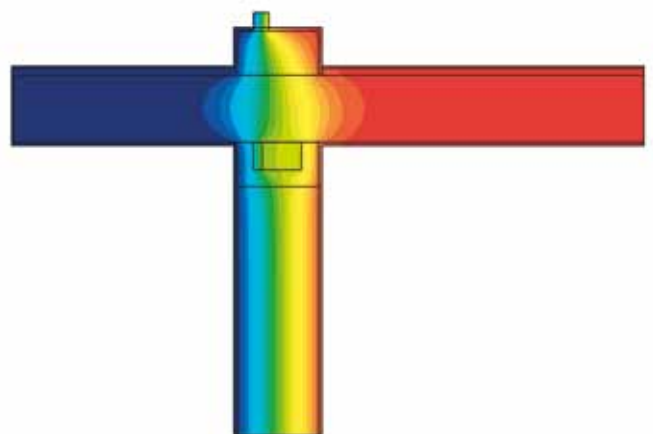
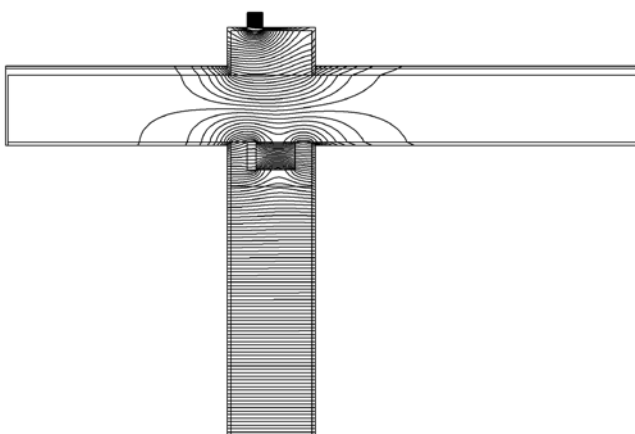
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$\Psi = 0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



35. Płyta balkonowa ze zbrojonego betonu komórkowego i ściana dwuwarstwowa YTONG

o grubości muru 300 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

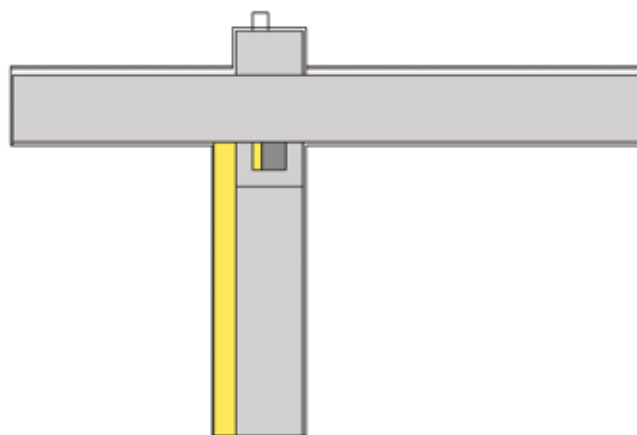
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,79$ – nad stropem (próg)

$f_{Rsi,min} = 0,90$ – pod stropem

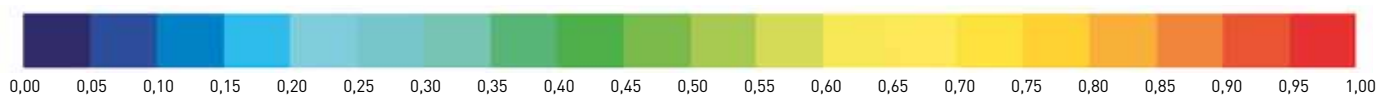
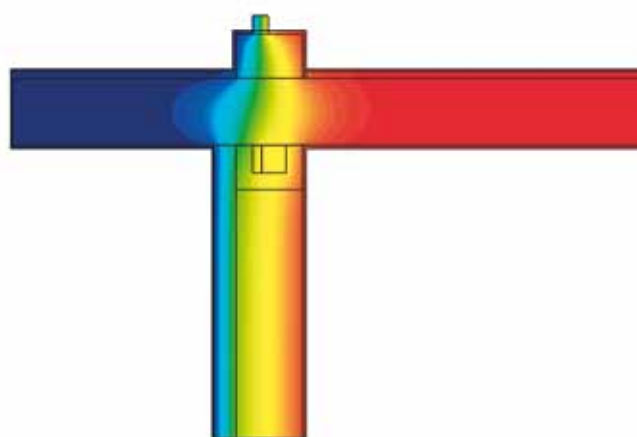
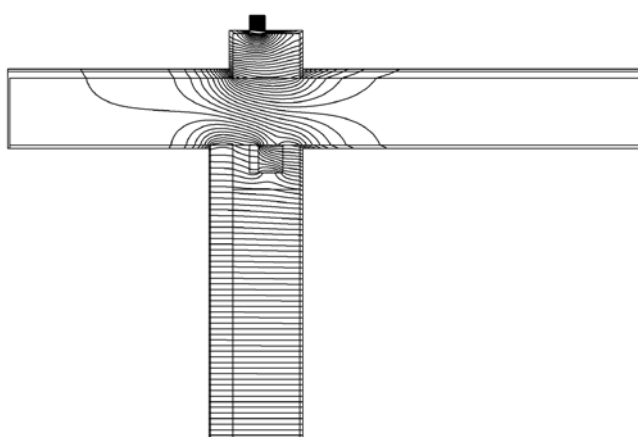
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$\Psi = 0,12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



36. Płyta balkonowa ze zbrojonego betonu komórkowego i ściana dwuwarstwowa YTONG

o grubości muru 240 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

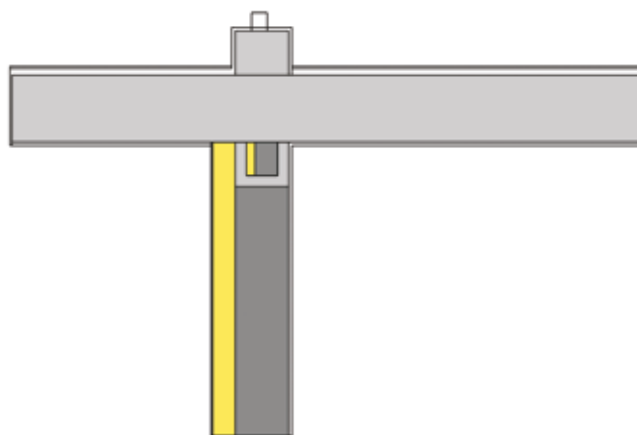
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,74$ – nad stropem (próg)

$f_{Rsi,min} = 0,90$ – pod stropem

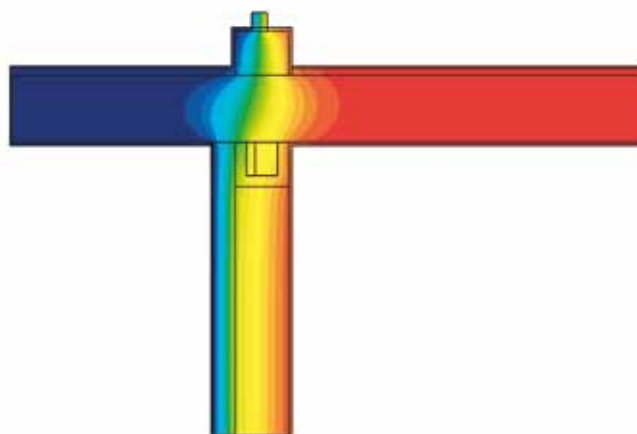
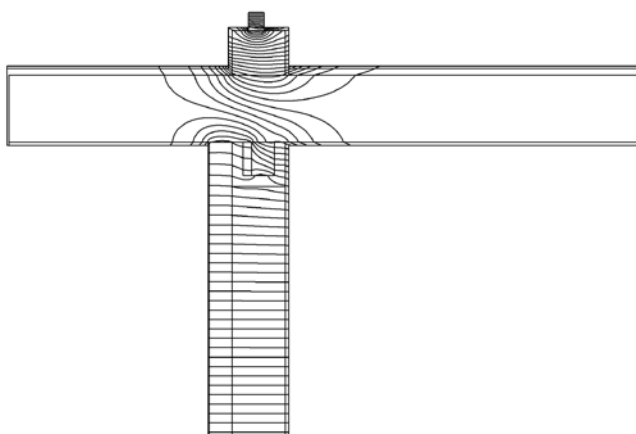
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$\Psi = 0,15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



37. Płyta balkonowa ze zbrojonego betonu komórkowego i ściana dwuwarstwowa SILKA o grubości muru 240 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

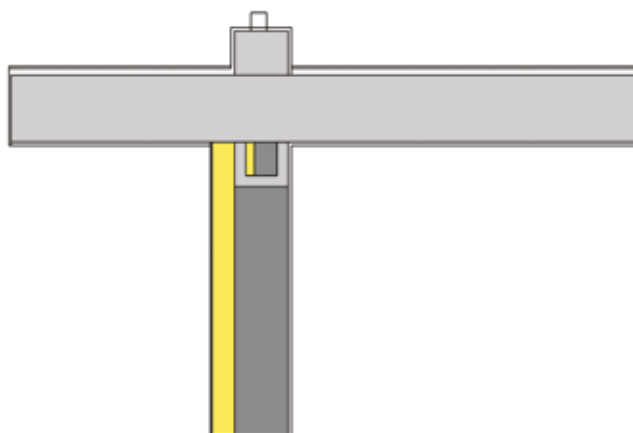
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,77$ – nad stropem (próg)

$f_{Rsi,min} = 0,91$ – pod stropem

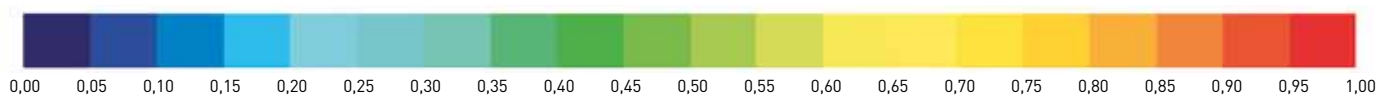
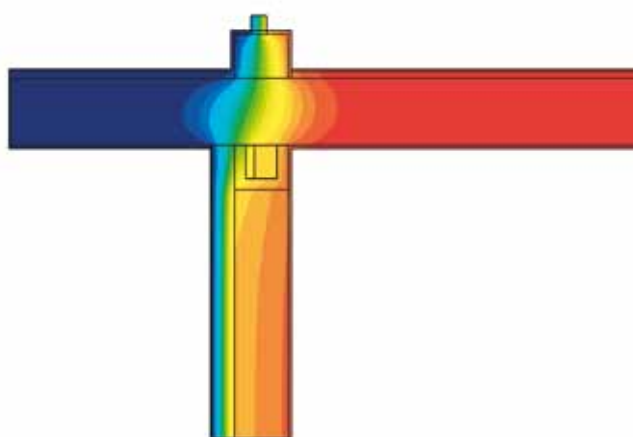
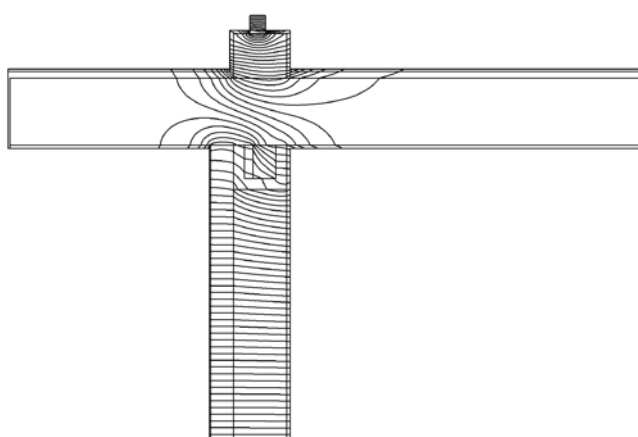
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$\Psi = 0,10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



38. Płyta balkonowa ze zbrojonego betonu komórkowego i ściana dwuwarstwowa YTONG o grubości muru 200 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

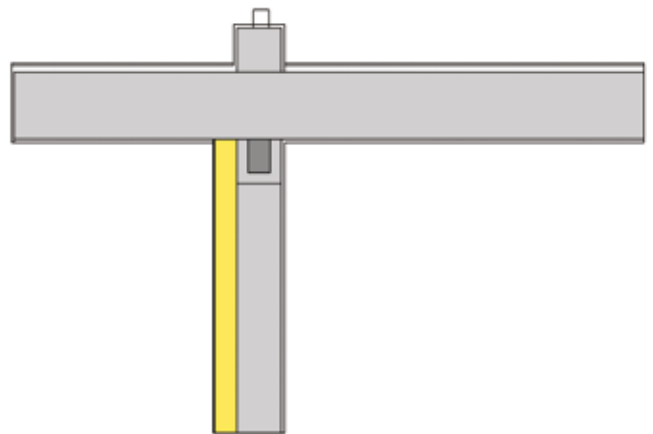
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,74$ – nad stropem (próg)

$f_{Rsi,min} = 0,89$ – pod stropem

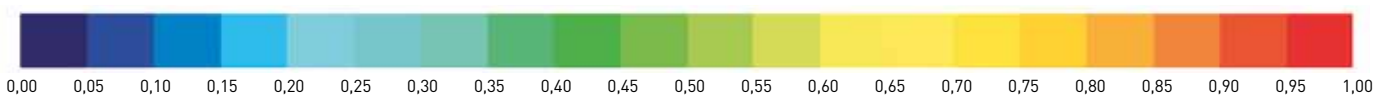
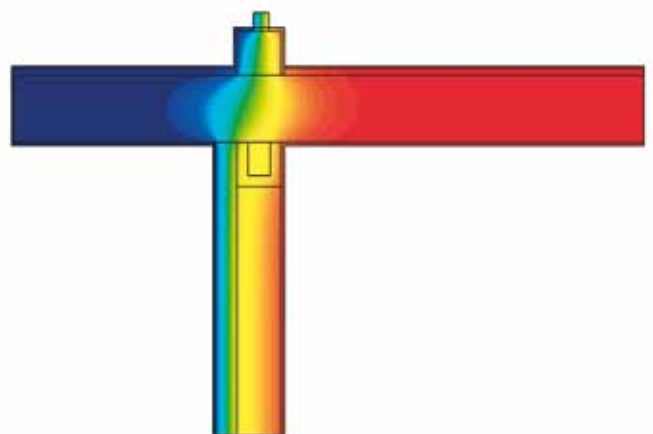
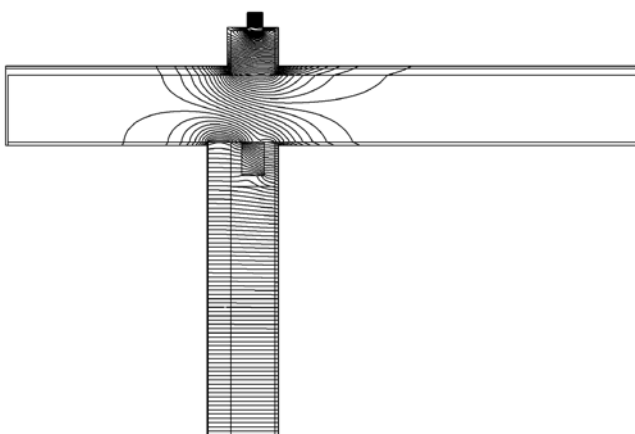
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$\Psi = 0,18 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



39. Płyta balkonowa ze zbrojonego betonu komórkowego i ściana dwuwarstwowa SILKA o grubości muru 180 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

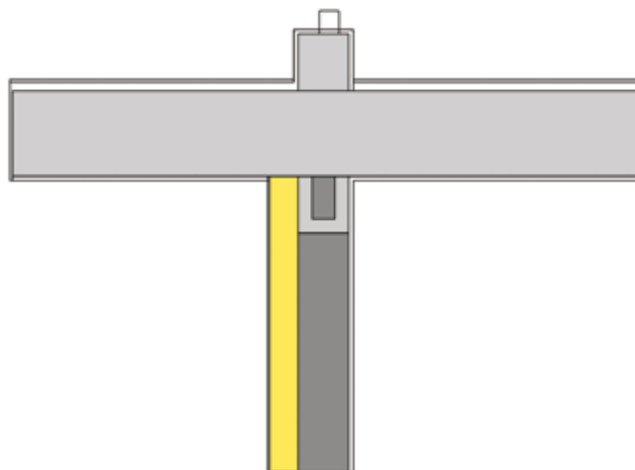
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,82$ – nad stropem (próg)

$f_{Rsi,min} = 0,89$ – pod stropem

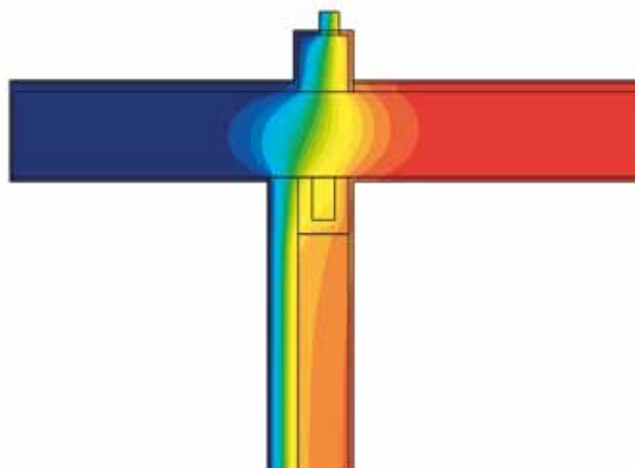
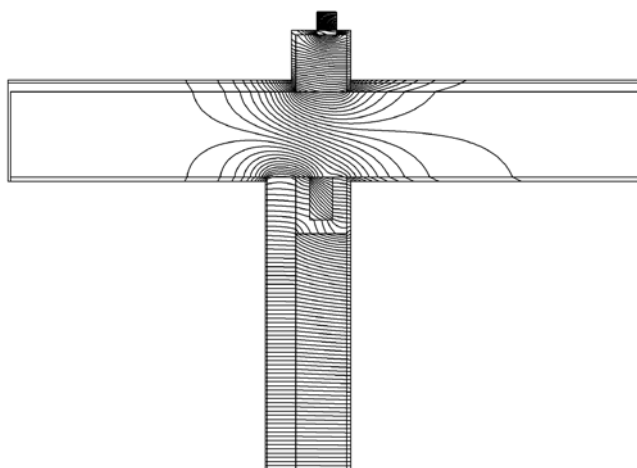
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$\Psi = 0,10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



40. Płyta balkonowa ze zbrojonego betonu komórkowego i ściana dwuwarstwowa SILKA o grubości muru 150 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

Model obliczeniowy:

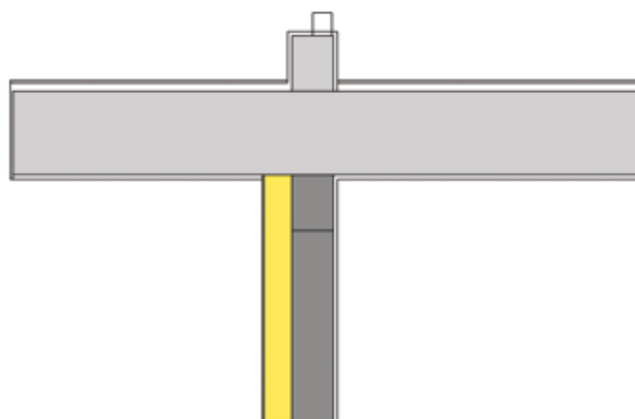
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$f_{Rsi,min} = 0,81$ – nad stropem (próg)

$f_{Rsi,min} = 0,86$ – pod stropem

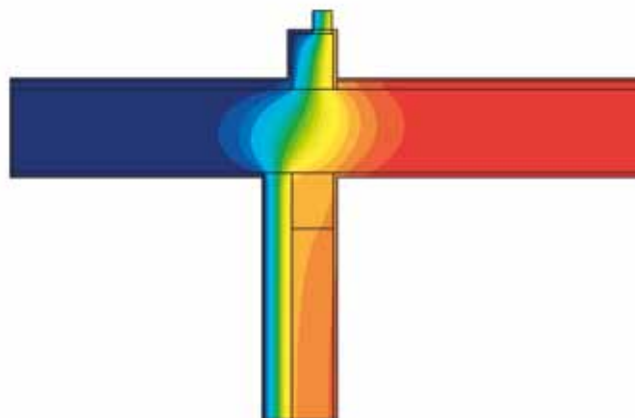
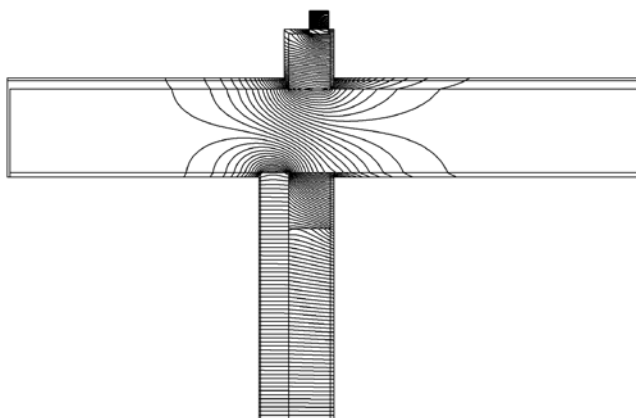
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$\Psi = 0,16 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Rozkład linii strumienia ciepła:

Rozkład temperatury:



41. Nadproże ze zbrojonego betonu komórkowego w ścianie jednowarstwowej YTONG o grubości muru 400 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

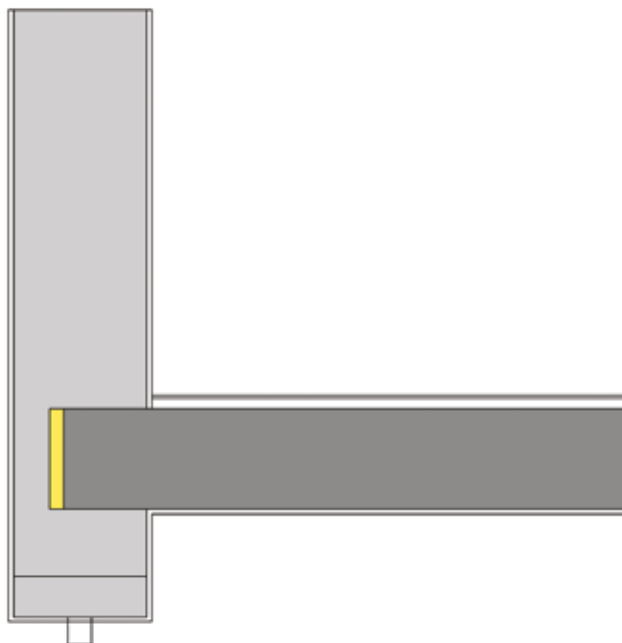
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,76$$

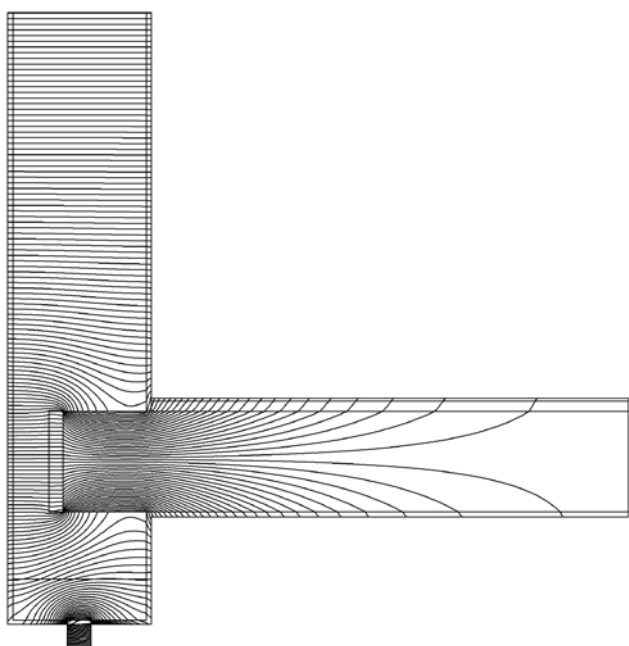
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,18 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

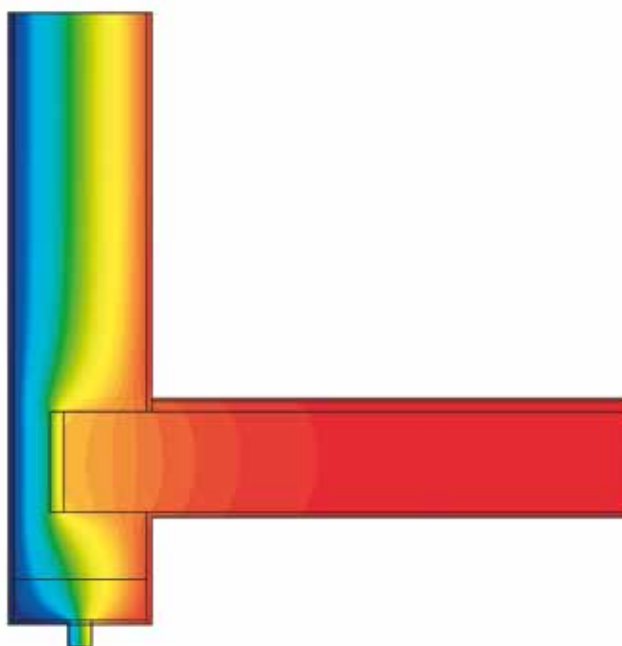
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



42. Nadproże ze zbrojonego betonu komórkowego w ścianie jednowarstwowej YTONG o grubości muru 365 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

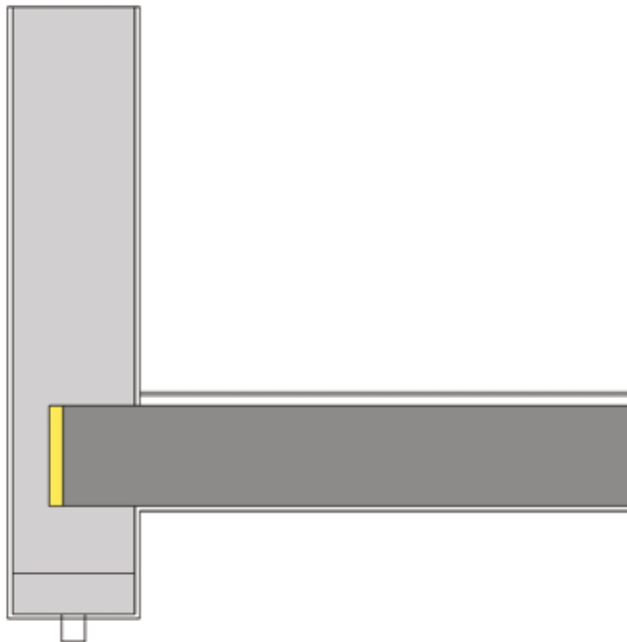
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,76$$

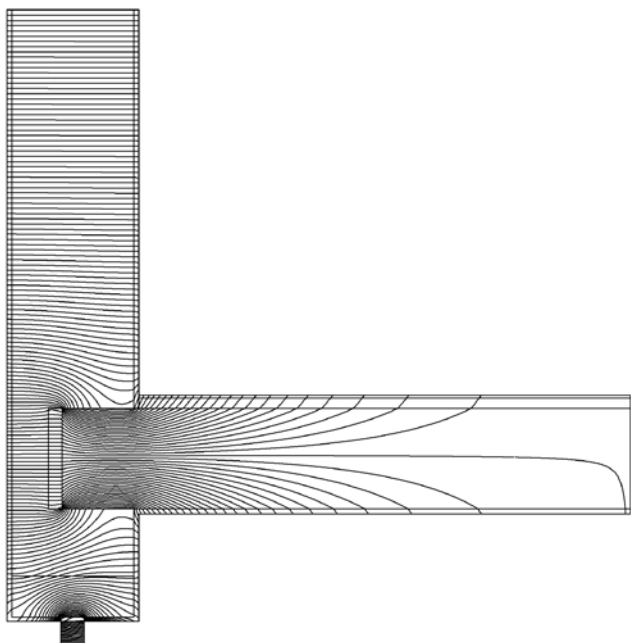
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,17 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

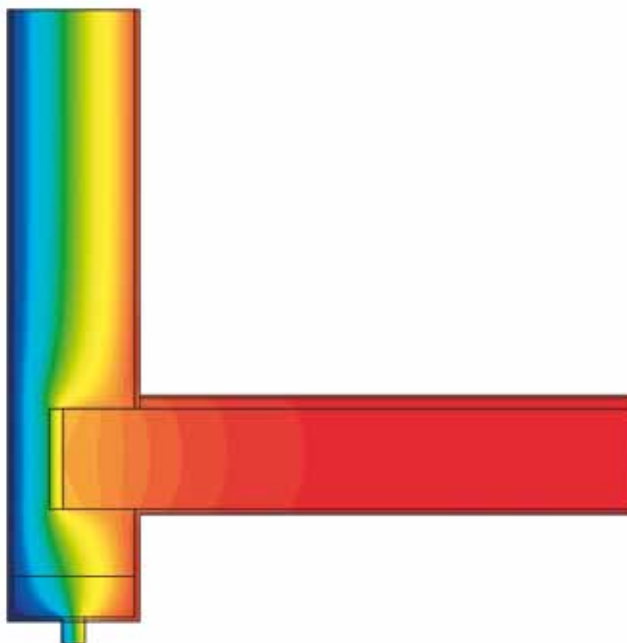
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



43. Nadproże ze zbrojonego betonu komórkowego w ścianie dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 300 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

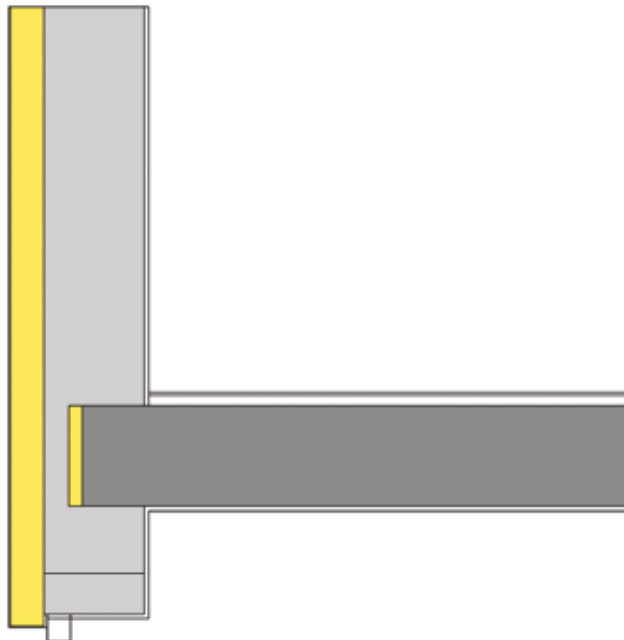
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,82$$

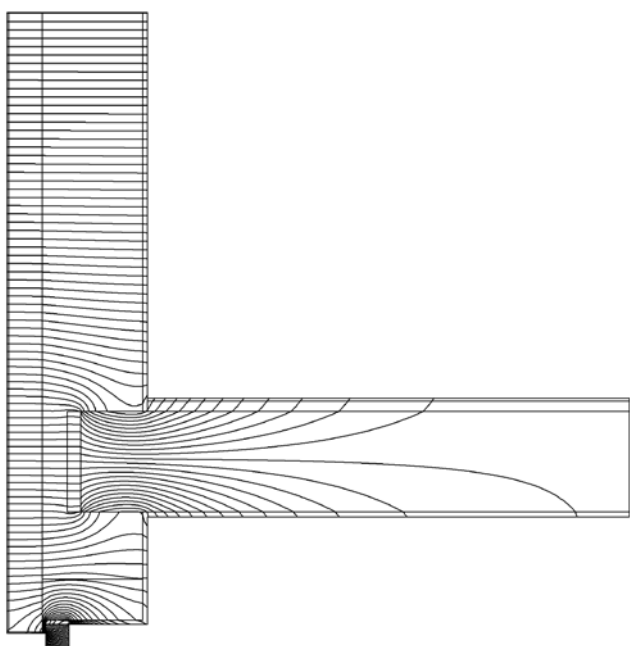
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

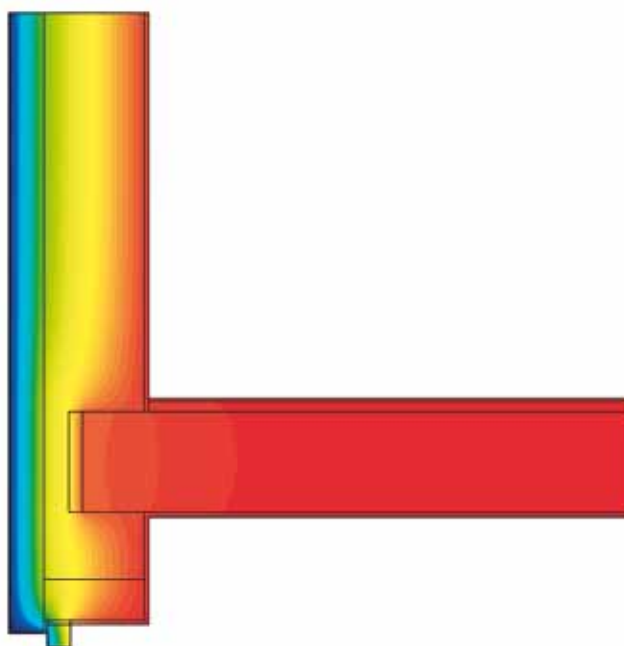
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



44. Nadproże ze zbrojonego betonu komórkowego w ścianie dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 240 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

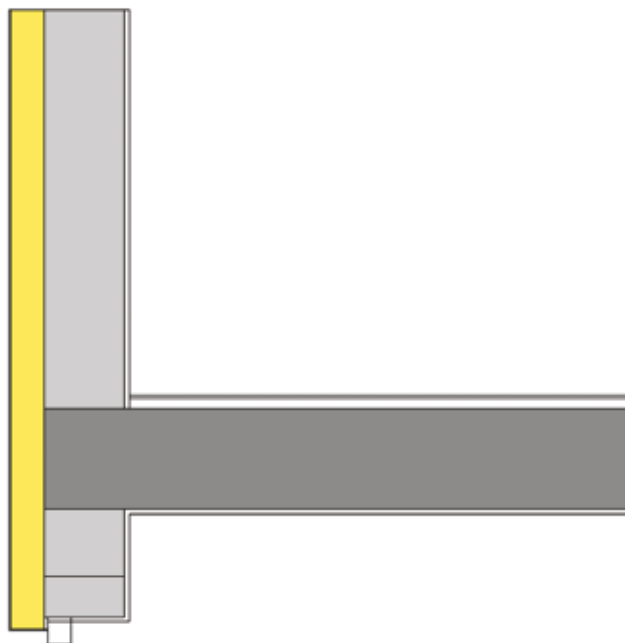
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,82$$

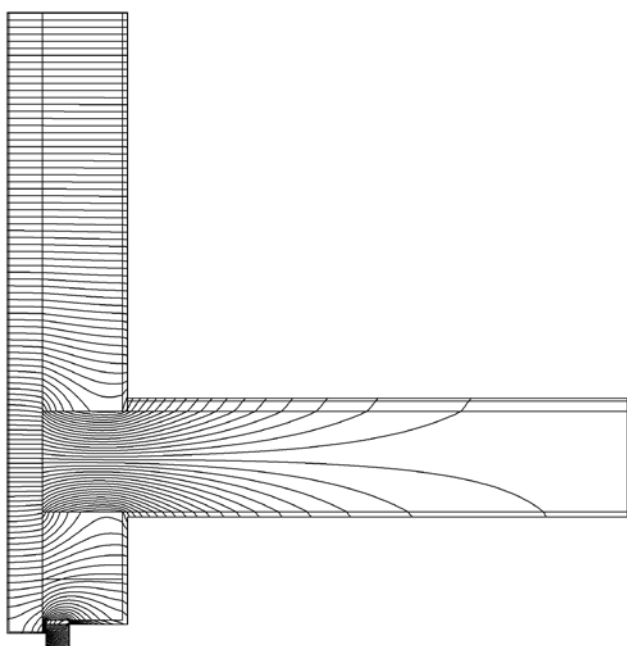
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

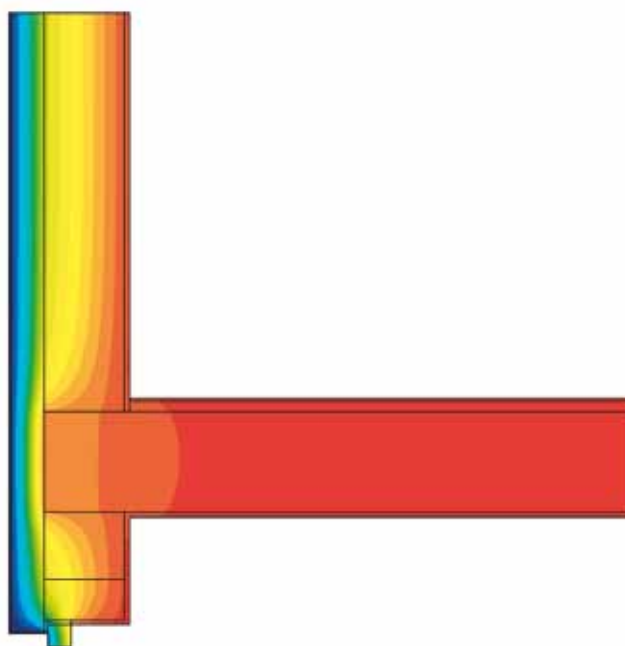
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



45. Nadproże ze zbrojonego betonu komórkowego w ścianie dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 240 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

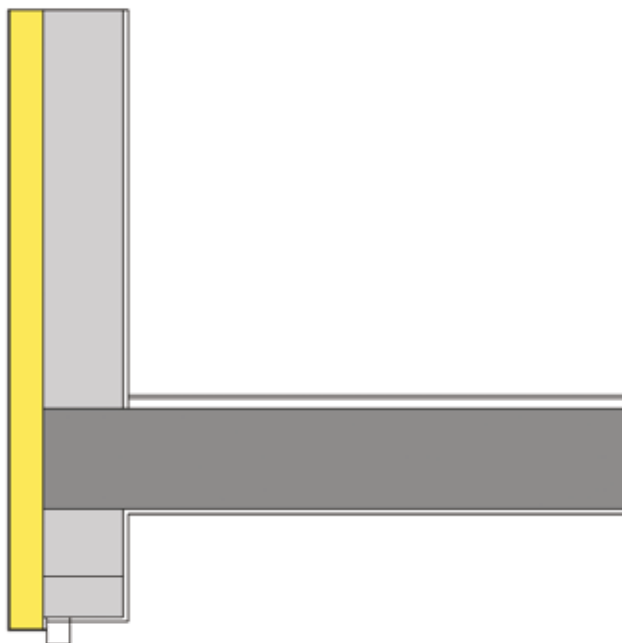
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,83$$

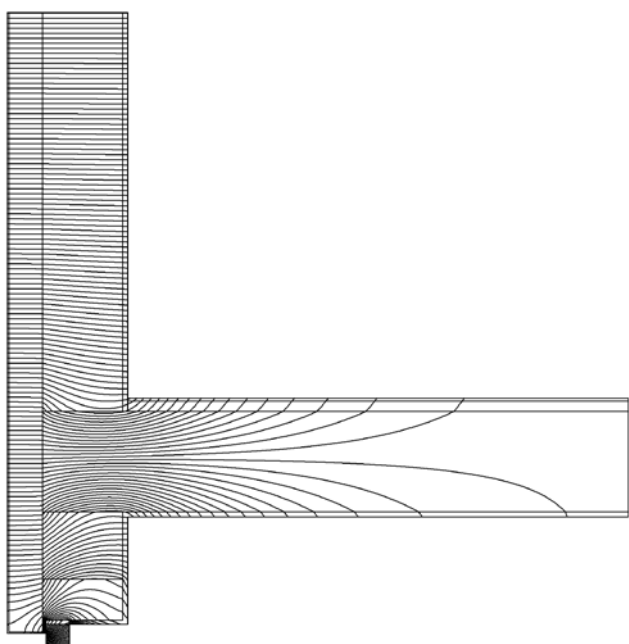
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,05 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

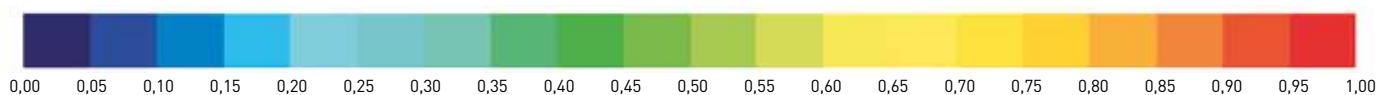
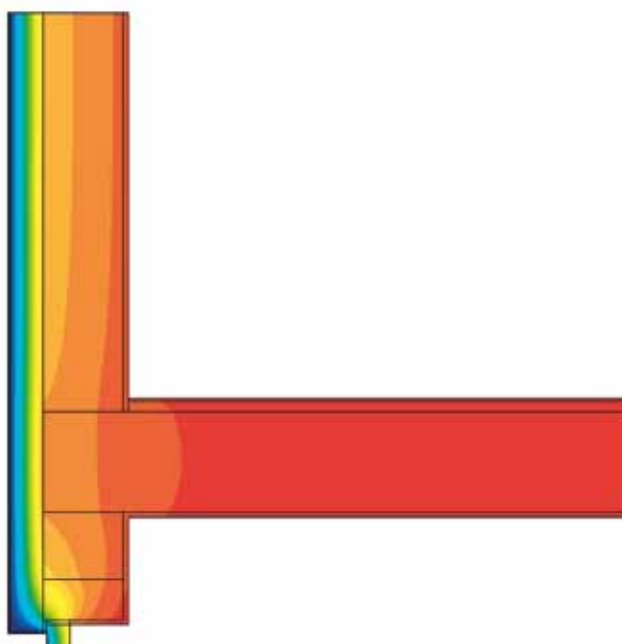
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



46. Nadproże ze zbrojonego betonu komórkowego w ścianie dwuwarstwowej YTONG o grubości muru 200 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

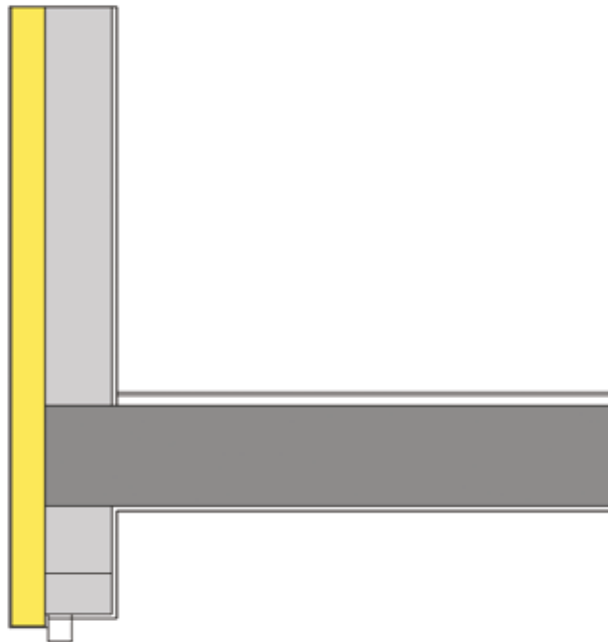
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,82$$

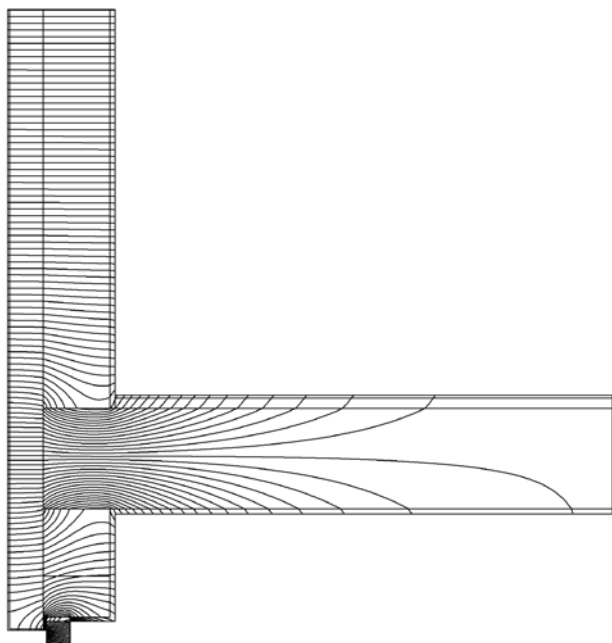
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

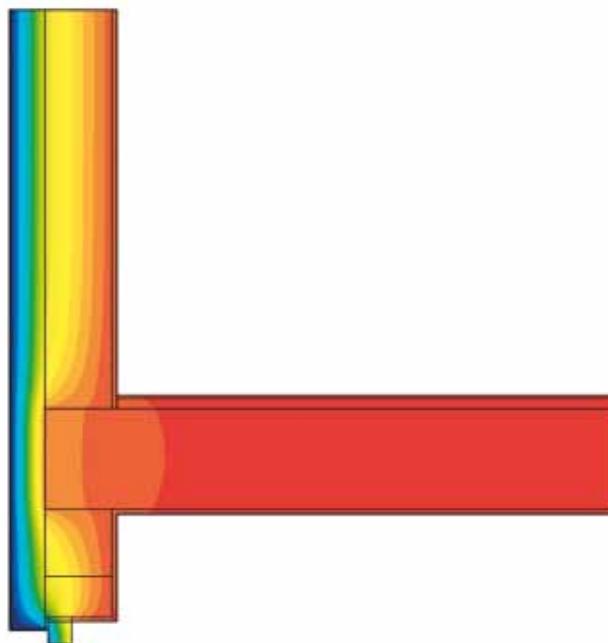
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



47. Nadproże ze zbrojonego betonu komórkowego w ścianie dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 180 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

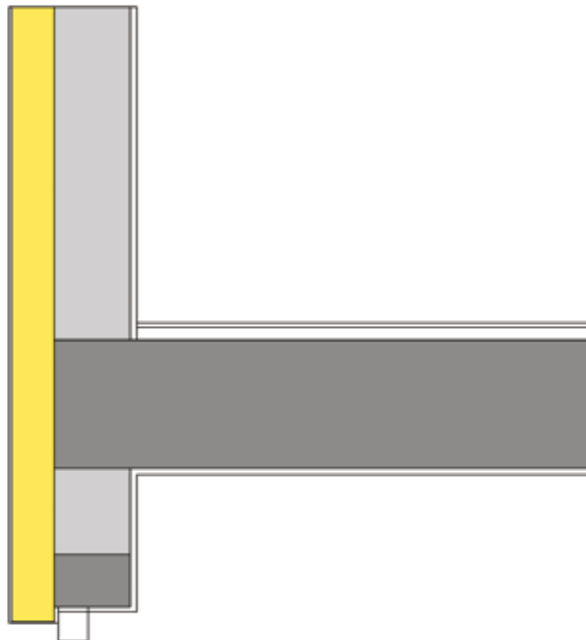
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,83$$

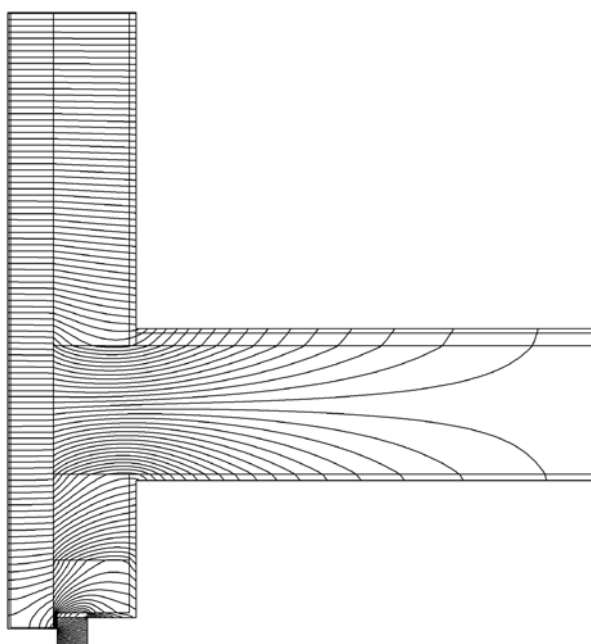
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

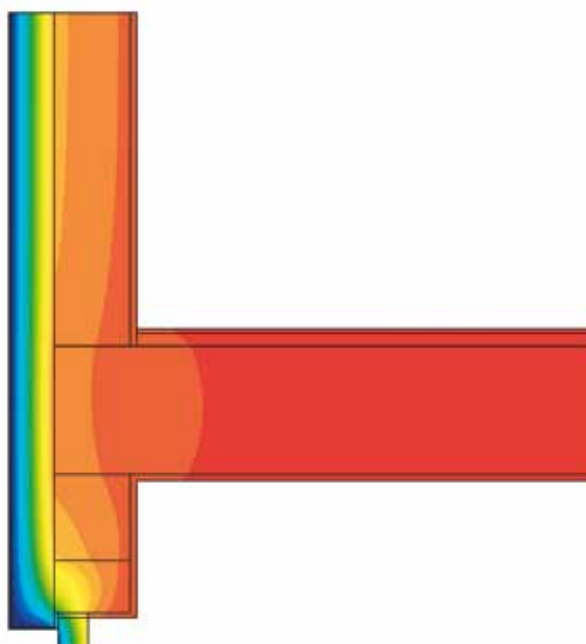
Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:



48. Nadproże ze zbrojonego betonu komórkowego w ścianie dwuwarstwowej SILKA o grubości muru 150 mm

Charakterystyka jakości cieplnej:

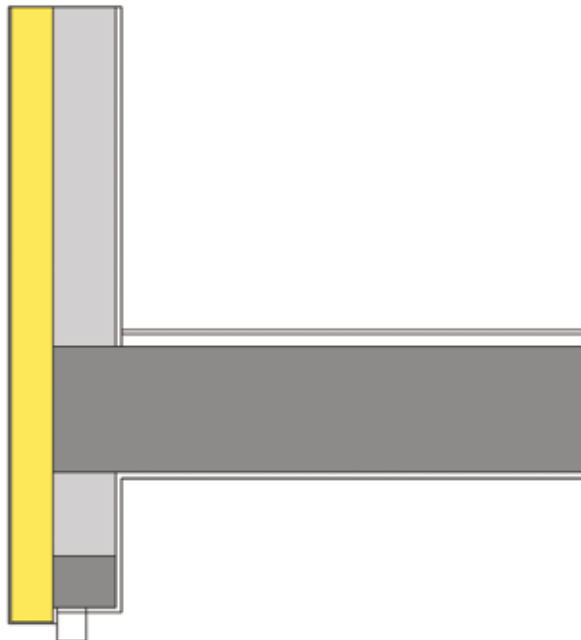
Minimalna wartość współczynnika temperaturowego:

$$f_{Rsi,min} = 0,85$$

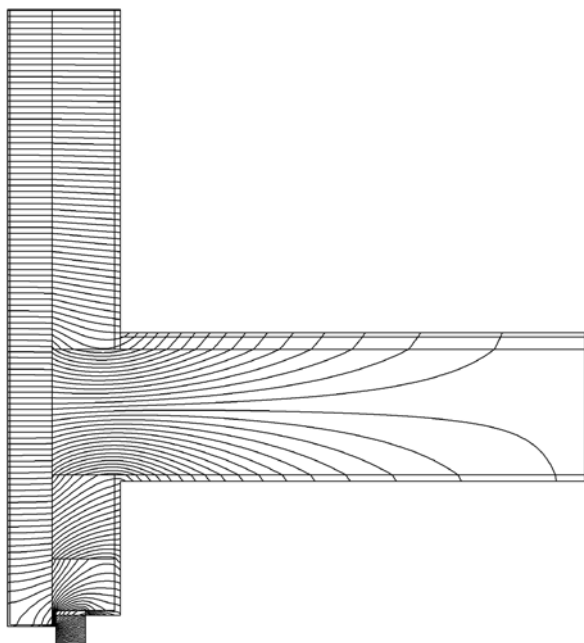
Liniowy współczynnik przenikania ciepła:

$$\Psi = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Model obliczeniowy:



Rozkład linii strumienia ciepła:



Rozkład temperatury:

