

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2018), 27 (3), 355–366
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2018), 27 (3)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2018), 27 (3), 355–366
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2018), 27 (3)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2018.27.3.35

Robert KRUZEL, Paweł HELBRYCH

Wydział Budownictwa, Politechnika Częstochowska
Faculty of Civil Engineering, Częstochowa University of Technology

Pustaki styropianowe – analiza numeryczna i ekonomiczna w kontekście zrównoważonego rozwoju Styrofoam blocks – numerical and economic analysis in the context of sustainable development

Słowa kluczowe: zewnętrzne przegrody budowlane, izolacyjność cieplna, domy energooszczędne, pustaki styropianowe

Key words: exterior building partitions, thermal insulation, energy efficiency, energy-saving houses, blocks of polystyrene

Wprowadzenie

Obecnie w Polsce można zaobserwować coraz większe zainteresowanie nowymi technologiami w budownictwie. Inwestorzy, chcąc iść z duchem czasu, coraz śmielej decydują się na rozwiązania, które są proekologiczne, ale również energooszczędne. Rozwój nowych technologii pozwala nie tylko na duże oszczędności energetyczne podczas użytkowania obiektów budowlanych, ale także podczas budowania. Technologia realizacji domów jednorodzinnych z pustaków styropianowych doskonale wpisuje się w trend budowania domów ener-

gooszczędnych, które w świetle zmian w przepisach prawnych (Rozporządzenie... 2002) i sukcesywnym obniżaniu maksymalnych wartości współczynników przenikania ciepła przegród budowlanych będą coraz częściej powstawały na terenie Polski. Pustaki styropianowe mają przede wszystkim spełniać dwie podstawowe funkcje:

- konstrukcyjną – pełniąc funkcję deskowania traconego, nie przenosząc obciążeń, dopiero po wypełnieniu mieszanką betonową i związaniu, tworząc pełnowartościową przegrodę budowlaną,
- izolacyjną – kształt pustaka pozwala na uzyskanie korzystnego zróżnicowania grubości izolacji w warstwie zewnętrznej (grubość od 50 do 250 mm) oraz wewnętrznej (grubość 50 mm) (Helbrych, 2014; Jura, 2015).

W związku z ciągłym rozwojem technologicznym powstają nowe syste-

my pustaków styropianowych, różniące się przeważnie sposobem łączenia w płaszczyźnie poziomej i pionowej lub możliwością kształtowania ścian krzywoliniowych. Typowy pustak styropianowy zbudowany jest z dwóch warstw izolacyjnych – wewnętrznej oraz zewnętrznej – połączonych ze sobą przewiązkami. Przewiązki mogą być wykonane ze styropianu, z polichlorku winylu lub ze stali.

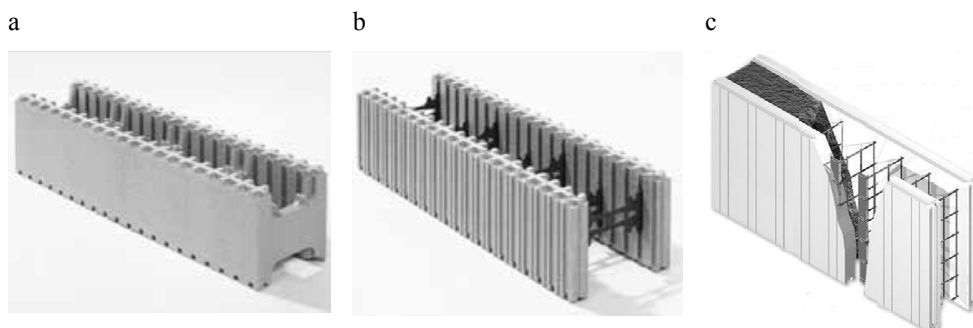
Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu różnego rodzaju przewiązek na wymianę ciepła w pionowej zewnętrznej przegrodzie budowlanej wykonanej z pustaków styropianowych oraz analiza ekonomiczna opłacalności budowania domów jednorodzinnych w systemach pustaków styropianowych (Helbrych, 2014; Jura, 2015).

Założenia materiałowe

W artykule przedstawiono parametry charakteryzujące wymianę ciepła przez zewnętrzną przegrodę budowlaną wykonaną z pustaków styropianowych z trzema różnymi przewiązkami (rys. 1).

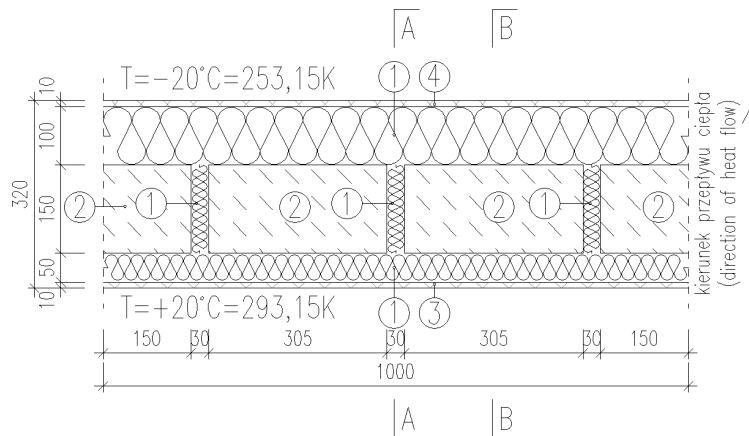
Każdy z analizowanych rodzajów pustaków styropianowych różnił się ceną zakupu oraz energochłonnością wytworzenia. Najmniej energii podczas wytwarzania należy zużyć dla pustaków styropianowych z przewiązkami zintegrowanymi, najwięcej dla pustaków z przewiązkami stalowymi. Koszt zakupu pustaka z układem konstrukcyjnym (jak na rys. 2) to: dla pustaka z zintegrowaną przewiązką 70–75 PLN, dla pustaka z przewiązką z polichlorku winylu 80–85 PLN; dla pustaka z przewiązką ze stali to 110–115 PLN (Katalog produktów Izodom, 2000; Rutkowska i Baryłka, 2011).

Każda z analizowanych przegród charakteryzowała się jednakową grubością ocieplenia zewnętrznego wynoszącą 100 mm, ocieplenia wewnętrznego wynoszącą 50 mm oraz rozstawem osiowym przewiązek wynoszącym 335 mm. Ponadto każda z przegród była otynkowana zarówno od strony zewnętrznej, jak i wewnętrznej warstwą tynku cementowo-wapiennego grubości 10 mm. Schemat analizowanych modeli przedstawiono na rysunku 1.



RYSUNEK 1. Pustaki styropianowe z trzema różnymi przewiązkami: a – styropianowa, b – z polichlorku winylu, c – ze stali (Katalog produktów Izodom, 2000)

FIGURE 1. Styrofoam blocks with three different connector: a – styrofoam, b – polyvinyl chloride, c – steel (Katalog produktów Izodom, 2000)



RYSUNEK 2. Układ konstrukcyjny analizowanych przegród zewnętrznych – przekrój poziomy: 1 – przewiązki systemowe; 2 – beton zbrojony z 2% stali, gr. 150 mm; 3 – tynk cementowo-wapienny, gr. 10 mm; 4a – pustak styropianowy, warstwa zewnętrzna gr. 100 mm; 4b – pustak styropianowy, warstwa wewnętrzna gr. 50 mm (Helbrych, 2016)

FIGURE 2. Constructional layout of the analyzed external partitions: 1 – system connectors; 2 – reinforced concrete with 2% steel, thickness 150 mm; 3 – cement-lime plaster, thickness 10 mm; 4a – styrofoam block, outer layer thickness 100 mm; 4b – styrofoam block, inner layer thickness 50 mm (Helbrych, 2016)

Przewiązki w pustakach styropianowych są elementem zakłócającym stabilną co do wartości gęstość strumienia przepływu ciepła. Złożoność tego zjawiska warunkuje potrzebę użycia do obliczeń związanych z wymianą ciepła programu wykorzystującego metodę elementów skończonych.

Przyjęto, że pomieszczenie po wewnętrznej stronie przegrody przeznaczone jest do stałego pobytu ludzi bez okryć zewnętrznych, niewykonujących w sposób ciągły pracy fizycznej, w którym zakłada się temperaturę obliczeniową równą $+20^{\circ}\text{C}$. Ponadto obiekt usytuowano w III strefie klimatycznej z projektową temperaturą zewnętrzną na poziomie -20°C (Rozporządzenie... 2002; Rutkowska i Baryłka, 2011; Helbrych, 2016). Kierunek strumienia ciepła ustalono jako poziomy, a co za tym idzie opory przejmowania ciepła na po-

wierzchni R_{si} i R_{se} przyjęto na poziomie: 0,13 oraz $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ (PN-EN 12831:2006).

Na podstawie danych zawartych w (Rozporządzenie... 2002) przyjęto właściwości materiałowe jak w tabeli 1.

Model obliczeniowy

Analizę przeprowadzono za pomocą programu ANSYS 16.1, którego architekturę stworzono według metody elementów skończonych. Wszystkie modele wykonano jako elementy typu *solid* czterowęzłowe z jednym stopniem swobody w każdym węźle: temperatura. Właściwości materiałowe przyjęto jak w tabeli 1. Warunki brzegowe, czyli temperaturę ośrodka A, ośrodka B oraz współczynniki przejmowania ciepła α , przyjęto:

TABELA 1. Wymagania izolacyjności cieplnej (Rozporządzenie... 2002)
 TABLE 1. Thermal insulation requirements (Rozporządzenie... 2002)

Nr warstwy No layer	Materiał Materials	Współczynnik przewodzenia ciepła w warunkach średnio wilgotnych Heat conduction coefficient in medium humid conditions [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	Opór przejmowania ciepła Resistance to absorb heat [m ² ·K ⁻¹ ·W ⁻¹]
i	powierzchnia wewnętrzna the inner surface	–	0,13
1	przewiązki systemowe system connections	–	–
–	przewiązka styropianowa EPS EPS styrofoam	0,04	–
–	przewiązka z polichlorku winylu a connector of polyvinyl chloride	0,17	–
–	przewiązka stalowa steel connector	50	–
2	beton zbrojony z 2% stali reinforced concrete with 2% steel	2,50	–
3	tynk cementowo-wapienny cement and lime plaster	1,00	–
4	pustak styropianowy styrofoam block	0,04	–
e	powierzchnia zewnętrzna ex-ternal surface	–	0,04

- dla ośrodka A (strona zewnętrzna):
 VALI: 25 (współczynnik przejmowania ciepła $\alpha_A = 25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$),
 VALI2I: 253,15 (temperatura $T_A = 253,15 \text{ K} = -20^\circ\text{C}$);
- dla ośrodka B (strona wewnętrzna):
 VALI: 7,69 (współczynnik przejmowania ciepła $\alpha_B = 7,69 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$),
 VALI2I: 293,15 (temperatura $T_A = 293,15 \text{ K} = +20^\circ\text{C}$).

Na rysunku 3 przedstawiono poddane analizie przewiązki systemowe.

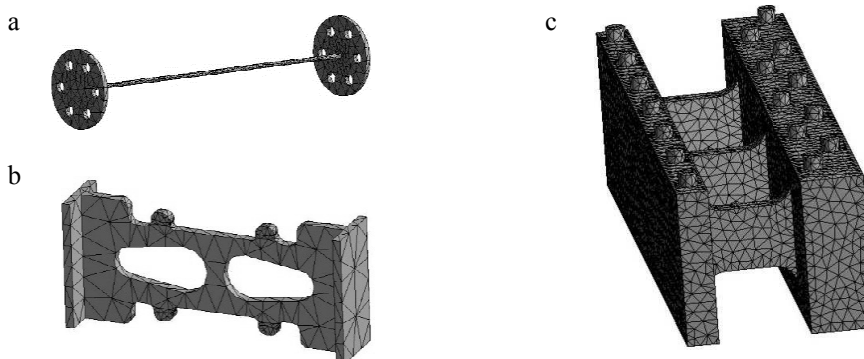
Analiza została przeprowadzona przy założeniu jednorodności i izotropii materiałów, z jakich wykonane są poszczególne warstwy analizowanej pionowej przegrody budowlanej (Helbrych, 2016).

Wyniki analizy numerycznej

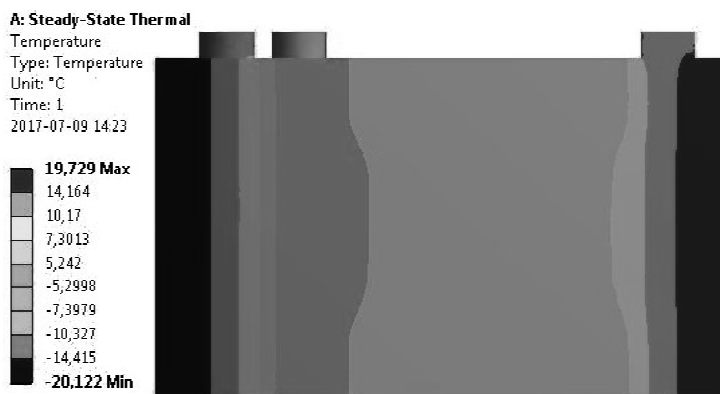
Na rysunkach 4–6 przedstawiono rozkłady temperatury uzyskane w programie ANSYS 16.1 w przegrodzie w miejscu występowania przewiązek (przekrój A-A zaznaczony na rys. 2).

Poprzez odpowiednie zestawienie wykresów rozkładów temperatur w analizowanych przegrodach można ocenić wpływ elementów zakłócających (przewiązek) na prosty przepływ strumienia ciepła (rys. 7). Krzywoliniowość wykresów w przekroju A-A świadczy o niejednorodnej gęstości strumienia przepływu ciepła.

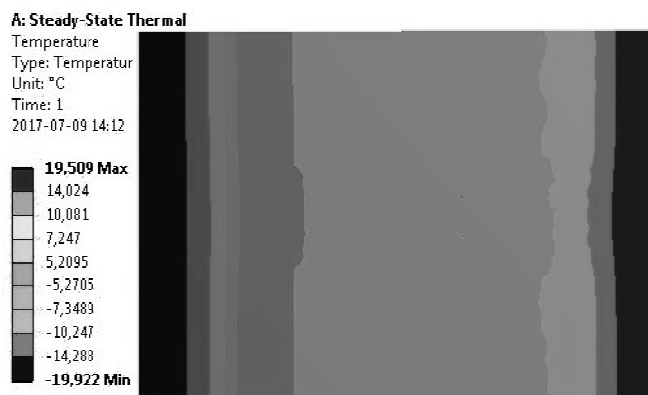
Dodatkowe obliczenia wykazały, że w przypadku przegrody z przewiązkami styropianowymi maksymalna gęstość



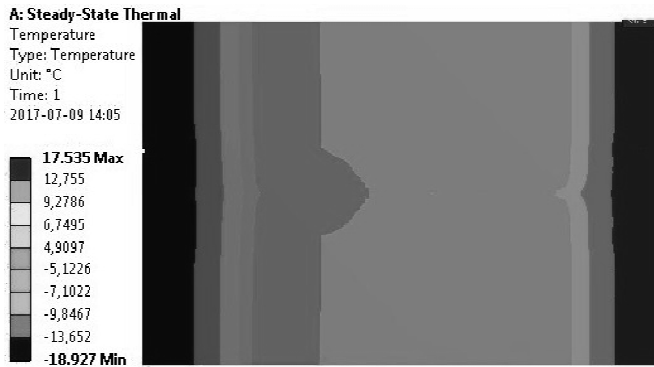
RYSUNEK 3. Przewiązki systemowe: a – przewiązka stalowa, b – przewiązka z polichlorku winylu, c – przewiązka styropianowa (zintegrowana) (Helbrych, 2016)
 FIGURE 3. System connections: a – steel connector, b – connector of polyvinyl chloride, c – polystyrene connector (integrated) (Helbrych, 2016)



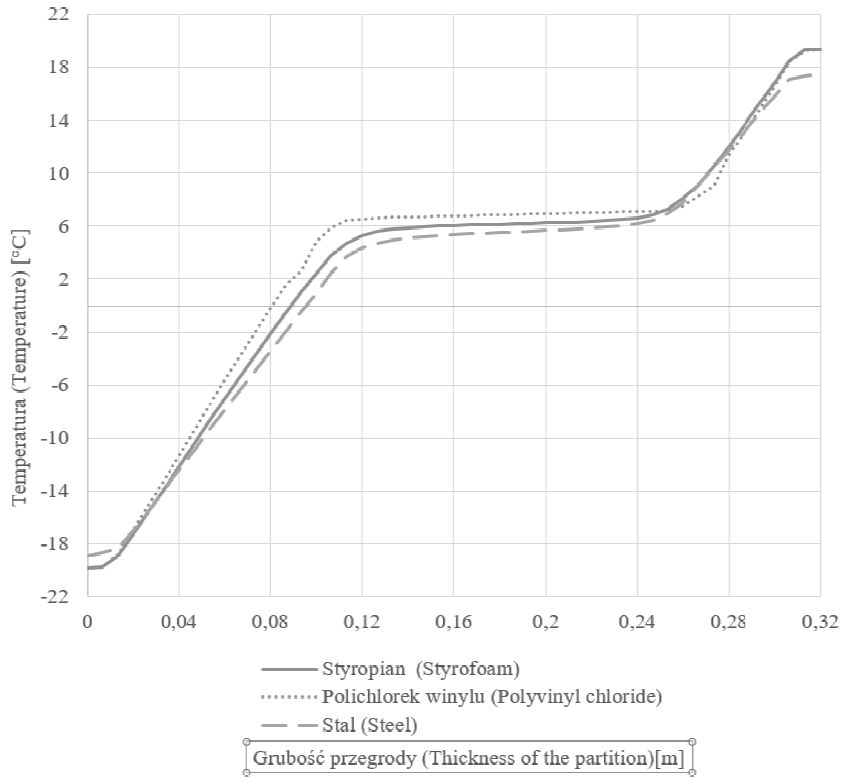
RYSUNEK 4. Rozkład temperatury w przegrodzie z przewiązkami styropianowymi (Helbrych, 2016)
 FIGURE 4. Temperature distribution in the partition with polystyrene connectors (Helbrych, 2016)



RYSUNEK 5. Rozkład temperatury w przegrodzie z przewiązkami z polichlorku winylu (Helbrych, 2016)
 FIGURE 5. Distribution of temperature in the partition with connectors made of polyvinyl chloride (Helbrych, 2016)



RYSUNEK 6. Rozkład temperatury w przegrodzie z przewiązkami stalowymi (Helbrych, 2016)
 FIGURE 6. Temperature distribution in the partition with steel connectors (Helbrych, 2016)



RYSUNEK 7. Wykresy temperatur w funkcji grubości w analizowanych przegrodach (Helbrych, 2016)
 FIGURE 7. Temperature graphs as a function of thickness in the analyzed baffles (Helbrych, 2016)

strumienia ciepła wynosi $15,98 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, z przewiązkami z polichloroku winylu $178,13 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, z przewiązkami ze stali $469,99 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, a w przypadku przewiązek zintegrowanych gęstość strumienia ciepła byłaby stała w całej przegrodzie i wynosiłaby $9,91 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (Helbrych, 2016).

Założenia do analizy ekonomicznej

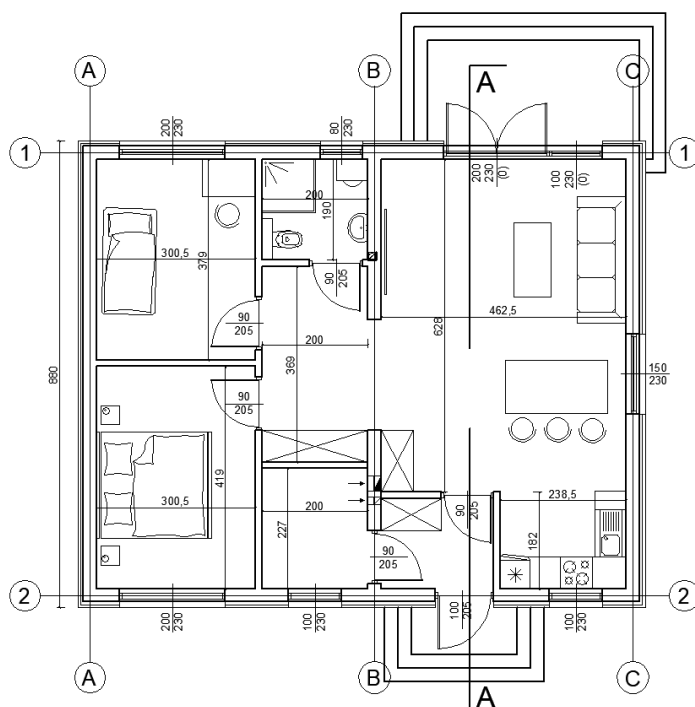
Do przeprowadzenia analizy ekonomicznej wykorzystania systemu pustaków styropianowych wykorzystano autorski projekt domu jednorodzinnego, niepodpiwniczony, bez poddasza użytkowego, ze stropem drewnianym, z przyłączem gazowym, zlokalizowany

na działce w województwie śląskim, powiat częstochowski. Na rysunku 8 znajduje się rzut kondygnacji przyziemia analizowanego obiektu, a na rysunku 9 znajduje się przekrój A-A.

Powierzchnia użytkowa analizowanego domu jednorodzinnego to 77 m^2 .

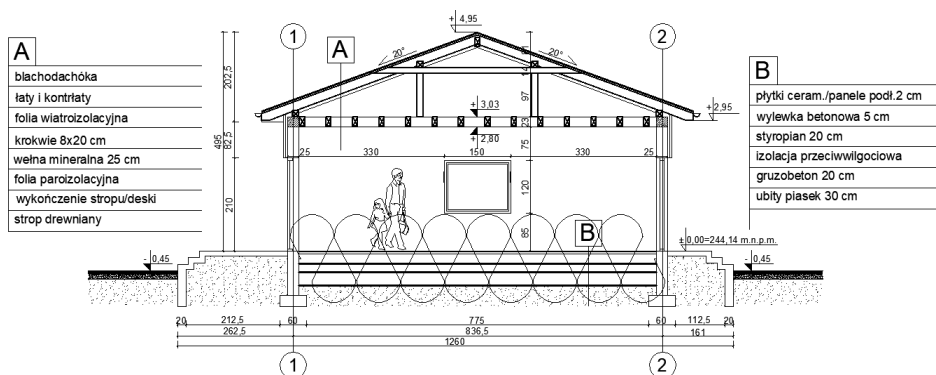
Analiza ekonomiczna wykorzystania pustaków styropianowych do budowy domu jednorodzinnego

Koszt budowy analizowanego domu jednorodzinnego określono za pomocą programu kosztorysowego NormaPro. Ceny materiałów i robocizny przyjęto



RYSUNEK 8. Rzut kondygnacji przyziemia analizowanego budynku jednorodzinnego (opracowanie własne)

FIGURE 8. Floor plan of the analyzed single-family building (own elaboration)



RYSunEK 9. Przekrój poprzeczny analizowanego budynku jednorodzinnego (opracowanie własne)
 FIGURE 9. Cross-section of the analyzed single-family building (own elaboration)

zgodnie z lokalizacją budynku oraz biuletynem cenowym firmy Intercenbud wydanym na I kwartał 2018 roku. Kosztorys przeprowadzono dla stanu deweloperskiego (tab. 2, 3 i 4).

Z informacji uzyskanych od firmy produkującej systemy do budowy domów jednorodzinnych z pustaków styropianowych wynika, iż inwestor niechętnie decyduje się na budowę domu z innych

TABELA 2. Kosztorys uproszczony analizowanego budynku jednorodzinnego (opracowanie własne)
 TABLE 2. Simplified cost estimate of the analyzed single-family building (own elaboration)

Rodzaj robót Type of works	Materiały Materials [PLN]	Robocizna Labor [PLN]
1	2	3
Fundamenty Foundations	14 826,35	5 015,49
Ściany nośne zewnętrzne – pustak ceramiczny gr. 25 cm External load-bearing walls – 25 cm ceramic hollow block	5 394,18	5 124,95
Ściany nośne wewnętrzne – pustak ceramiczny gr. 25 cm Internal supporting walls – 25 cm ceramic hollow block	445,80	423,55
Ściany działowe Walls	1 659,10	1 001,49
Kominy dymowe i wentylacyjne Smoke and ventilation chimneys	3 579,10	2 386,07
Strop drewniany Wooden ceiling	18 847,29	2 404,03
Elewacja ze styropianu gr. 15 cm w wykończeniu Elevation of 15 cm expanded polystyrene in finish	10 155,04	5 970,13
Konstrukcja dachu z wykończeniem blachodachówką The roof structure with a metal roofing finish	1 2055,23	10 255,77
Rynny PCW PVC gutters	1 545,60	1 030,41

TABELA 2 cd.

TABLE 2 cont.

1	2	3
Docieplenie dachu wełną mineralną gr. 25 cm Roof insulation with 25 cm thick mineral wool	5 641,90	6 195,79
Podbitka okapu Soffit soffit	1 285,13	1 466,52
Okna PCW – białe PVC windows – white	5 936,96	1 274,27
Drzwi zewnętrzne stalowe Exterior steel doors	2 051,14	1 000,00
Posadzki Flooring	3 529,68	1 198,28
Tynki gipsowe z gładziami gipsowymi Gypsum plasters with gypsum coatings	4 849,38	8 591,32
Parapety wewnętrzne i zewnętrzne Internal and external window sills	496,65	1 110,11
Instalacja elektryczna Electrical installation	4 926,08	3 284,05
Instalacja wod.-kan. Water and sewage installation	2 022,80	1 348,54
Sufit podwieszany Ceiling	3 338,72	6 695,02
Instalacja CO Installation of central heating	15 569,70	10 126,13
Razem Summary	118 115,83	75 901,92
Wartość inwestycji The value of the investment		194 057,8

TABELA 3. Koszt budowy ścian zewnętrznych analizowanego budynku jednorodzinnego w technologii tradycyjnej (opracowanie własne)

TABLE 3. The cost of building external walls of the analyzed single-family building in traditional technology (own elaboration)

Rodzaj robót Type of works	Materiały Materials [PLN]	Robocizna Labor [PLN]
Ściany nośne zewnętrzne – pustak ceramiczny gr. 25 cm External load-bearing walls – 25 cm ceramic hollow block	5 394,18	5 124,95
Elewacja ze styropianu gr. 15 cm w wykończeniu Elevation of 15 cm expanded polystyrene in finish	10 155,04	5 970,13
Wartość inwestycji The value of the investment		26 644,3

TABELA 4. Koszt budowy ścian zewnętrznych analizowanego budynku jednorodzinnego w technologii pustaków styropianowych (opracowanie własne)
 TABLE 4. The cost of building external walls of the analyzed single-family building in the technology of polystyrene blocks (own elaboration)

Rodzaj robót Type of works	Materiały Materials [PLN]	Robocizna Labor [PLN]
Ściany nośne zewnętrzne – styropianowy gr. 5 + 15 + 15 cm External supporting walls – 5 + 15 + 15 cm styrofoam	22 714,58	2 691,23
Wykończenie elewacji Elevation finish	1 665,68	2 626,85
Wartość inwestycji The value of the investment		29 698,34

technologii niż tradycyjne, co podyktowane jest przekonaniem o niezawodności rozwiązań tradycyjnych. Często inwestorzy decydują się na rozwiązania pośrednie, tj. ze względów na szybkość prowadzenia prac wybudowanie jedynie ścian zewnętrznych z wykorzystaniem systemów pustaków styropianowych.

Wartość współczynnika przenikania ciepła (U) dla ścian zewnętrznych analizowanego budynku, budowanych metodą tradycyjną, określono jako $U = 0,1757 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, a wartość współczynnika przenikania ciepła (U), jaką deklaruje producent pustaków styropianowych, to $U = 0,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Zakładając, iż wartości U dla pozostałych przegród budowlanych w budynku pozostają stałe, można przeanalizować sens ekonomiczny zmiany technologii budowania domu jednorodzinego na system pustaków styropianowych tylko dla ścian zewnętrznych. W programie Autodesk Building Energy Certificate Professional określono dla dwóch wariantów wskaźnik EP . Dla wariantu tradycyjnego wskaźnik EP jest na poziomie

$77,24 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$, a dla wariantu ze ścianami zewnętrznymi wykonanymi z pustaków styropianowych wynosi $75,15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$. Roczny koszt ogrzania budynku można policzyć ze wzoru:

$$R_k = Z \cdot P_u \cdot K_k \quad (1)$$

gdzie:

R_k – roczny koszt ogrzania budynku,
 Z – zapotrzebowanie na energię pierwotną (EP),
 P_u – powierzchnia użytkowa budynku,
 K_k – koszt kWh (ogrzewanie gazowe z uwzględnieniem sprawności pieca, $0594 \text{ PLN}\cdot\text{kWh}^{-1}$).

Podstawiając wartości do wzoru, otrzymano roczny koszt ogrzania domu dla wariantu pierwszego $3532,80 \text{ PLN}$, a dla wariantu drugiego $3437,21 \text{ PLN}$. Różnica w rocznych kosztach ogrzewania dla obu wariantów wynosi $95,59 \text{ PLN}$. Różnica w kosztach podczas budowy wynosiła $3054,04 \text{ PLN}$ na korzyść technologii tradycyjnej. Wynika z tego, iż nakład finansowy pokryty na początku budowy zwróci się inwestorowi w około 30 lat.

Wnioski

Graficzne przedstawienie rozkładu temperatur w analizowanych przegrodach budowlanych wykonanych z pustaków styropianowych pozwala na określenie wielkości stref zakłócenia jednorodnego przepływu ciepła. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, iż w przypadku przegrody wykonanej z pustaków styropianowych z przewiązkami ze stali temperatura w przegrodzie po stronie wewnętrznej budynku była najniższa z analizowanych i wynosiła 17,54°C, a dla tego samego punktu odniesienia w przegrodzie z przewiązkami ze styropianu temperatura wynosiła 19,73°C. Badając maksymalne gęstości strumienia ciepła, stwierdzono, iż najmniejszy wpływ na izolacyjność cieplną przegrody mają pustaki ze styropianowymi przewiązkami, co przekłada się na współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę (U), który był najbardziej korzystny właśnie dla tego rodzaju analizowanego pustaka. Analizując koszty ogrzewania dla omawianego budynku, najmniejszy koszt uzyskano dla ścian z pustaków styropianowych z przewiązkami zintegrowanymi, który wynosił 3437,21 PLN. Gdyby ściany zewnętrzne wybudowano z pustaków z przewiązkami z polichlorku winylu, koszt ten wzrósłby o około 6%.

Oplacalność ekonomiczna systemów z pustaków styropianowych jest ściśle uzależniona od kosztów robocizny. Budowanie za pomocą omawianych systemów jest dużo prostsze oraz mniej czasochłonne, a co za tym nakład na robociznę jest mniejszy. W przedstawionej analizie wykazano, iż wykorzystanie tego systemu tylko do jednego

z elementów konstrukcyjnych domu jednorodzinnego (ściany nośne zewnętrzne) jest mało opłacalne, budowa z wykorzystaniem wszystkich dostępnych systemów (płyta fundamentowa, ściany nośne zewnętrzne, pokrycie dachowe) wygeneruje dużo większe oszczędności, ponieważ nakład na robociznę będzie znacznie mniejszy w stosunku do budowania w sposób tradycyjny.

Rozpatrując wartość inwestycję wykonaną z wykorzystaniem kompleksowych rozwiązań systemowych, tj. elementów płyty fundamentowej, systemów dachowych oraz ściennych, jej wartość wzrosłaby do kwoty 196 084,6 PLN, a koszt robocizny w stosunku do rozwiązań tradycyjnych zmniejszyłby się o około 25%, nakład na materiały zaś zwiększyłby się o podobną wartość. Analizując czas trwania budowy do stanu deweloperskiego, w przypadku budowania z wykorzystaniem kompleksowych rozwiązań systemowych, skróciłby się o około 20% w stosunku do budowania w sposób tradycyjny. Decyzja o zmianie technologii budowania domu jednorodzinnego powinna być poparta przede wszystkim chęcią zmniejszenia wskaźnika przenikania ciepła (U) dla danej przegrody budowlanej.

Literatura

- Helbrych, P. (2014). Technologia wykonywania budynków jednorodzinnych przy użyciu pustaków styropianowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Budownictwo*, 170, 73-80.
- Helbrych, P. (2016). Wykorzystanie metody elementów skończonych w modelowaniu wymiany ciepła w przegrodzie budowlanej wykonanej z pustaków styropianowych.

- Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 2(18), 35-40.
- Jura, J. (2015). Budowlane materiały izolacyjne. *Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym*, 2(16), 39-44.
- Katalog produktów Izodom2000. Pobrano z lokalizacji Firma Izodom 2000 Polska: <http://www.izodom2000polska.com/?lang=pl>.
- Rutkowska, G. i Baryłka, K. (2011). Analiza wpływu materiałów budowlanych na mikrośrodko budynków mieszkalnych. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 20(3), 174-182.
- PN-EN 12831:2006. Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- PN-EN ISO 6946:2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690, z późn. zm.).

Streszczenie

Pustaki styropianowe – analiza numeryczna oraz ekonomiczna w kontekście zrównoważonego rozwoju. W artykule przedstawiono analizę numeryczną parametrów wymiany ciepła w zewnętrznej, pionowej przegrodzie budowlanej wykonanej z różnych systemów pustaków styropianowych. Analizowano wpływ styropianowych przewiązek wewnętrznych na rozkład gęstości strumienia ciepła oraz rozkład temperatury w przegrodzie. Wykazano przydat-

ność metody elementów skończonych do obliczeń cieplnych przegród budowlanych. Ponadto analizowano opłacalność ekonomiczną wykorzystania pustaków styropianowych do budowy domu jednorodzinnego, wykazano znaczny udział nakładów na robociznę na cenę końcową budynku wykonanego w omawianej technologii.

Summary

Styrofoam blocks – numerical and economic analysis in the context of sustainable development. The paper presents a numerical analysis of heat exchange parameters in an external, vertical building partition made of various polystyrene blocks. The influence of styrofoam internal laths on the distribution of heat flux density and temperature distribution in the partition was analyzed. The usefulness of finite element method for thermal calculations of building partitions has been demonstrated. In addition, the economic viability of the use of styrofoam blocks for the construction of a single-family house was analyzed, a significant share of outlays on labor on the final price of the building made in the discussed technology was demonstrated.

Authors' address:

Robert Kruzel, Paweł Helbrych
Politechnika Częstochowska
Wydział Budownictwa
Katedra Organizacji i Technologii Budownictwa
ul. Akademicka 3, 42-200 Częstochowa
Poland
e-mail: phehbrych@bud.pcz.czest.pl