

ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Komputerowa symulacja przepływu ciepła dla wybranych rozwiązań konstrukcyjnych okien

T. Kędra^a, A. Skorupa^a, A. Śliwa^b, M. Sroka^b

^a Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: tkedra@o2.pl

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: agata.sliwa@polsl.pl

Streszczenie: Celem pracy jest analiza numeryczna kształtowania się współczynnika izolacyjności termicznej przy różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych przegród oraz przeszkleń okiennych. W ramach pracy wykonano analizę termiczną trzech wariantów konstrukcyjnych w zależności od grubości szyby i warstwy izolacyjnej oraz ich ilości. W celu uzyskania większej przejrzystości wyników zastosowano ekstremalne warunki konwekcji na powierzchniach okna. Analizę termiczną przeprowadzono za pomocą oprogramowania SolidWorks Simulation.

Abstract: Subject of this study is to analyse numerical value of factor of thermal isolation for different solutions in constructions of windows. In this work was created thermals analysis for three different designs. Design of windows depends of glass and isolation layer thickness and their quantities. To achieve greater transparency of the results, it was used extreme convection conditions on the windows surface. Thermal analysis was performed by using SolidWorks Simulation.

Słowa kluczowe: metoda elementów skończonych, SolidWorks Simulation, konstrukcja okna.

1. WSTĘP

Okno istnieje już od czasów antycznych. Początkowo był to jedynie otwór w ścianie, który z czasem zaczęto wypełniać skórą, drewnem czy tkaniną. Z upływem czasu, okno nie miało jedynie wpuszczać światła do wnętrza budynku, ale również zapewnić wentylację oraz chronić wnętrze przed czynnikami atmosferycznymi. W okresie gotyku okno stało się „samodzielnym tworem”. Zaczęto zwracać uwagę na zdobienia. W górnej części gotyckiego okna zaczęto stosować geometryczne wzory odkute z kamienia. W dojrzałym renesansie

natomiast pojawiły się okna o obramieniach prostokątnych, które zwieńczone były trójkątnym lub odcinkowym przyczółkiem. To renesansowym poszukiwaniom oryginalnych rozwiązań, zawdzięczamy powstanie okna o kształcie popularnym w dzisiejszych czasach. W Baroku kształt okna pozostał taki jak w dojrzałym renesansie, jedyne czym operowano to zdobienia. Wykonywano je z różnorodnych materiałów, takich jak marmur czy brąz. Przede wszystkim barok wzmocnił rolę okna. W tym okresie zyskały większą powierzchnię, dzięki temu budowie wydawały się mocniejsze i potężniejsze niż w rzeczywistości. Wpływ na architekturę XIX wieku miał przede wszystkim okres gwałtownych zmian społeczno-ekonomicznych oraz rozwój przemysłu. W społeczeństwie powróciła moda na prostotę i funkcjonalność budowli, zaczęto wzorować się na budowach klasycznych. Okna przybrały kształt kwadratów i prostokątów z niezbyt wysokimi łukami, z bardzo oszczędnymi zdobieniami w formie kwiatów lub motywów antycznych. We wszystkich formach zachowywano symetrię[4].

Szkło i jego charakterystyka

W myśl Lichoły [3] przegrody przezroczyste w budynkach stosowane są głównie z potrzeby doświetlenia pomieszczeń światłem dziennym. Jednak odpowiednie doświetlenie nie powinno kolidować z ochroną przed nadmiernymi stratami ciepła ogrzewanych pomieszczeń w okresach obniżonych temperatur oraz nadmiernym przegrzewaniem się pomieszczeń okresie letnim. Zewnętrzne przegrody przezroczyste powinny również zapewnić możliwość kontrolowania ich rozszczelnienia w celu zapewnienia wentylacji pomieszczeń. Szkło budowlane to zazwyczaj szkło sodowo-wapienno-krzemianowe, którego zawartość składników przedstawiono w tabeli poniżej. W szkłe mogą być również stosowane w niewielkich ilościach inne składniki, np. barwniki, które najczęściej są w postaci tlenków metali. Skład chemiczny szkła został przedstawiony w tab. 1.

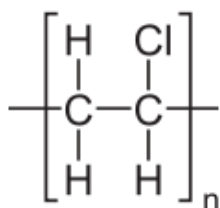
Tab. 1. Zawartość składników szkła budowlanego wg PN-EN 572-1:2012[5]

Table. 1. The content of the glass building components by PN-EN 572-1:2012[5]

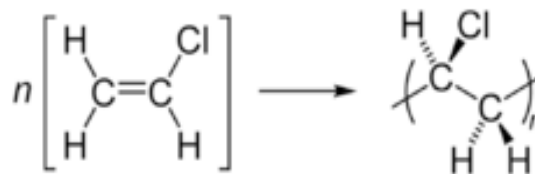
Związek chemiczny	Zawartość [%]	
	od	do
Dwutlenek krzemu (SiO ₂)	69	74
Tlenek wapniowy (CaO)	5	12
Tlenek sodowy (Na ₂ O)	12	16
Tlenek magnezowy (MgO)	0	6
Tlenek glinowy (Al ₂ O ₃)	0	3

Poli(chlorek winylu)

Poli(chlorek winylu) (PVC – od polyvinyl chloride) jest polimerem wytwarzanym w procesie polimeryzacji chlorku winylu. Jest tworzywem termoplastycznym charakteryzującym się dobrymi własnościami mechanicznymi (moduł sprężystości, wytrzymałość na rozciąganie) oraz odpornością na działanie licznych rozpuszczalników. Poniżej przedstawiono wzór strukturalny (rys. 1.) oraz schemat syntezy PVC (rys. 2.)[7].

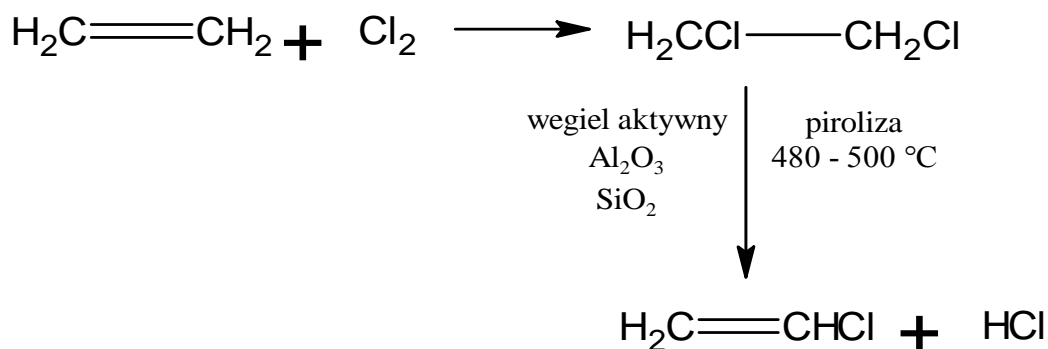


Rys. 1. Wzór poli(chlorkuwinylu)
Fig. 1. Formula of polyvinyl chloride



Rys. 2. Schemat syntezy poli(chlorku winylu)
Fig. 2. Synthetic scheme of polyvinyl chloride

Pierwszym etapem produkcji PCV jest wytwarzanie monomeru chlorku winylu podczas reakcji addycji Cl_2 do etylenu. Jest to proces dwuetapowy przeprowadzany z wykorzystaniem katalizatorów (węgiel aktywny, Al_2O_3) w temperaturze około 500°C . Produktem ubocznym wytwarzania monomerów chlorku winylu jest chlorowódor. Poniższy schemat (rys. 3.) przedstawia reakcję chemiczną wytwarzania chlorku winylu. Następny etapem jest synteza poli(chlorku winylu). W przemyśle otrzymuje się go suspensyjnie, blokowo-strąceniowo lub emulsyjnie. Polymer powinien zawierać nie więcej niż 5 ppm^1 wolnego monomeru dla PCW ogólnego zastosowania. Poli(chlorek winylu) na skalę masową został wykorzystany do produkcji: rur i kształtek, elewacji (siding), stolarki drzwiowej i okiennej, w elektronice i elektrotechnice jako izolacja przewodów, płyt gramofonowych, obudowy i opakowań. Ze względu na własności poli(chlorku winylu) istnieje podział na PVC-U (twardy) oraz PVC-P (miękki) o zwiększonej liczbie związków uplastyczniających [6].



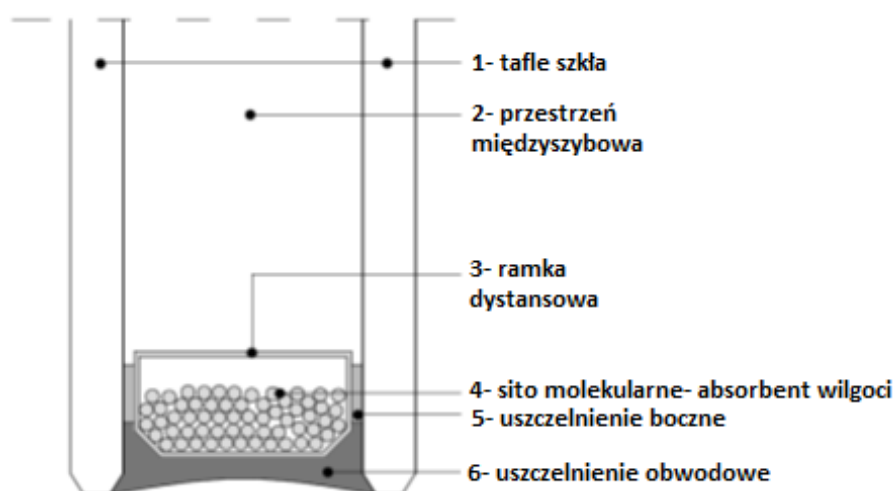
Rys. 3. Schemat procesu wytwarzania chlorku winylu [7]
Fig. 3. Diagram of the process for manufacturing vinyl chloride [7]

Elementy konstrukcji szyb

W pracy Steidla [1] opisano najczęściej stosowaną dzisiaj na rynku technologią, dzięki której możliwe jest łączenie kilku rodzajów szkła w jednej przegrodzie stanowi technologia

¹ ppm (ang. parts per million) – sposób wyrażania stężenia bardzo rozcieńczonych roztworów związków chemicznych. Stężenie to jest pochodną ułamka molowego i określa ile cząsteczek związku chemicznego przypada na 1 milion cząsteczek roztworu.

szyb zespolonych. Szyba zespolona (Rys. 4.) to trwały i hermetyczny układ dwu lub więcej tafli szkła (1), które oddzielone są od siebie za pomocą ramki dystansowej (3). W przestrzeni pomiędzy szybami znajduje się osuszone powietrze lub gaz szlachetny, osuszenie to osiągnięte jest dzięki wypełnieniu ramki sitem molekularnym (4), czyli środkiem silnie higroskopijnym w postaci granulatu. Ramka dystansowa łączy poprzez uszczelnienie boczne (5) materiałami klejaco – uszczelniającymi, tafle szkła (1). Dzięki uszczelnieniu obwodowemu (6) zapewniona jest szczelność układu poprzez zminimalizowany dopływ pary wodnej do wnętrza. Tafle szkła na powierzchniach, mogą posiadać różnego rodzaju powłoki funkcyjne.



Rys. 4. Schemat szyby zespolonej jednokomorowej wg PN-EN ISO 10077-1:2007

Fig. 4. Scheme of the single chamber insulating glass by PN-EN ISO 10077-1:2007

Na rynku obecnie dostępne są okna drewniane, z PVC, z aluminium oraz z kompozytu poliestrowo– szklanego zwanego fibreglasem. Jakość okien z różnych rodzajów materiałów jest porównywalna, dlatego należy wybierać je kierując się ich przeznaczeniem i gustem. Okna wykonane z drewna zazwyczaj uważane są za ekologiczne i stylowe, jednak mają dodatkową zaletę, można z nich wykonać nietypowe kształty. Drewno stosowane do wykonania okien to świerk, sosna, modrzew, dąb oraz drewno egzotyczne takie jak mahoń czy meranti czerwone. Okna drewniane występują w dwóch odmianach: jako lite czyli wykonane z jednego kawałka drewna lub jako klejone. Bardziej polecane są okna klejone, ze względu na to iż pomagają uniknąć wad takich jak, np. sęki. Okna wykonane z PVC są stosunkowo tanie, odporne na uszkodzenia i wyjątkowo proste w użytkowaniu. Ramy tych okien mają budowę komorową. W celu zwiększenia izolacyjności termicznej okna należy zwiększyć ilości komór. PVC jest materiałem szczelnym, dlatego okna z tego materiału koniecznie powinny być wyposażone w funkcję mikrowentylacji lub rozszczelniania [2].

Wymagania stawiane oknom

Przegrodom przezroczystym, do których zalicza się między innymi okna i drzwi balkonowe, stawiane są wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej, infiltracji powietrza, izolacyjności akustycznej, szczelności na przenikanie wody oraz bezpieczeństwa. Przenikalność cieplną okien wyznaczać można jedną z dwóch metod: metodą referencyjną skrzynki grzejnej z zastosowaniem normy PN-EN ISO 12567-1:2010 lub za pomocą obliczeń stosując normy PN-EN ISO 10077-1:2007 i PN EN ISO 10077-2:2012, obie te metody są równorzędne. Zazwyczaj współczynnik ciepła wyznaczany jest metodą obliczeniową ze względu na łatwość stosowania. Współczynnik ten można obliczyć sposobem uproszczonym, korzystając z metodyki zawartej w Polskiej Normie PN-EN ISO 10077-1:2007. Metoda ta zakłada, że wypadkowy współczynnik przenikania ciepła przez okno zależy od:

- rodzaju oraz sposobu zamontowania oszklenia w ramie, w tym od liczby szyb, rodzaju gazu wypełniającego komory międzyszybowe i materiału opaski dystansowej zespalającej szyby lub szczeliwa uszczelniającego ich krawędzie na styku z ramą,
- właściwości termofizycznych materiału ram i ościeżnicy,
- geometrii oraz udziału pola powierzchni ramy z ościeżnicą w łącznej powierzchni całego okna mierzonej w świetle otworu w przegrodzie budowlanej[1].

2. CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest przeprowadzenie analizy kształtowania się współczynnika izolacyjności termicznej przy różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych przegród oraz przeszkleń okiennych. Analiza została przeprowadzona za pomocą oprogramowania do analiz termicznych SolidWorks Simulation. Zakres pracy obejmował przeprowadzenie analizy termicznej trzech wariantów konstrukcyjnych w zależności od grubości szyby i warstwy izolacyjnej oraz ich ilości.

Założenia materiałowe

Materiał przeszkleń – Szkło

- Współczynnik przewodzenia ciepła - **0.74976 W/(m.K)**
- Ciepło właściwe - **834.61 J/(kg.K)**
- Masa właściwa - **2457.6 kg/m³**

Materiał przegród – powietrze

- Współczynnik przewodzenia ciepła - **0.027 W/(m.K)**
- Ciepło właściwe - **1000 J/(kg.K)**
- Masa właściwa - **1.1 kg/m³**

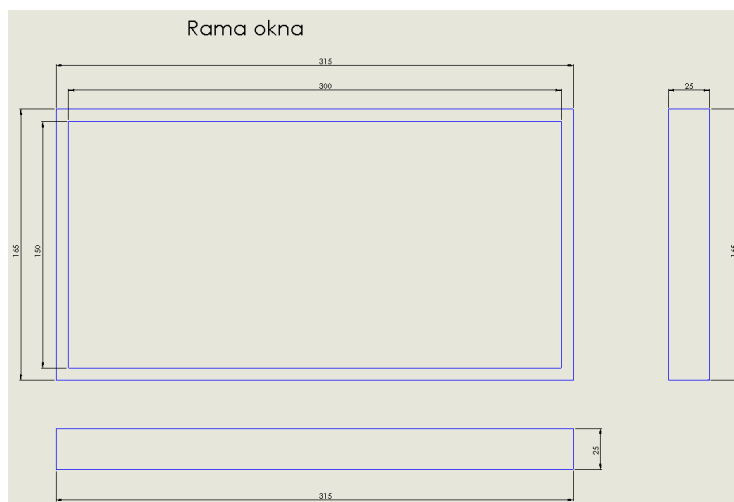
Materiał ramy okiennej – PVC

- Współczynnik przewodzenia ciepła - **0.147 W/(m.K)**
- Ciepło właściwe - **1355 J/(kg.K)**

- Masa właściwa - 1300 kg/m^3

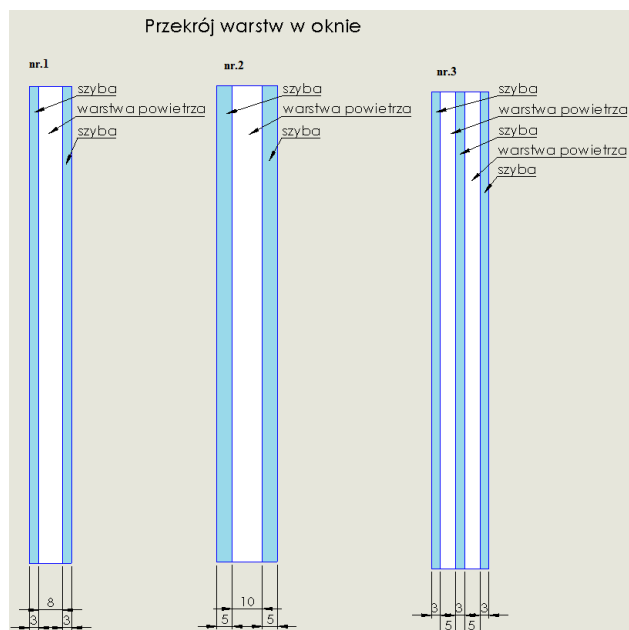
Założenia konstrukcyjne

Do symulacji przygotowano trzy warianty konstrukcji okien. Na rysunku 5 przedstawiono wymiary okna, natomiast schematy założonych konstrukcji obrazuje rysunek 6 oraz tabela 2. Model geometryczny okna z nałożoną siatką elementów skończonych przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 5. Schemat i wymiary okna wraz z ramą

Fig. 5. The scheme and the dimensions of the window with a frame



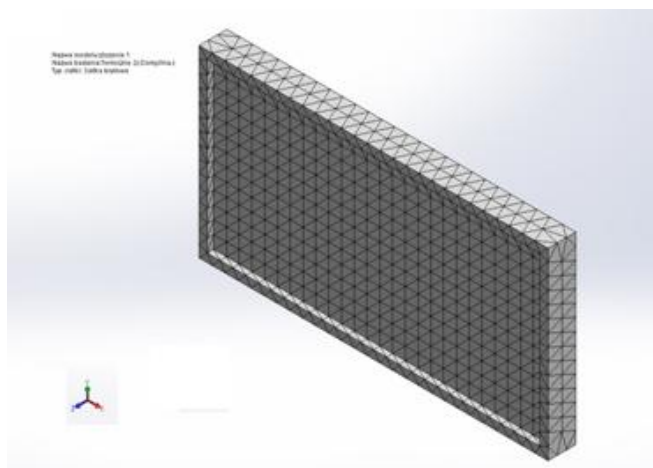
Rys. 6. Schemat szyb zespolonych – konstrukcji nr 1, 2, 3

Fig. 6. Scheme of insulating glass- construction 1, 2, 3

Tab. 2. Założenia konstrukcyjne poszczególnych okien

Table 2. Construction assumptions in windows

Nr konstrukcji	całkowita grubość	ilość warstw szkła	grubość szkła	ilość warstw powietrza	grubość warstwy
konstrukcja 1	14mm	2	3mm	1	8mm
konstrukcja 2	20mm	2	5mm	1	10mm
konstrukcja 3	19mm	3	3mm	2	5mm



Rys. 7. Okno z nałożoną siatką elementów skończonych

Fig. 7. The window with applied finite element mesh

Obciążenia termiczne

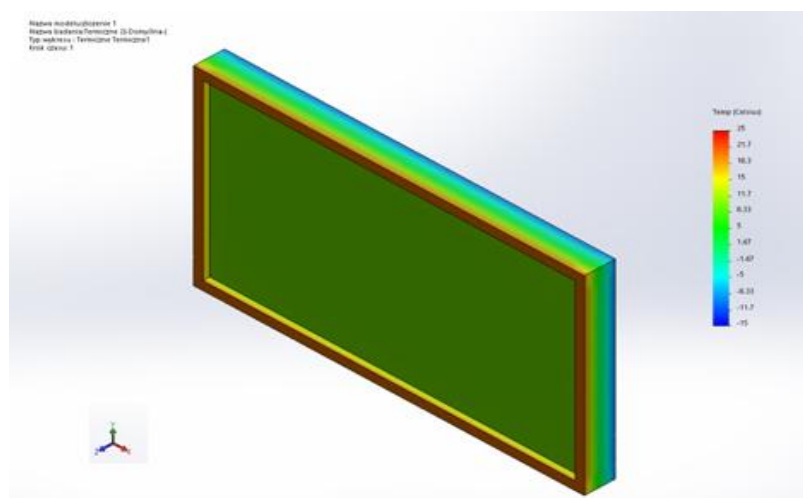
W celu uproszczenia modelu pominięto konwekcje ramy i ustalono temperaturę ramy. Na wewnętrzną stronę ramy przyłożono temperaturę w wysokości 293K, natomiast temperaturę otoczenia ustalono na 295K. Na ramę zewnętrzną przyłożono temperaturę w wysokości 263K natomiast temperatura otoczenia wynosi 258K. Różnica temperatur pomiędzy ramą a otoczeniem ma za zadanie uwidocznić przepływ temperatury na powierzchni okna. Normy i parametry techniczne dla powietrza i szyby przewidują zakres współczynnika konwekcji na poziomie od **6 W/(m².K) do 25 W/(m².K)**. W celu uzyskania większej przejrzystości wyników zastosowano skrajne warianty konwekcji dla obu stron okna.

Konwekcja ściany(szyby) wewnętrznej :

- Współczynnik konwekcji : **6W/(m².K)**
- Temperatura otoczenia : 295K
- Temperatura szyby : 293K

Konwekcja ściany(szyby) zewnętrznej :

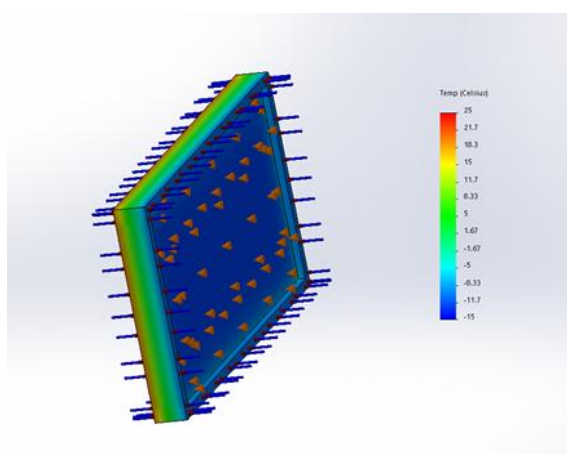
- Współczynnik konwekcji : **25W/(m².K)**
- Temperatura otoczenia : 258K
- Temperatura szyby : 263K



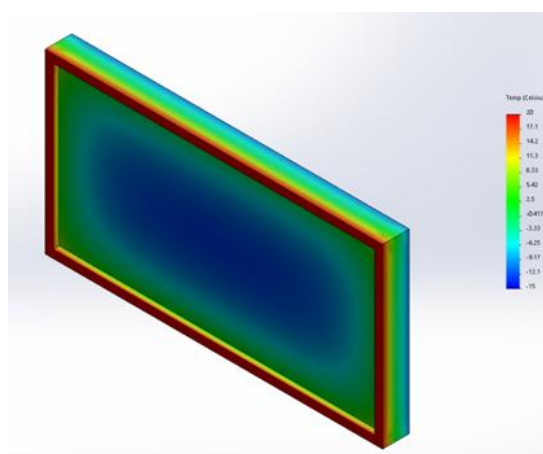
Rys. 8. Rozkład temperatury okna po nałożeniu warunków brzegowych
 Fig. 8. Window's temperature distribution after giving boundary conditions

Wyniki symulacji

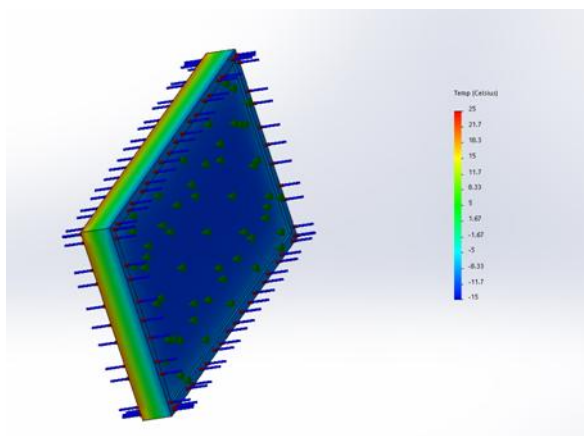
W wyniku symulacji uzyskano rozkład temperatury na powierzchni okna (rys. 9-14) oraz temperaturę minimalną i maksymalną uzyskaną po ustabilizowaniu przepływu ciepła (tab. 3.). Największą stratę ciepła uzyskano przy konstrukcji nr 1, temperatura średnia szyby wewnętrznej wynosiła $5,9^{\circ}\text{C}$. Konstrukcja nr 2 wykazała najkorzystniejsze właściwości izolacyjne. Temperatura średnia na powierzchni szyby wewnętrznej wynosiła $8,4^{\circ}\text{C}$, spowodowane jest to największą grubością warstwy izolacyjnej (powietrza). Pomimo zastosowania dodatkowej komory, konstrukcja nr 3 nie wykazała wysokich właściwości izolacyjnych. Przyczyną najprawdopodobniej jest zbyt mała odległość między szybami, sprzyjająca swobodnej wymianie ciepła.



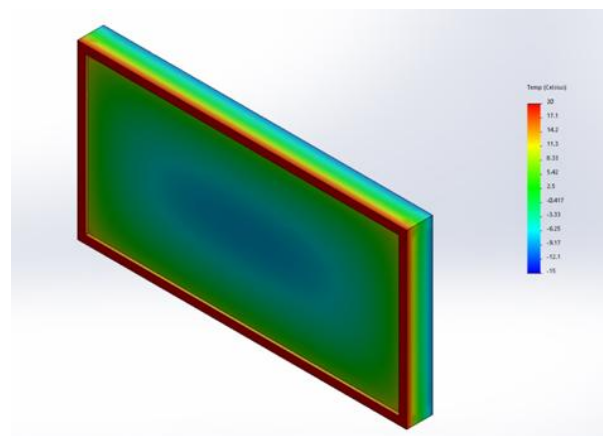
Rys. 9. Rozkład temp. zewnętrznej- k. nr 1
 Fig. 9. Distribution of the outside temperature- c. 1



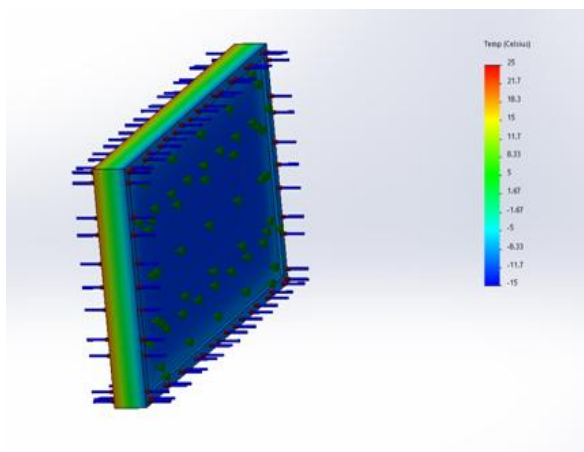
Rys. 10. Rozkład temp wewnętrznej- k. nr 1
 Fig. 10. Distribution of the inside temperature- c. 1



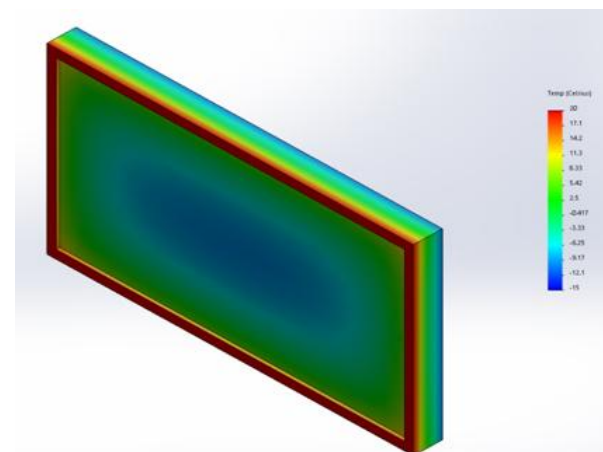
Rys. 11. Rozkład temp zewnętrznej- k. nr 2
 Fig. 11. Distribution of the outside temperature- c. 2



Rys. 12. Rozkład temp wewnętrznej- k. nr 2
 Fig. 12. Distribution of the inside temperature- c. 2



Rys. 13. Rozkład temp zewnętrznej- k. nr 3
 Fig. 13. Distribution of the outside temperature- c. 3



Rys. 14. Rozkład temp wewnętrznej- k. nr 3
 Fig. 14. Distribution of the inside temperature- c. 3

Tab. 3. Wyniki przeprowadzonej analizy wpływu konstrukcji na przepływ temperatury na powierzchni okna

Table. 3. The results of the analysis of the impact of construction on temperature flow at the window surface

Nr konstrukcji	Szyba zewnętrzna		Szyba wewnętrzna		
	Temp. max [°C]	Temp. min [°C]	Temp. max [°C]	Temp. min [°C]	Temp. średnia [°C]
konstrukcja 1	-12,24	-14,79	18,4	-6,7	5,9
konstrukcja 2	-12,91	-14,41	19,4	-4	8,4
konstrukcja 3	-12,61	-14,46	19,1	-6,3	7,9

3. PODSUMOWANIE

Celem pracy było przeprowadzenie analizy rozkładu temperatury i utraty ciepła przy różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych przegród pionowych okien. Za pomocą analizy określono jakie konstrukcje warto zastosować i w jaki sposób przy danych rozwiązaniach konstrukcyjnych kształtuje się rozkład temperatury na oknie. W celu uzyskania większej przejrzystości wyników zastosowano ekstremalne warunki konwekcji na powierzchniach okna. Przeprowadzone badania potwierdziły obecnie przyjęte w rozporządzeniach i normach wymagania dotyczące parametrów technicznych okien. Największy wpływ na parametry izolacyjne okna (poza materiałem ramy) wykazała grubość warstwy izolacyjnej między szybami. W celu uzyskania najlepszych własności należy stosować szkło o grubości co najmniej 4mm, oraz odległość między szybami nie mniejszą niż 6mm. Stosowanie dodatkowych komór może pozytywnie wpływać na parametry izolacyjne.

LITERATURA

1. Steidl T. i inni, Poradnik diagnostyki cieplnej budynków – Tom 1. Diagnostyka In situ izolacyjności cieplnej budynków, Politechnika Śląska, 2013
2. Dąbrowski T, Okna prawidłowo zamontowane – poradnik, Log InMedia, 2008
3. Lichoła L., Budownictwo ogólne – Tom 3. Elementy budynków. Podstawy projektowania, Arkady, 2008
4. http://www.aliplast.pl/historia_okna_id_89.html
5. PN-EN ISO 10077-1:2007
6. PN-EN 572-1:2012
7. J. F. Rabek Polimery, otrzymywanie metody badawcze, zastosowanie Wydawnictwo Naukowe PWN; Warszawa 2013