

Marcin KACZMARZYK¹

WPŁYW WSPÓŁCZYNNIKA KSZTAŁTU A/V NA WIELKOŚĆ STRAT CIEPŁA W BUDYNKU W ŚWIETLE ROSNĄCYCH WYMOGÓW DOTYCZĄCYCH IZOLACYJNOŚCI TERMICZNEJ PRZEGRÓD BUDOWLANYCH

Celem niniejszego artykułu było określenie jaki faktyczny wpływ na wielkość sezonowych strat ciepła przez obudowę termiczną budynku miało kiedyś i może mieć obecnie zachowanie zwartej bryły budynku. W artykule przybliżono pojęcia izolacyjności termicznej i współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych. Przedstawiono tu także krajowe wymogi dotyczące izolacyjności termicznej przegród budowlanych, jakie obowiązywały w minionych dekadach, jakie obowiązują obecnie i te, które będą stawiane wobec przegród budowlanych w najbliższych latach. Wyjaśniono także, czym dla budynku jest współczynnik kształtu A/V i powód, dla którego kształt bryły budynku może wpływać na jego charakterystykę energetyczną.

Zaprezentowano wnioski sformułowane przez innych autorów, których prace dotyczą optymalizacji kształtu bryły budynku pod względem cieplnym. Przytoczono również krytyczne opinie dotyczące wpływu takiej optymalizacji kształtu na atrakcyjność architektury obiektów budowlanych. Metodę badawczą oparto na obliczeniach sezonowych strat ciepła w budynkach o różnych stosunkach powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury budynku A/V.

Obliczenia przeprowadzono dla 27 modeli budynków o identycznej powierzchni wewnętrznej i kubaturze wewnętrznej, lecz różniących się proporcjami wymiarów i liczbą kondygnacji. W obliczeniach wzięto pod uwagę dziewięć zestawów wartości współczynników przenikania ciepła przegród zewnętrznych, odpowiadających dawnym, aktualnym i przyszłym wymogom krajowym. Różnice w wartościach sezonowych strat ciepła uzyskane dla każdego z zestawów zinterpretowano jako potencjalne oszczędności energetyczne, wynikające z zachowania zwartej bryły budynku i ograniczenia wartości współczynnika kształtu A/V. Wyniki zestawiono i na ich podstawie sformułowano stosowne wnioski.

Słowa kluczowe: współczynnik kształtu A/V, izolacyjność termiczna, straty ciepła, obudowa termiczna budynku

1. Wstęp

Izolacyjność termiczna przegrody budowlanej określa zdolność tej przegrody do spowalniania przepływu ciepła między dwoma środowiskami oddzielo-

¹ Marcin Kaczmarzyk, Politechnika Rzeszowska, Zakład Budownictwa Ogólnego, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel. 178651026; kacmar@prz.edu.pl

nymi rozpatrywaną przegrodą. Wielkością charakteryzującą izolacyjność termiczną konkretnego materiału jest współczynnik przewodzenia ciepła λ wyrażany w [W/m·K]. Znajomość wartości współczynnika λ i grubości warstwy materiału umożliwia obliczenie oporu cieplnego tej warstwy [1]:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (1)$$

gdzie: R_i – opór cieplny warstwy materiału [$m^2 \cdot K/W$],

d_i – grubość warstwy [m],

λ_i – współczynnik przewodzenia ciepła materiału [W/m·K].

Dzięki znajomości budowy całej przegrody budowlanej, możliwe jest obliczenie wartości jej współczynnika przenikania ciepła:

$$U = \frac{1}{R_{s1} + \sum R_i + R_{s2}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (2)$$

gdzie: U – współczynnik przenikania ciepła całej przegrody [W/m²·K],

R_i – opór cieplny i-tej warstwy materiału wchodzącej w skład przegrody [$m^2 \cdot K/W$],

R_{s1} , R_{s2} – opory przejmowania ciepła między przegrodą i obu środowiskami [$m^2 \cdot K/W$].

Wartość współczynnika przenikania ciepła odpowiada gęstości strumienia ciepła, przepływającego przez daną przegrodę przy jednostkowej różnicy temperatur między środowiskami rozdzielonymi przegrodą, przy założeniu jednowymiarowego przepływu ciepła w warunkach stacjonarnych [2].

Od ponad sześćdziesięciu lat, maksymalne dopuszczalne wartości współczynnika U są regulowane przez obligatoryjne krajowe normy i rozporządzenia.

Historię zmian krajowych wymogów dotyczących izolacyjności termicznej wybranych przegród budowlanych prezentują tabele 1 i 2.

Wartość współczynnika przenikania ciepła jest miarą izolacyjności termicznej tej przegrody.

Izolacyjność termiczna przegród budowlanych to jeden z najważniejszych czynników decydujących o sezonowym zapotrzebowaniu energetycznym budynku [4]. Z tego powodu przegrody budowlane nowoczesnych budynków pasywnych i niskoenergetycznych odznaczają się bardzo niskimi wartościami współczynników przenikania ciepła.

Innym czynnikiem mogącym mieć wpływ na wielkość strat ciepła jest zwartość bryły budynku, opisywana pośrednio za pomocą współczynnika kształtu A/V , czyli stosunku powierzchni obudowy termicznej budynku i kubatury jego przestrzeni ogrzewanej [5] [6].

Tabela 1. Maksymalne dopuszczalne wartości współczynników przenikania ciepła – obligatoryjne normy krajowe [3]

Table 1. Maximum permissible values of heat transfer coefficients - polish building codes [3]

Przegroda	PN-57/ B-02405	PN-64/ B-03404	PN-74/ B-03404	PN-82/ B-02020	PN-91/ B-02020
ściany zewnętrzne	1,16-1,42	1,16-1,42	1,16-1,42	0,75	0,55-0,70
dachy i stropodachy	0,87	0,87	0,7	0,45	0,3
podłogi na gruncie	b/w	b/w	b/w	b/w	b/w
stropy pod nieogrzewanymi poddaszami	1,04-1,16	1,04-1,16	0,93	0,4	0,3
stropy nad nieogrzewanymi piwnicami	1,16	1,16	1,16	1,16	0,6
okna	b/w	b/w	b/w	2,00-2,60	2,00-2,60
drzwi zewnętrzne	b/w	b/w	b/w	2,6	2,6

Tabela 2. Maksymalne dopuszczalne wartości współczynników przenikania ciepła –krajowe rozporządzenia [3]

Table 2. Maximum permissible values of heat transfer coefficients - polish executive orders [3]

Przegroda	Dz. U. 2002 Nr 75 poz. 690	Dz. U. 2008 Nr 201 poz. 1238	Dz. U. 2013 poz. 926 od 2014	Dz. U. 2013 poz. 926 od 2017	Dz. U. 2013 poz. 926 od 2021
ściany zewnętrzne	0,30-0,50	0,3	0,25	0,23	0,2
dachy i stropodachy	0,3	0,25	0,2	0,18	0,15
podłogi na gruncie	b/w	0,45	0,3		
stropy pod nieogrzewanymi poddaszami	0,3	0,25	0,2	0,18	0,15
stropy nad nieogrzewanymi piwnicami	0,6	0,45	0,25	0,25	0,25
okna	2,00-2,60	1,70-1,80	1,3	1,1	0,9
drzwi zewnętrzne	2,6	2,6	1,7	1,5	1,3

Na etapie projektowania budynku o zadanej powierzchni wewnętrznej lub kubaturze, bryłę budynku można kształtować w dość szerokim zakresie i przedstawić bardzo liczne koncepcje [7], różniące się liczbą kondygnacji, kształtem dachu czy obecnością różnych ciekawych rozwiązań architektonicznych, takich jak wykusze, ryzality czy loggie.

Wymienione wyżej czynniki znacząco wpływają na wielkość powierzchni przegród zewnętrznych budynku, a co za tym idzie mogą przyczynić się do redukcji lub do rozwinięcia powierzchni wymiany ciepła ze środowiskiem zewnętrznym, co bezpośrednio przekłada się na wielkość strat ciepła przez obudowę budynku [8]. Poza minimalizowaniem powierzchni obudowy termicznej, zwarta bryła budynku redukuje także całkowite długości krawędzi stanowiących liniowe mostki cieplne.

Liczni autorzy [9] [10] [11] [12] [13] zwracają uwagę na konieczność zachowania zwartej bryły budynku i uzyskania możliwie niskiego współczynnika

kształtu, celem ograniczenia powierzchni przegród zewnętrznych i w konsekwencji redukcji strat ciepła w budynku.

Inni zwracają uwagę na fakt, że budynki o prostych, zwartych bryłach są mało atrakcyjne architektoniczne i wskazują oni na konieczność zachowania kompromisu między względami energooszczędnymi i walorami estetycznymi budynku [8] [14].

2. Cel

Celem niniejszego artykułu jest sprawdzenie potencjalnych oszczędności energetycznych mogących wynikać z zachowania zwartej bryły budynku i redukcji wartości współczynnika kształtu przy zastosowaniu przegród budowlanych znacznie różniących się izolacyjnością termiczną.

3. Metoda badawcza

Przyjęta metoda badawcza polega na obliczeniu i porównaniu wartości sezonowych strat ciepła przez obudowę termiczną modeli budynków o identycznej kubaturze, lecz różniących się zauważalnie wartościami współczynników kształtu.

Do obliczeń przyjęto prostopadłościenną budynki o całkowitej powierzchni wewnętrznej wszystkich kondygnacji 250 m^2 i wewnętrznej kubaturze 650 m^3 . W obliczeniach uwzględniono obecność drzwi i okien w rozpatrywanych budynkach, a ich powierzchnię dobrano tak aby, spełniała aktualnie obowiązujące warunki techniczne. Ponieważ nie dokonywano podziału wnętrza modeli na pomieszczenia, to przyjęto, że całkowita powierzchnia przeszkleń wynosi tu $1/8$ całkowitej powierzchni wewnętrznej wszystkich kondygnacji.

Obliczenia przeprowadzono dla dziewięciu grup izolacyjności termicznej budynków, reprezentowanych dalej przez rok wydania lub początku obowiązywania danych wymogów. W każdej z grup, współczynniki przenikania ciepła przegród budowlanych odpowiadały dokładnie maksymalnym dopuszczalnym wartościom jak w tab. 1 oraz tab. 2.

Przypadku braku sprecyzowanych wymogów wobec wartości U_{\max} dla którejś z przegród, do obliczeń przyjmowano wartości współczynnika U odpowiadające typowym rozwiązaniom stosowanym w danym okresie.

W każdej z grup izolacyjności przeanalizowano 27 budynków o identycznej całkowitej powierzchni wewnętrznej kondygnacji i wewnętrznej kubaturze różniących się liczbą kondygnacji (od 1 do 3) oraz stosunkiem wewnętrznych wymiarów rzutu l/d (od 1:1 do 1:3). W rezultacie otrzymano zakres wartości współczynników kształtu A/V od 0,83 do 1,26 [m^2/m^3].

Przyjęto, że wszystkie analizowane budynki posiadają ściany dwuwarstwowe oraz ciągłą izolację termiczną na całej powierzchni obudowy termicznej. Umożliwiło to wyeliminowanie wpływu udoskonalających się z czasem rozwiązań montażowych na otrzymane wyniki.

We wszystkich budynkach zastosowano te same konstrukcje ścian zewnętrznych, stropodachów i podłóg na gruncie.

Przy obliczaniu powierzchni przegród zewnętrznych wzięto pod uwagę zróżnicowaną grubość przegród budowlanych, która zauważalnie wzrasta wraz z ich izolacyjnością termiczną.

Przykładowo, całkowitą grubość ściany dwuwarstwowej dla konkretnej grupy izolacyjności termicznej obliczono wg wzoru:

$$d_s = d_m + d_t + \lambda_i \cdot \left(\frac{1}{U_s} - R_t - R_m - R_{si} - R_{se} \right) [m] \quad (3)$$

gdzie: U_s – współczynnik przenikania ciepła ściany [$W/m^2 \cdot K$],

d_s – całkowita grubość ściany [m]

R_t – opór cieplny tynków [$m^2 \cdot K/W$],

R_m – opór cieplny muru [$m^2 \cdot K/W$],

λ_i – wsp. przewodzenia ciepła materiału termoizolacyjnego – zawsze 0,04 W/m·K,

R_{si}, R_{se} – opory przejmowania ciepła [$m^2 \cdot K/W$],

Sezonowe straty ciepła przez obudowę termiczną budynku obliczono zgodnie z [15] wg wzoru:

$$Q_{te} = \left(\left(\sum_i (A_i \cdot U_i \cdot b_{TRi}) + \sum_j (l_j \cdot \Psi_j \cdot b_{Tij}) \right) \cdot S_{TH} \right) [kWh] \quad (4)$$

gdzie: A_i – powierzchnia elementu obudowy termicznej budynku [m^2],

U_i – współczynnik przenikania ciepła elementu obudowy termicznej [$W/m^2 \cdot K$],

l_j – długość liniowego mostka cieplnego [m],

Ψ_j – współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego [$W/m \cdot K$],

b_{TRij} – współczynnik redukcyjny obliczeniowej różnicy temperatur,

S_{TH} – liczba stopniogodzin w sezonie grzewczym [kKh].

Liczbę stopniogodzin w sezonie grzewczym przyjęto jako 90 kKh, co jest typową wartością dla obszaru Polski

Do obliczeń przyjęto zewnętrzne wymiary budynku.

Przeprowadzona analiza nie uwzględnia strat ciepła przez wentylację, dlatego określenie „straty ciepła” odnosi się tu wyłącznie do strat ciepła poprzez przenikanie przez obudowę termiczną budynku.

Wszystkie obliczenia prowadzono w arkuszu kalkulacyjnym.

4. Wyniki

Ze względu na dużą ilość danych uzyskanych podczas przeprowadzonej analizy, tabela 3 prezentuje zestawienie wybranych, najistotniejszych wyników.

Tabela 3. Zestawienie wybranych wyników

Table 3. Selected calculation results

		Grupy izolacyjności termicznej								
		1964	1974	1982	1991	2002	2008	2013	2017	2021
Q _{max}	kWh	80895,11	72217,66	52939,04	42208,77	32240,53	27243,38	20868,13	19123,21	16976,07
Q _{min}	kWh	59547,43	56564,6	39284,08	31745,75	23487,23	20934,68	16433,13	14843,67	12925,48
ΔQ	kWh	21347,68	15653,06	13654,96	10463,02	8753,301	6308,704	4435,002	4279,544	4050,591
n.Q		26,4%	21,7%	25,8%	24,8%	27,1%	23,2%	21,3%	22,4%	23,9%
n.Q.0		100,0%	73,3%	64,0%	49,0%	41,0%	29,6%	20,8%	20,0%	19,0%

Objaśnienia:

Q_{\max} [kWh] – najwyższa wartość strat ciepła w konkretnej grupie izolacyjności termicznej

Q_{\min} [kWh] – najniższa wartość strat ciepła w konkretnej grupie izolacyjności termicznej

ΔQ [kWh] różnica najwyższych i najniższych wartości strat ciepła w konkretnej grupie izolacyjności termicznej

n.Q [%] stosunek ΔQ i Q_{\max} w konkretnej grupie izolacyjności termicznej

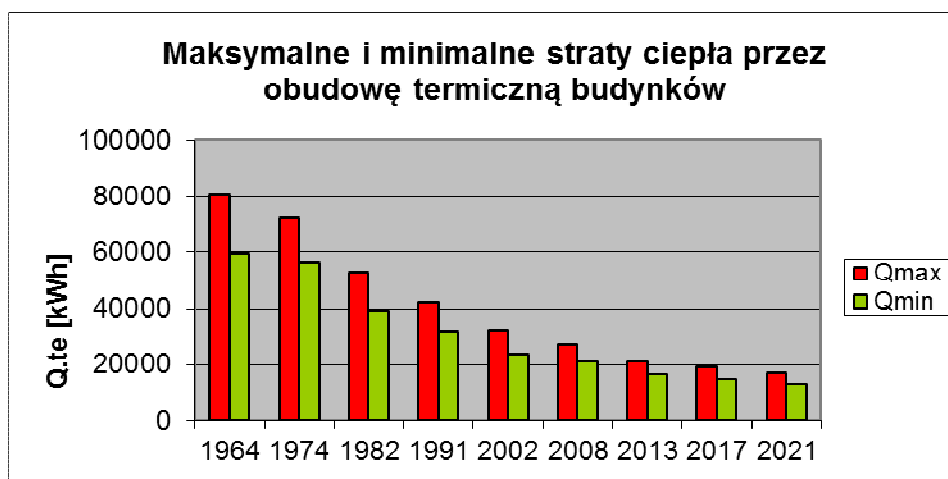
n.Q.0 [%] stosunek ΔQ w konkretnej grupie izolacyjności termicznej i ΔQ uzyskanego w grupie z 1964 r.

4.1. Izolacyjność termiczna a straty ciepła

Wyniki obliczeń udowadniają bardzo duży wpływ wzrostu izolacyjności termicznej obudowy budynku na redukcję strat ciepła przez przenikanie. Dostosowanie izolacyjności termicznej analizowanych budynków do wymogów, jakie będą obowiązywać od 2021 r. poskutkowało we wszystkich przypadkach około pięciokrotną redukcją sezonowych strat ciepła przez obudowę termiczną, w stosunku do budynków spełniających wymogi z 1964 r.

Maksymalne i minimalne straty ciepła w poszczególnych grupach izolacyjności zestawiono na wykresie rys. 1.

Bardzo dobrze dostrzegalna jest tu redukcja strat ciepła wraz z poprawą izolacyjności termicznej przegród budowlanych.



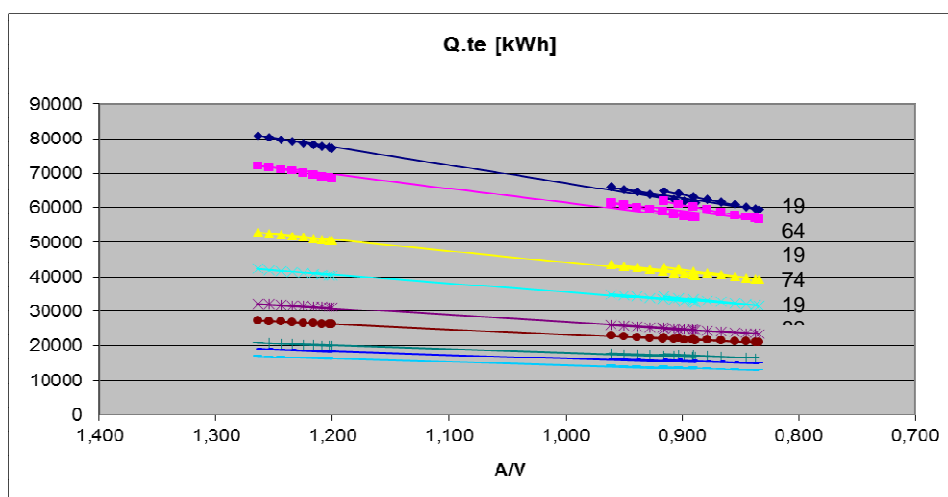
Rys. 1. Otrzymane maksymalne i minimalne wartości strat ciepła

Fig. 1. Maximal and minimal heat losses

4.2. Współczynnik kształtu A/V a straty ciepła

Analiza wyników przeprowadzonych obliczeń wykazuje dostrzegalny wpływ współczynnika kształtu A/V na różnice w stratach ciepła w obrębie konkretnej grupy izolacyjności termicznej. Zależność wielkości strat ciepła od współczynnika kształtu ukazuje rys. 2.

Redukcja stosunku A/V skutkuje niemal proporcjonalnym spadkiem strat ciepła przez obudowę termiczną budynku. Proporcjonalność zaburza fakt, iż



Rys. 2. Zależność strat ciepła Qte od współczynnika kształtu budynku A/V

Fig. 2. Correlation between heat losses Q.te and building's shape factor A/V

w sezonie grzewczym średnia temperatura gruntu pod budynkiem jest wyższa niż średnia temperatura powietrza zewnętrznego. Zjawisko to zostało uwzględnione w [15] poprzez wprowadzenie współczynnika redukcyjnego obliczeniowej różnicy temperatur b.tr, wynoszącego 0,6 dla podłogi na gruncie. Można tu zatem sformułować wniosek, że obecność przestrzeni nieogrzewanych np. poddasza nieużytkowego, piwnicy lub garażu zmniejsza wpływ współczynnika kształtu A/V na straty ciepła przez obudowę termiczną budynku.

Niemniej, zauważalna jest tu prawidłowość, że budynki o stosunkowo niskim A/V, czyli o kształcie obudowy termicznej zbliżonym do sześcianu wykazują najniższe straty ciepła.

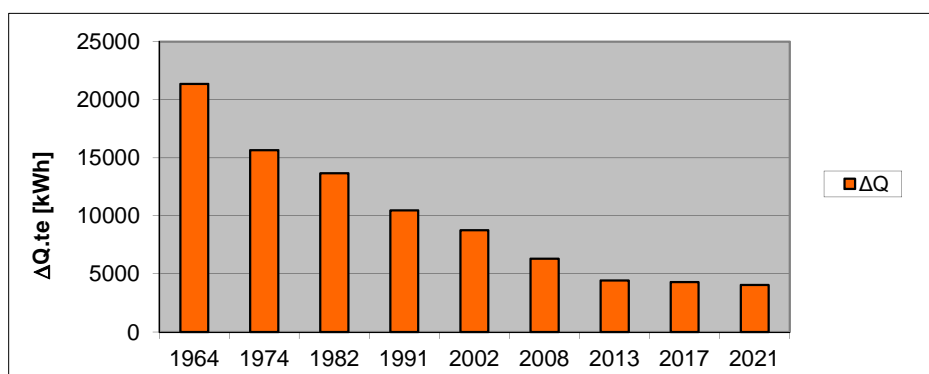
Relacje najniższych i najwyższych wartości strat ciepła były we wszystkich grupach izolacyjności bardzo podobne; różnice wynosiły średnio 24% wartości maksymalnych.

4.3. Wpływ stosunku A/V przy niskiej i wysokiej izolacyjności termicznej

Porównując bezwzględne oszczędności energetyczne wynikające z redukcji stosunku A/V w poszczególnych grupach izolacyjności termicznej, można zauważyć, że te potencjalne oszczędności zauważalnie maleją tu wraz ze wzrostem izolacyjności termicznej przegród budowlanych (rys. 3).

Wśród przeanalizowanych budynków w grupie izolacyjności termicznej z 2021, minimalizacja stosunku A/V pozwoliła tu na uzyskanie co najwyżej 19% oszczędności energetycznych (a zatem i potencjalnie finansowych) dostępnych tak do uzyskania w grupie izolacyjności z 1964 r.

Na tej podstawie można stwierdzić, że w bardzo dobrze izolowanych termicznie budynkach (np. budynkach pasywnych) dążenie za wszelką cenę do zachowania zwartej bryły budynku jest nieuzasadnione, gdyż bardzo wysoka izolacyjność termiczna marginalizuje tu wpływ współczynnika kształtu A/V na wielkość strat ciepła przez przegrody budowlane.



Rys. 3. Maksymalne różnice w wartościach strat ciepła w obrębie poszczególnych grup izolacyjności

Fig. 3. Maximal differences in heat losses among specified insulation groups

5. Wnioski

- Wartość współczynnika kształtu budynku A/V może w zauważalnym stopniu wpływać na wielkość strat ciepła przez obudowę termiczną budynku.
- Nadanie bryle budynku zwartej kształtu i zmniejszenie stosunku A/V umożliwia dostrzegalną redukcję strat ciepła.
- Rzeczywiste oszczędności energetyczne mogące płynąć z nadania obudowie termicznej budynku zwartej kształtu i redukcji stosunku A/V ulegają radykalnemu zmniejszeniu wraz ze wzrostem izolacyjności termicznej przegród budowlanych.
- Wysoka izolacyjność termiczna pozwala dziś na zachowanie większej niż kiedyś swobody w architektonicznym kształtowaniu bryły budynku.

Literatura

- [1] PN-EN ISO 6946: 2008. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła.
- [2] J.A. Pogorzelski: Fizyka Ciepła Budowli, Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1976.
- [3] Współczynnik przenikania ciepła U - historia. Portal termomodernizacyjny Termo24, <http://termo24.pl/docieplenia/wspolczynnik-przenikania-ciepla-u-historia.html> {dostęp 22-11-2016}.
- [4] R. Oleniacz, M. Kasietczuk, M. Rzeszutek: Ocena efektów termomodernizacji budynków jednorodzinnych. 1. Zmniejszenie zużycia ciepła i emisji zanieczyszczeń do powietrza, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury - Journal of Civil Engineering, Environment And Architecture. JCEEA, t.XXXI, z.61 (3/I/14), s. 183-196. DOI: 10.7862/rb.2014.55.
- [5] A. Sedláková, Vladimír Geletka: Shape of buildings and energy consumption, <https://suw.biblos.pk.edu.pl/downloadResource&mId=504384> {dostęp 22.11.2016}.
- [6] A. Panek, J. Rucińska: Analiza godzinowego algorytmu obliczania rocznego zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia budynku https://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i1/i5/i8/i1/r1581/PanekA_AnalizaGodzinowego.pdf {dostęp 22.11.2016}.
- [7] H. Jedrzejuk, W. Marks: Optimization of shape and functional structure of buildings as well as heat source utilization. Basic theory Building and Environment 37 (2002), pp. 1379-1383.
- [8] M. Idczak: Ogólna koncepcja budynku pasywnego - Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii http://www.nape.pl/upload/File/biblioteka_ibp/Ogolna_koncepcja_budynku_pasywnego.pdf {dostęp 22-11-2016}.
- [9] Xi Chen, Hongxing Yang, Lin Lu: A comprehensive review on passive design approaches in green building rating tools. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 50, October 2015, pp. 1425-1436.

- [10] I. Danielski, M. Fröling, A. Joelsson: The impact of the shape factor on final energy demand in residential buildings in nordic climates. Conference Paper: WREF - The World Renewable Energy Forum, At Denver, Colorado May 2012.
- [11] L. Jevremovic: Passive design applications - industrial architecture perspective, http://www.academia.edu/10276558/passive_design_applications_-_industrial_architecture_perspective {dostęp 22-11-2016}.
- [12] V. Butala, P. Novak: Energy consumption and potential energy savings in old school buildings. *Energy and Buildings* Volume 29, Issue 3, January 1999, pp. 241-246.
- [13] W. Marks: Multicriteria Optimisation of Shape of Energy-Saving Buildings. *Building and Environment*, Vol. 32, No. 4, pp. 331-339, 1997.
- [14] X. Shi, Z. Tian, W. Chen, B. Si, X. Jin: A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 65 November 2016, pp. 872-884.
- [15] DZ.U.2015 poz. 376 2015.04.18. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015r. W sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.

INFLUENCE OF BUILDING'S SHAPE FACTOR ON ITS HEAT LOSSES WITH RESPECT TO INCREASING REQUIREMENTS FOR BUILDING'S THERMAL INSULATION

S u m m a r y

The purpose of this paper was to determine former, current and future impact of building's shape compactness on its heat losses. The article explains such terms as thermal insulation and heat transfer coefficient of building barrier's, as well as the history of Polish national regulations concerning that subject. It was also explained, what building shape factor is, and what may be its potential impact on building's efficient Energy use. The paper presented conclusions of numerous research on building shape optimization, including critical opinions about architectural effects of the process. The scientific method was based on calculations of seasonal heat losses in multiple buildings varying with their volume to Surface area ratio. Calculations were conducted for twenty seven buildings of the same floor Surface area and interior volume, but of different proportions and number of storeys. Calculations considered nine groups of heat transfer coefficient values for building barriers, that corresponded to former, current and future standards, established by polish regulations Differences in acquired values of seasonal heat losses were interpreted as potential energy savings to be obtained by applying thermal envelopes with low shape factors. Presented results have been compared and basing on them, final conclusions were formed.

Keywords: A/V shape factor, thermal insulation, heat losses, building's thermal envelope

Przesłano do redakcji: 03.06.2017 r

Przyjęto do druku: 30.06.2017 r.