

## **WPLYW SZCZELNOŚCI W JEDNORODZINNYCH BUDYNKACH ENERGOOSZCZĘDNYCH NA ICH ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ**

Artur MISZCZUK

*Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Budowlanej, Zespół Budownictwa Ogólnego i Zrównoważonego Rozwoju  
Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, e-mail: a.miszczuk@il.pw.edu.pl*

**Streszczenie:** W niniejszej publikacji skupiono się na ocenie wpływu szczelności budynków jednorodzinnych o podwyższonym standardzie energetycznym na ich zapotrzebowanie na energię do ogrzewania. W celu sformułowania wniosków przeprowadzone zostały ilościowe oraz jakościowe badania szczelności obudowy jednorodzinnych budynków pasywnych i energooszczędnych. Następnie przeprowadzono obliczenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania. Na podstawie badań oraz obliczeń przeprowadzono symulację wpływu zmniejszenia strumienia powietrza infiltrowanego przez nieszczelności w obudowie budynku, na zapotrzebowanie na energię do ogrzewania. Uzyskane wyniki wskazują na wpływ szczelności obudowy budynku na zapotrzebowanie na energię.

**Słowa kluczowe:** szczelność budynku, charakterystyka energetyczna budynku, budynek energooszczędny

### **1. WPROWADZENIE**

W znowelizowanym w 2013 roku Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej (w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie) [10] wprowadzono program stopniowego ograniczania zużycia energii przez nowe budynki. Osiągnięcie zakładanego na etapie projektowania standardu energetycznego budynku, okazuje się w wielu przypadkach niemożliwe do spełnienia, z uwagi na małą szczelność powietrzną przegród zewnętrznych. W szczególności, problem ten występuje w budynkach energooszczędnych, gdzie wykorzystana jest wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła. Zastosowanie rekuperacji, stanowi rozwiązanie ograniczające w znacznej mierze straty ciepła na podgrzanie powietrza wentylacyjnego. Znaczenia nabierają w tej sytuacji straty ciepła spowodowane przez infiltracje powietrza zewnętrznego.

### **2. PRZYKŁADY DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ I ANALIZ NA GRUNCIE EUROPEJSKIM**

Badacze chorwaccy [1] oraz litewscy [6] analizowali możliwość występowania zależności między szczelnością budynku, a jego zapotrzebowaniem na energię. Wyszli z założenia, że poziom szczelności obudowy budynku stanowi czynnik wpływający na szybkość infiltracji powietrza. W konsekwencji oddziałuje on również na jakość powietrza w budynku i wentylację, ale także na energię niezbędną do ogrzewania i/lub chłodzenia. Autorzy w swoich analizach udowadniają, że wraz ze wzrostem szczelności budynku zmniejszają się straty ciepła [12].

Badania analogiczne do chorwackich i litewskich, przeprowadzono w warunkach polskich [4,5]. Uzyskane wyniki potwierdzają wpływ szczelności na wartość zapotrzebowania na energię użytkową, a co za tym idzie, na wartość zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną. Wpływ ten jest większy w odniesieniu do budynków o niższym zapotrzebowaniu na energię oraz w przypadku budynków, w których występują znaczne nieszczelności.

We wniosku z innych badań przeprowadzonych w Polsce, które warto przywołać [2], badacz wykazał, że niska szczelność przegród może spowodować zwiększenie zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji budynków energooszczędnych nawet o 40%.

### **3. WYMAGANY POZIOM SZCZELNOŚCI DLA NOWYCH BUDYNKÓW**

W polskich Warunkach Technicznych (WT) [10] określono poziom zalecanej szczelności budynku, który wynosi odpowiednio, dla budynku:

- z wentylacją grawitacyjną -  $n_{50} < 3,0 \text{ h}^{-1}$  (gdzie  $n_{50}$  oznacza liczbę wymian powietrza w budynku, w czasie 1h, w drodze infiltracji, przy różnicy ciśnień równej 50Pa),
- wyposażonego w wentylację mechaniczną lub klimatyzację -  $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$ .

W przytoczonych przepisach ustawodawca zaleca przeprowadzenie badania szczelności po zakończeniu budowy. Zastąpienie w WT słowa „wymagane” słowem „zalecane” powoduje, że zapis staje się martwy i zdecydowana większość inwestorów nie przeprowadza badania.

W Polsce istnieje przepis zobowiązujący do przeprowadzenia badania szczelności, jednak regulacja ta obowiązuje tylko budynki, które zostały zgłoszone do programu dopłat do budynków energooszczędnych i pasywnych (koordynatorem programu jest Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej - NFOŚiGW [11]). W przypadku starania się o przyznanie dotacji, budynek musi spełnić szereg określonych przez NFOŚiGW wymagań. Jednym z najważniejszych jest osiągnięcie szczelności przegród zewnętrznych na odpowiednio niskim poziomie. Graniczne wartości uzależnione są od standardu budynku: dla NF40 szczelność powinna być nie gorsza niż  $n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ , zaś dla NF15  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$  (gdzie skrót NF – oznacza wskaźnik zapotrzebowania na energię użytkową do ogrzewania i wentylacji odpowiednio: na poziomie  $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  i  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ) [11].

#### 4. BADANIA

Aby wnioskować o istnieniu lub braku zależności między poziomem szczelności budynku, a jego zapotrzebowaniem na energię, przeprowadzono badania w budynkach energooszczędnych i pasywnych zlokalizowanych w różnych regionach Polski.

##### 4.1. Założenia do badań

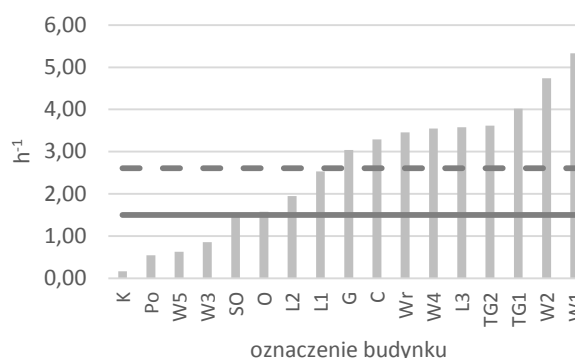
Do badań zakwalifikowano 17 jednorodzinnych budynków, znajdujących się w możliwie różnych strefach klimatycznych Polski, które charakteryzowały się potencjalnie niskim zapotrzebowaniem na energię. Selekcja budynków ze względu na zużycie energii wykonana była w oparciu o:

- Świadectwo Charakterystyki Energetycznej (w przypadku, gdy budynek takowy posiadał),
- wystąpienie właściciela budynku do NFOŚiGW o dotacje do budynku energooszczędnego (NF40) lub pasywnego (NF15),
- wstępną analizę konstrukcji budynku.

Wszystkie budynki zakwalifikowane do badania były wyposażone w wentylacje mechaniczną z odzyskiem ciepła z powietrza usuwanego.

##### 4.2. Procedura badawcza

Określenie poziomu szczelności poszczególnych budynków przeprowadzone zostało zgodnie z obowiązującą normą europejską PN-EN 13829:2002 [7] według metody B. Na czas badań wszystkie celowo wykonane otwory w obudowie budynku (takie jak: drzwi zewnętrzne, okna, otwory przewodów kominowych) oraz nawiewniki i wywiewniki w instalacji wentylacyjnej zostały zamknięte lub zaślepienie. Przygotowanie budynku do badania polegało również na zapewnieniu możliwości wyrównania ciśnienia powietrza poprzez pozostawienie otwartych wszystkich drzwi wewnętrznych w strefie ogrzewanej budynku [4].



Rys. 1. Poziom szczelności obudowy budynku  
Fig. 1. Level of building's air-tightness

Budynki, w których zostało przeprowadzone badanie szczelności posiadały zróżnicowany poziom  $n_{50}$  (od  $0,17 \text{ h}^{-1}$  dla budynku K do  $5,33 \text{ h}^{-1}$  dla W1) (rys.1). W większości z nich przekroczona została zalecana dla budynków z wentylacją mechaniczną wartość infiltracji powietrza ( $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$ ) [10] (linia ciągła na rys.1). Średnia dla wszystkich budynków wartość infiltracji powietrza wyniosła  $n_{50} = 2,6 \text{ h}^{-1}$  (linia przerywana na rys.1), przekracza ona również (niespełna 2-krotnie) wartość dopuszczalną. Określona średnia dla wszystkich przebadanych budynków wartość wykładnika charakterystyk ciśnieniowych wyniosła 0,68.

##### 4.3. Wyniki obliczeń

Obliczenia wskaźnika zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji (EU) zostały przeprowadzone metodą miesięczną zgodnie z normą PN-EN ISO 13790 [8]. Do najważniejszych danych, na których opierały się obliczenia wskaźnika EU należą:

- powierzchnia, konstrukcja i zastosowane materiały w przegrodach zewnętrznych budynku,
- rodzaj oraz właściwości stolarki okiennej i drzwiowej oraz sposób jej montażu,

- poziom rekuperacji (odzysku ciepła z powietrza usuwanego),

Wyżej wyszczególnione parametry uzyskane zostały z projektów, inwentaryzacji oraz od projektantów, producentów materiałów/urządzeń i/lub właścicieli/deweloperów budynków.

Niezbędne do obliczeń dane meteorologiczne były odczytane dla najbliższej znajdującej się od budynku stacji meteorologicznej. Do najistotniejszych danych pogodowych pozyskanych z Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju [13] należą:

- średnia miesięczna temperatura powietrza zewnętrznego,
- suma całkowitego natężenia promieniowania słonecznego na powierzchnię o orientacji N, E, S, W.

W obliczeniach zostały również uwzględnione elementy zacieniające (takie jak sąsiadujące budynki, podcienie) powodujące zmniejszenie ilości zysków ciepła pochodzących od promieniowania słonecznego.

W oparciu o przeprowadzone badania, obliczenia i analizy, określono najważniejsze parametry charakteryzujące każdy z przebadanych budynków. Do najważniejszych właściwości należą:

- powierzchnia ogrzewana budynku (tabela 1),

- powierzchnia przegród zewnętrznych,
- powierzchnia okien oraz przeszkleń,
- kubatura ogrzewanej części budynku,
- współczynnik kształtu budynku ( $A/V$ , gdzie  $A$ - jest to powierzchnia przegród zewnętrznych budynku,  $V$ -kubatura budynku) (tabela 1),
- współczynniki przenikania ciepła przegród zewnętrznych – ścian, stropodachu/dachu, podłogi na gruncie oraz okien i drzwi zewnętrznych, została również obliczona średnia ważona wartość współczynnika przenikania ciepła dla wszystkich przegród zewnętrznych (ścian, podłóg, dachu oraz okien i drzwi) -  $U_{sr.waz.}$  (tabela 1),
- orientacja przeszkleń względem stron świata oraz zysków pochodzących od promieniowania słonecznego,
- $n_{50}$  - szczelność powietrzna obudowy budynku (tabela 1),
- EU - wskaźnika zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji (tabela 1).

Ze względu na zawarcie klauzuli poufności z właścicielami, w artykule została podana tylko orientacyjna lokalizacja budynków.

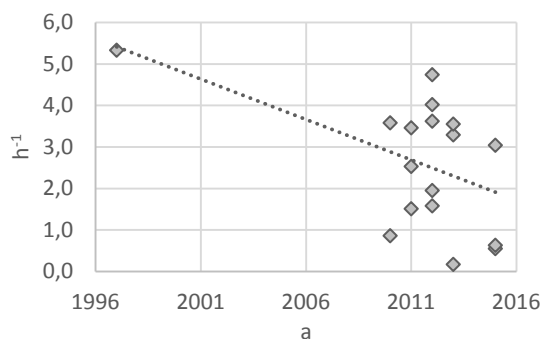
Tabela 1. Zestawienie wyników przeprowadzonych badań i obliczeń.  
Table 1. Summary of results and calculations.

Lokalizacja		Częstochowa			Gdańsk			Kluczbork			Lublin			Olsztyn	Poznań	Strzelce Opolskie	Tarnowskie Góry		Warszawa					Wrocław
		C	G	K	L1	L2	L3	O	Po	SO	TG1	TG2	W1	W2	W3	W4	W5	Wr						
oznaczenie budynku		C	G	K	L1	L2	L3	O	Po	SO	TG1	TG2	W1	W2	W3	W4	W5	Wr						
rok budowy	[-]	2013	2015	2013	2011	2012	2010	2012	2015	2011	2012	2012	1997	2012	2010	2013	2015	2011						
powierzchnia ogrzewana budynku	[m <sup>2</sup> ]	101	109	140	135	95	125	198	125	130	145	145	113	168	141	133	102	138						
A/V	[m <sup>-1</sup> ]	0,8	0,9	0,7	0,9	1,0	0,9	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7	1,0	0,9	0,8	0,9	0,7						
$U_{sr.waz.}$	[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0,23	0,10	0,15	0,23	0,15	0,20	0,23	0,16	0,14	0,19	0,20	0,42	0,23	0,17	0,29	0,16	0,28						
$n_{50}$	[h <sup>-1</sup> ]	3,29	3,04	0,17	2,53	1,95	3,58	1,58	0,55	1,51	4,02	3,62	5,33	4,74	0,86	3,55	0,63	3,46						
EU	[kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	75	28	11	61	47	55	45	15	23	49	40	82	73	41	41	34	70						

Jednym z założeń przeprowadzonych badań, było ustalenie, czy występuje zależność między  $n_{50}$ , a wielkościami charakteryzującymi budynek.

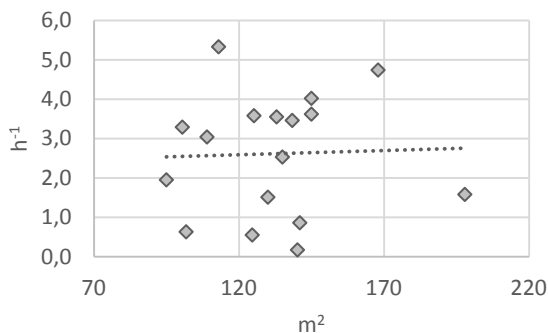
Na początku poszukiwano zależności pomiędzy rokiem oddania budynku do użytkowania, a szczelnością (rys.2). Dostrzegalne jest występowanie trendu (na wykresie zaznaczony przy pomocy przerywanej linii) pomiędzy  $n_{50}$ , a wiekiem budynku. Pomimo wyraźnie widocznej tendencji

wzrostowej poziomu  $n_{50}$  (w stosunku do wieku budynku) nie można jej uznać za miarodajną. Biorąc pod uwagę, że większość z budynków zakwalifikowanych do badań została wzniesiona w przeciągu ostatnich 5 lat, a rozbieżność wartości  $n_{50}$  dla poszczególnych obiektów w tych latach jest znacząca, można wskazać wyłącznie na występowanie trendu, nie zaś zależności.



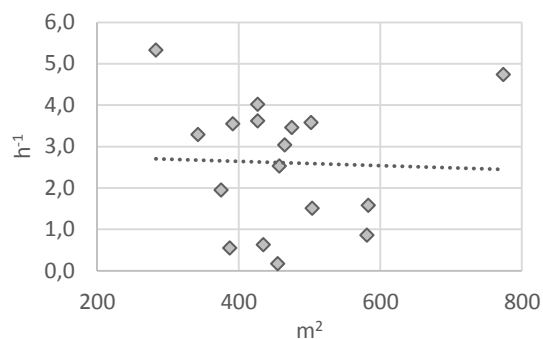
Rys. 2. Szczelność w odniesieniu do roku oddania budynku do użytkowania.  
Fig. 2. The dependence of air-tightness from buildings construction.

Powierzchnia użytkowa budynków wyznaczona według obowiązujących przepisów [9] zawiera się w przedziale między  $95\text{m}^2$  (dla budynku L2), a  $198\text{m}^2$  (dla budynku O). Zależność pomiędzy szczelnością budynku, a jego powierzchnią użytkową i powierzchnią przegród zewnętrznych (rys.3, rys.4) nie jest zauważalna. Oznacza to, że powierzchnia użytkowa oraz powierzchnia przegród nie ma wpływu na poziom szczelności budynku (w przypadku gdy szczelność wyrażona jest za pomocą  $n_{50}$ ).



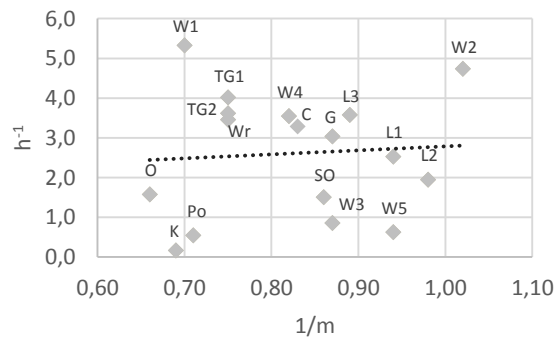
Rys. 3. Szczelność w odniesieniu do powierzchni użytkowej budynku.  
Fig. 3. The dependence of air-tightness from floor area of the building.

Do kolejnego zestawienia (rys.6) z  $n_{50}$  został wybrany średni ważony współczynnik przenikania ciepła wszystkich przegród zewnętrznych ( $U_{\text{sr.wa\zeta}}$ ). Wykres obrazuje występowanie zależności między  $n_{50}$ , a  $U_{\text{sr.wa\zeta}}$ . Oznacza to, że wysoka izolacyjność termiczna przegród implikuje lepszą szczelność budynku.



Rys.4 Szczelność w odniesieniu do powierzchni przegród zewnętrznych.  
Fig. 4. The dependence of air-tightness from the external surfaces of the building.

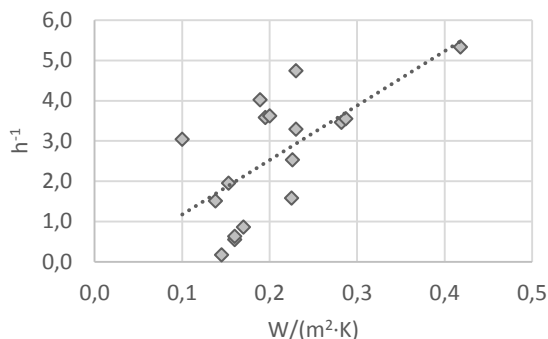
Zestawienie współczynnika kształtu ( $A/V$ ) budynku z jego szczelnością, nie wskazuje na istnienie zależności między tymi dwoma zmiennymi (rys.5). Wykres obrazuje, że w badaniu występowały między innymi budynki o bardzo zwartej bryle (niskiej wartości  $A/V$ ), które miały zarówno niską (budynek W1) jak i wysoką szczelność powietrzną (budynek K).



Rys. 5. Szczelności w odniesieniu do współczynnika A/V.  
Fig. 5. The dependence of air-tightness from A/V.

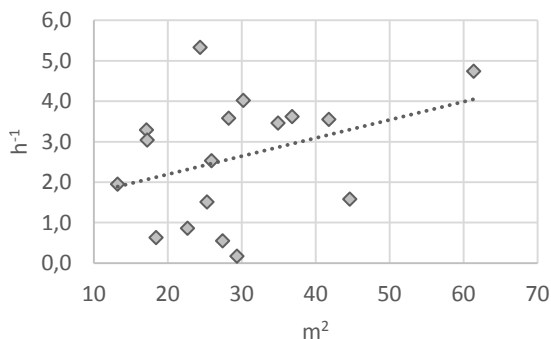
W budownictwie energooszczędnym, przegrody zewnętrzne wykonywane są najczęściej jako wielowarstwowe (ze względu na wymóg osiągnięcia niskiego współczynnika przenikania ciepła). Za główną przesłankę, dla występowania nieszczelności w budynkach energooszczędnych w Polsce, można wskazać czynnik ludzki. Brak doświadczonych pracowników skutkuje niechlujnym i często również nieprawidłowym wykonaniem powłok szczelnych powietrznie [3]. Zastosowanie więc w przegrodzie nakładanych na siebie warstwowo materiałów (przy wykonywaniu przegrody

wielowarstwowej), może doprowadzić do mimowolnego doszczelnienia budynku.



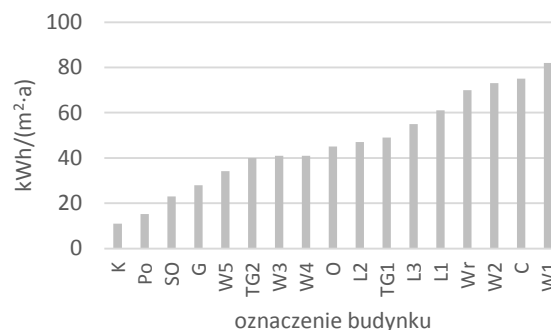
Rys. 6. Szczelność w odniesieniu do  $U_{sr.waz}$ .  
Fig. 6. The dependence of air-tightness from  $U_{sr.waz}$ .

Problemy wynikające z zaniedbań wykonawców, czyli wspomniany już czynnik ludzki, jest trudny do wyeliminowania. Dla przykładu, w przypadku montażu stolarki okiennej i drzwiowej, wymagana jest wysoka dokładność wykonania połączeń okno-ściana. Przy zestawieniu powierzchni stolarki okiennej z  $n_{50}$ , linia trendu (linia przerywana na rys.7) wskazuje, że wraz ze spadkiem powierzchni okien, spada również wartość  $n_{50}$ . Tendencja ta spowodowana jest częstym występowaniem nieszczelności w miejscu połączenia stolarki ze ścianą. Od analizowanej zależności występują jednak odstępstwa (skrajnym przypadkiem jest budynek W1 posiadający wysoką wartość  $n_{50}$  pomimo niewielkiej powierzchni okien równej  $24m^2$ ). Powodem tej sytuacji jest wyjątkowo nieszczelnie wykonany montaż stolarki okiennej.



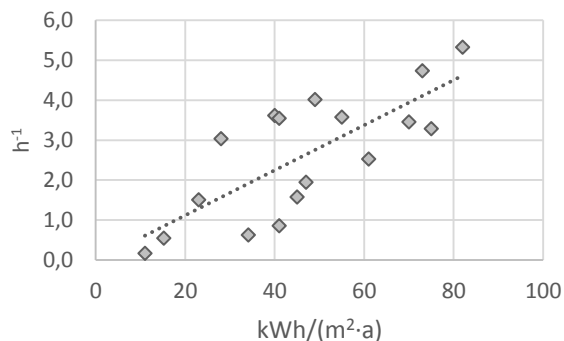
Rys.7 Szczelność w odniesieniu do powierzchni okien.  
Fig. 7. The dependence of air-tightness from the surface of the windows.

Ostatnim analizowanym parametrem budynku było zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i wentylacji (EU) w odniesieniu do szczelności (rys.8). Najniższa (tzn. najlepsza) wartość zapotrzebowania na energię wyniosła  $11kWh/(m^2 \cdot a)$ , dla budynku znajdującego się w Kluczborku (K). Budynek ten również odznaczył się najlepszą szczelnością  $n_{50}=0,17h^{-1}$ . Najwyższa wartość EU została wyznaczona dla budynku znajdującego się w Warszawie (W1) i wyniosła  $82kWh/(m^2 \cdot a)$ , budynek ten ma również największą wartość  $n_{50}=5,33h^{-1}$ .



Rys. 8. Zapotrzebowania na energię.  
Fig. 8. Building's energy requirements.

Po zestawieniu EU z  $n_{50}$ , można zauważyć, że poziom infiltracji powietrza bezpośrednio przełożył się na zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania i wentylacji przebadanych budynków (rys.9). Wraz ze wzrostem szczelności budynku (spadek wartości  $n_{50}$ ) spada również zapotrzebowanie na EU (na rys.9 linią przerywaną został zaznaczony trend, w odniesieniu do zapotrzebowania na energię do ogrzewania, od szczelności obudowy budynku).



Rys. 9. Zależność zapotrzebowania na energię od szczelności budynku.  
Fig. 9. The dependence of the energy demand of air-tightness.

W kolejnym etapie badań przeprowadzono symulację zmiany szczelności budynków. W tym celu, w odniesieniu do średniej wartości szczelności budynków ( $n_{50}=2,6h^{-1}$ ) zostało obliczone zapotrzebowanie na energię dla poszczególnych budynków. Aby sprawdzić zmianę zapotrzebowania na EU wykonano również obliczenia zapotrzebowania na EU dla  $n_{50}=1,5h^{-1}$  (wartość zalecana dla budynków z wentylacją mechaniczną [10]),  $n_{50}=1,0$  (maksymalna dopuszczalna wartość dla budynku NF40) oraz  $n_{50}=0,6$  (maksymalna dopuszczalna wartość dla budynku NF15 [11]).

Średni spadek zapotrzebowania na energię do ogrzewania i pokrycia strat na wentylację, przy zmianie szczelności z  $n_{50}=2,6h^{-1}$  wynosi odpowiednio:

- dla  $n_{50}=1,5h^{-1}$  - 16%,
- dla  $n_{50}=1,0h^{-1}$  - 22%, oraz
- dla  $n_{50}=0,6h^{-1}$  to 28%

spadku zapotrzebowania na energię niezbędną do ogrzewania i wentylacji.

## 5. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań i analiz wynika, że na poziom szczelności budynku wpływa:

- a) długość połączeń stolarki okiennej ze ścianą (a co za tym idzie, powierzchnia przegród przezroczystych),
- b) współczynnik przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne,
- c) niedostateczna wiedza wielu projektantów oraz wykonawców budynków, a także niedokładność i nieznanostwo najnowszych trendów i rozwiązań.

Pominięcie badania szczelności ogranicza możliwość kontroli nad prowadzonymi pracami. Dodatkowo niska szczelność obudowy budynku znacząco przekłada się na podwyższony poziom zapotrzebowania na energię do ogrzewania i wentylacji (EU).

Reasumując, wpływ niskiej szczelności budynku na EU jest większy, gdy całkowite zużycie energii jest mniejsze, dlatego istotne jest podnoszenie świadomości inwestorów, projektantów oraz wykonawców na temat zależności między szczelnością budynku, a EU i dążenie do eliminowania wszelkich nieszczelności.

## INFLUENCE OF THE TIGHTNESS FOR ENERGY DEMAND IN ENERGY EFFICIENT SINGLE FAMILY HOUSES

**Summary:** This publication focuses on assessing the impact of the tightness of single-family houses with a higher energy standard on their energy demand for heating. In order to formulate conclusions quantitative and qualitative research, including tightness test (blower door) has been conducted in energy-efficient and passive houses. In the next step, energy demand for heating has been estimated. Based on the observation and results, the

simulation of the impact of reducing the flow of infiltrated air through leaks in the buildings for energy demand for heating is calculated. The simulation results confirm the dependence between the tightness of the building and energy demand.

## Literatura:

- [1] Milovanović, B., Banjad Pečur, I., Štirmer, N. "Quality assurance of an energy performance of buildings - airtightness testing", Podgorica Univerzitet Crne Gore, 2012.
- [2] Firląg, Sz., „Szczelność powietrzna budynków pasywnych i energooszczędnych – wyniki badań”, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Zeszyt 3, rok 109.
- [3] Miszczuk A., Żmijewski K.; Analiza rynku budynków o niskim zapotrzebowaniu na energię w Polsce, miesięcznik Materiały Budowlane 1'2015, Warszawa 2015.
- [4] Nowak, K., Nowak- Dzieszko, K., „Wpływ badań szczelności budynków na ich charakterystykę energetyczną.” Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, ISBN 978-83-61314-67-7.
- [5] Nowak, K., Nowak- Dzieszko, K. „Wpływ szczelności budynków na ich bilans energetyczny.” Materiały Budowlane 1/2014, Warszawa 2014.
- [6] Šadauskienė, J., Paukštys, V., Šeduikytė, L., Banionis, K. "Impact of Air Tightness on the Evaluation of Building Energy Performance in Lithuania", Energies 7(8)'2014.
- [7] PN-EN 13829:2002; „Właściwości cieplne budynków - Określanie przepuszczalności powietrznej budynków - Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora”.
- [8] PN-EN ISO 13790; „Energetyczne właściwości użytkowe budynków -- Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia”
- [9] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego.
- [10] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5.VII.2013 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [11] Wytyczne do weryfikacji projektów budynków mieszkalnych, zgodnych ze standardem NF0SiGW, Warszawa, 23 sierpnia 2012.
- [12] „Passive house seminar for professionals from the building sector”, Intelligent Energy Europe Project Passnet.
- [13] <https://www.mir.gov.pl/>