

## DOSTĘPNOŚĆ PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO DO WYBRANEGO KSZTAŁTU BUDYNKU

Bogusław PIECZYKOLAN\*, Dorota CHWIEDUK\*\*

\*Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Ciepłej, MEiL, e-mail: boguslaw.pieczykolan@gmail.com

\*\* Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Ciepłej, MEiL  
ul. Nowowiejska 21/25, 00-665 Warszawa,  
e-mail: dchwied@itc.pw.edu.pl

**Streszczenie:** W referacie opisano wybrane zagadnienie dostępności promieniowania słonecznego do budynku. Uwzględniono prostopadłościenny kształt budynku o różnej proporcji boków i ich orientacji względem stron świata. Przeprowadzono szacunkowe obliczenia ich napromieniowania w cyklu rocznym.

**Słowa kluczowe:** Dostępność promieniowania słonecznego, kształtowanie obudowy budynku.

### 1. WPROWADZENIE

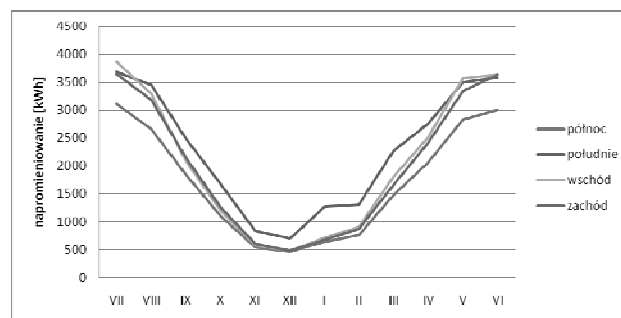
Odpowiedni kształt budynku jest jednym z czynników mogących wpływać na jego zapotrzebowanie na ciepło lub chłód. W literaturze można znaleźć pewne zalecenia, co do orientacji budynku w celu odpowiedniego wykorzystania energii promieniowania słonecznego. W większości analizy prowadzone są w krajach o innych warunkach klimatycznych, przez co bezpośrednie odniesienie opracowanych tam wytycznych do warunków krajowych może prowadzić do błędów.

### 2. NAPROMIENIOWANIE SŁONECZNE PRZEGRÓD BUDYNKU

Do rozważań wybrana została bryła (uproszczony model budynku), której powierzchnia podłogi (mierzona po obrysie zewnętrznym) wynosi 100 m<sup>2</sup>. Jest to prostopadłościan, o różnym stosunku długości boków. Wykorzystując dane meteorologiczne zamieszczone na stronie Ministerstwa Infrastruktury [1] możliwe jest określenie obliczenia wielkości napromieniowania na powierzchnie ścian zewnętrznych. Należy zaznaczyć, że dane zamieszczone na tej stronie internetowej nie są całkowicie zbieżne z innymi szczegółowymi uśrednionymi danymi wieloletnimi promienio-

wania słonecznego, które wykazują tak charakterystyczne cechy naszego napromieniowania, jakim jest znaczne wyższe napromieniowanie powierzchni zachodnich pionowych w porównaniu ze wschodnimi i południowymi latem.

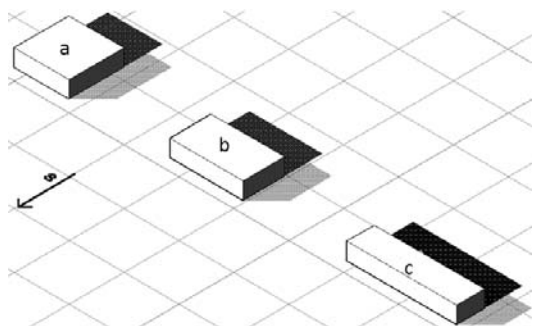
Analizując dane napromieniowania [1] można stwierdzić, że powierzchnia południowa budynku w kształcie sześcianu w okresie grzewczym (od września do kwietnia) uzyskuje więcej energii w stosunku do innych przegród zewnętrznych – ścian (powierzchnia każdej ściany 30m<sup>2</sup>). W przypadku wschodu i zachodu spadek napromieniowania wynosi około 23 % (w stosunku do kierunku południowego). Dla ściany północnej wartość ta maleje o 35%. Biorąc po uwagę okres całego roku dla kierunków wschód i zachód spadek napromieniowania wynosi 12 %, a dla kierunku północnego 25%.



Rys. 1. Rozkład napromieniowania w kolejnych miesiącach dla poszczególnych przegród rozważanego budynku.

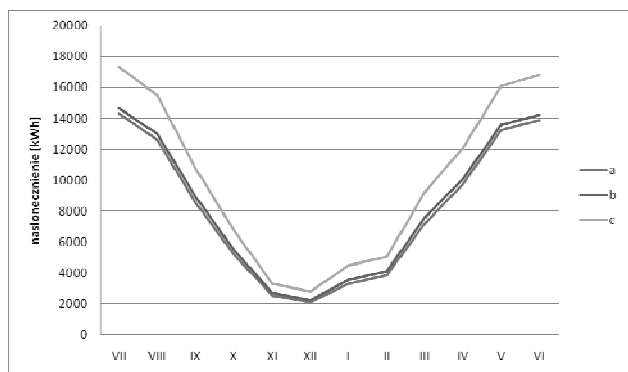
Fig. 1. Distribution of monthly solar irradiation for walls of a building under consideration.

Dla wybranego prostopadłościennego kształtu budynku rozważono 3 warianty wymiarów ścian: a) 10 x 10 m, b) 7,5 x 13,3m, c) 5 x 20m (powierzchnia podłogi 100 m<sup>2</sup>). Możliwe warianty poddane analizie przedstawia rys. 2.



Rys.2. Rozważane warianty budynku  
Fig.2. Considered variants of buildings

Przeprowadzono obliczenia sum miesięcznych promieniowania dla poszczególnych wariantów budynku. Wyniki obliczeń przedstawia rys. 3, na którym przedstawiono rozkład sum miesięcznych promieniowania na powierzchniach poszczególnych przegród – ścian, dla rozważanych wariantów budynków oznaczonych literami: a, b, c (rys. 2), w kolejnych miesiącach roku.



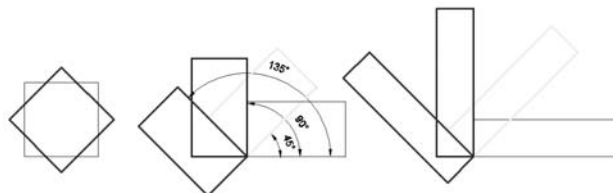
Rys. 3. Rozkład sum miesięcznych promieniowania na powierzchniach przegród 3 rozważanych wariantów budynków  
Fig.3. Distribution of monthly solar irradiation on each surface of 3 considered buildings

Analizując wyniki obliczeń napromieniowania dla rozważanych proporcji przegród zewnętrznych można zauważyć, że wartości napromieniowania w przypadku budynków o podstawie prostokąta są wyższe niż w przypadku budynku o podstawie kwadratu. Rysunek 3 pokazuje, że wydłużając budynek wzdłuż osi wschód-zachód mniejsze napromieniowanie na ścianie północnej kompensowane jest przez zwiększone nasłonecznienie ściany południowej.

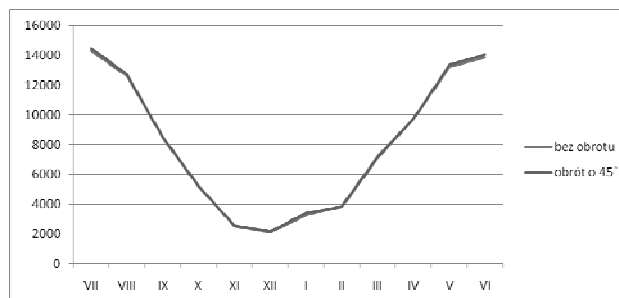
### 3. ZMIANA USYTUOWANIA BUDYNKU

Przeprowadzono obliczenia wpływu zmiany ustawienia budynku względem stron świata. W tym celu zostały przeanalizowane 4 warianty, w których „obracano” budynek o kąt odpowiadający za każdym razem kątowi 45°, co w sposób ideowy ilustruje rys. 4. Na rysunku 5 przedstawiono wyniki porównania napromieniowania dla budynku o pod-

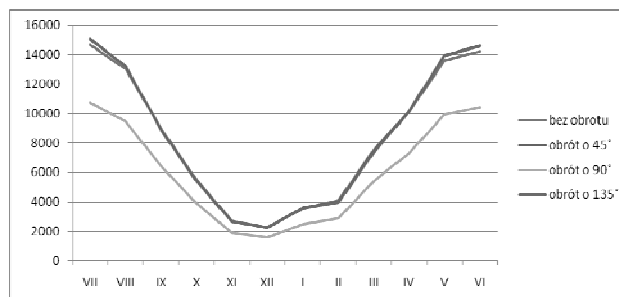
stawie kwadratu, wariant a) „obróconego” o 45°, natomiast na rys. 6 i 7 dla budynków o podstawie prostokąta, wariant b i c, obróconych o kąt 45° i jego wielokrotność (90°, 135°).



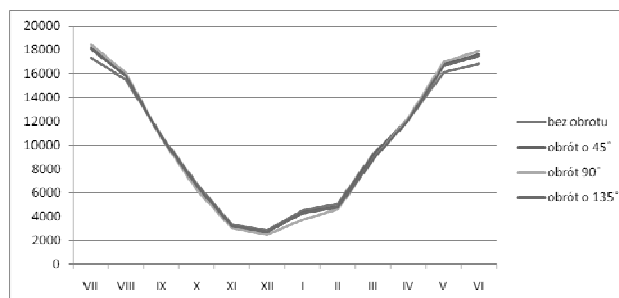
Rys.4. Rozważane warianty obrotu budynków  
Fig.4. Considered variants of different buildings rotation



Rys. 5. Rozkład sum miesięcznych napromieniowania [kWh] dla wariantu a budynku i po jego obrocie o 45°  
Fig. 5. Distribution of monthly solar irradiation [kWh] on surfaces of a building variant and with 45° rotation



Rys. 6. Rozkład sum miesięcznych promieniowania [kWh] dla wariantu b budynku i po jego odpowiednim obrocie  
Fig. 6. Distribution of monthly solar irradiation [kWh] on all building surface for b variant and with assumed rotation



Rys. 7. Rozkład sum miesięcznych promieniowania [kWh] na wszystkich powierzchniach wariantu c budynku i po obrocie  
Fig.7. Distribution of monthly solar irradiation [kWh] on every building surface for c variant and with assumed rotation

Podsumowując rezultaty analiz obrotu różnych budynków o ustalony kąt można stwierdzić, że jedynie w przypadku obrotu budynku o kąt 90° (rys.6.) i eksponując w ten sposób dłuższe krawędzie budynku na wschód i zachód (wzdłuż osi północ – południe) odnotowuje się zmniejszenie napromieniowania powierzchni ścian zewnętrznych budynku zimą dla wariantu c, a dla wariantu b przez cały rok. Natomiast w przypadku pozostałych rozważanych „obrotów” całkowite roczne sumy promieniowania nie różnią się o więcej niż o 3%.

#### 4. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA KONWERSJI ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Analiza przeprowadzona w poprzednich punktach nie uwzględniała technicznych możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego. Dopiero uwzględnienie przeszkleń transmisyjnych dla promieniowania słonecznego, poprzez wprowadzenie do rozważań powierzchni okien i określenie ich usytuowania wpłynie na rzeczywiste zyski energii. W tym celu sformułowano bilans energetyczny dla rozważanych budynków, w którym zyski słoneczne są jedną ze składowych. Dzięki czemu możliwe będzie określenie w jakim stopniu zyski słoneczne zmniejszą zapotrzebowanie na ciepło. Metoda obliczeń oparta została na Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury [3]. Obliczenia przeprowadzono w sposób szacunkowy. Przyjęto pewne wartości współczynnika przenikania dla ścian zewnętrznych, które są zgodne z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury [2] w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, i które wynoszą: 0,3 W/m<sup>2</sup>K dla ścian i podłogi, 0,25 W/m<sup>2</sup>K dla dachu, 1,7 W/m<sup>2</sup>K dla okien.

Warunki meteorologiczne zostały przyjęte dla Warszawy. Uwzględniono również wielkość energii przeznaczanej do celów wentylacyjnych (strumień wymianianego powietrza 120 m<sup>3</sup>/h). Zgodnie z poczynionymi założeniami, wyznaczono zapotrzebowanie na energię do ogrzewania (uwzględniając zyski energii promieniowania słonecznego dla 10 m<sup>2</sup> powierzchni okien i usytuowania ich jedynie od południa), dla trzech podstawowych wariantów budynków a, b, i c. Otrzymane wyniki w postaci miesięcznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania rozważanych budynków zostały przedstawione w tabeli 1.

Należy zaznaczyć, że choć obliczenia strat przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne, strat wentylacyjnych i zysków z promieniowania słonecznego przez okna są bardzo uproszczone, to dają one pewien obraz poglądowy zmian bilansu energetycznego budynku.

Analizując tabelę 1. można zauważyć, że zapotrzebowanie na ciepło jest największe w wariantcie c budynku, następnie w wariantcie b, bowiem ze wzrostem powierzchni przegród zewnętrznych budynku rosną odpowiednio straty ciepła (budynek o podstawie kwadratu ma najmniej rozwinięte

pole powierzchni obudowy). Zyski przez okna są w każdym przypadku takie same.

Tabela 1. Sumy miesięcznego zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania rozważanych wariantów budynków  
Table 1. Sums of monthly heat demand for each considered building variants

Miesiąc	a	b	c
	Q <sub>co</sub> [kWh]	Q <sub>co</sub> [kWh]	Q <sub>co</sub> [kWh]
IX	420,4	427,9	467,0
X	1155,3	1168,0	1234,3
XI	1886,5	1904,2	1997,3
XII	2234,8	2255,3	2363,3
I	2380,0	2402,7	2522,0
II	2087,2	2107,4	2213,6
III	1517,2	1533,9	1621,7
IV	1144,8	1159,0	1233,6
suma=	12826,3	12958,5	13652,9
procent	100,0	101,0	106,4

#### 5. ZWIĘKSZENIE POWIERZCHNI OKIEN

Przeprowadzono obliczenia, których celem było określenie jak zwiększenie powierzchni okien wpływa na zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania. Do rozważań przyjęto różne warianty przeszkleń, biorąc pod uwagę wykorzystanie w jak największym stopniu energii promieniowania słonecznego. W tym celu odpowiednio zwiększano powierzchnię przeszkleń od strony południowej budynków. Przeanalizowano przypadki, w których zwiększano powierzchnię przeszkleń skokowo o 5 m<sup>2</sup> dla każdego z wariantów budynków. Uwzględniono przypadek przegrody południowej bez okien (0 m<sup>2</sup>), rozpoczęto obliczenia od 10 m<sup>2</sup> powierzchni. Maksymalna powierzchnia okien występuje w wariantcie c i wynosi 60m<sup>2</sup>. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2. W niektórych komórkach tabeli występują zera. Oznaczają one brak technicznych możliwości zainstalowania większej powierzchni okien po stronie południowej budynku, ze względu na określoną powierzchnię całej fasady południowej, przypisaną do odpowiednich wariantów budynku (a, b, c).

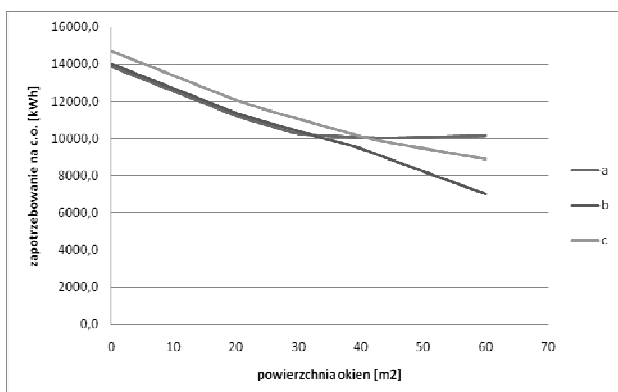
Z Tabeli 2 można wyciągnąć pewne wnioski. Mianowicie, każdy z przypadków, w którym zwiększano powierzchnię okien spadało zużycie ciepła do ogrzewania pomieszczeń. Dla tej samej całkowitej powierzchni okien (po stronie południowej), która jest możliwa do realizacji we wszystkich trzech wariantach budynków, najniższe zużycie energii występuje w przypadku budynku na planie kwadratu (powierzchnia okien = 30 m<sup>2</sup>).

Tabela. 2. Sezonowe sumy zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania przy różnej powierzchni okien na południowej ścianie trzech wariantów budynku

Table. 2. Seasonal, total heat demand [kWh] at a given different surface of glazing's on south side for each building variants

Pow. okien [m <sup>2</sup> ]	a Q <sub>co</sub> [kWh]	b Q <sub>co</sub> [kWh]	c Q <sub>co</sub> [kWh]
0	13869,0	14001,3	14695,7
10	12826,3	12958,5	13652,9
15	11891,6	12023,8	12718,2
20	11232,4	11364,6	12059,0
25	10735,3	10860,1	11515,3
30	10265,1	10389,9	11045
35	0,0	9919,7	10574,9
40	0,0	9449,5	10104,7
45	0,0	0,0	9740,3
50	0,0	0,0	9457,2
55	0,0	0,0	9174,1
60	0,0	0,0	8891,0

30	10265,12	10389,92	11045,1
35	10163,858	9919,725	10574,9
40	10062,596	9449,534	10104,71
45	10034,7	9159,679	9740,287
50	10080,158	8876,6	9457,208
55	10125,617	8593,52	9174,128
60	10171,075	8310,441	8891,049



Rys. 8. Wpływ powierzchni przeszkleń i ich lokalizacji na zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania dla trzech rozważanych wariantów kształtu budynku

Fig. 8. Influence of glass and its location on total heat demand for 3 considered variants

Największą powierzchnię okien od strony południowej można zainstalować w przypadku wariantu c budynku i wtedy występuje także największe zmniejszenie zużycia energii i w tym krańcowym przypadku wynosi ono około 40%.

Aby obiektywnie ocenić sens zmiany udziału powierzchni okien w powierzchni całej przegrody przeprowadzono następane obliczenia. Porównano taką samą całkowitą powierzchnię okien umieszczonych na południowej fasadzie dla 3 wariantów budynku. W sytuacji, w której nie było możliwości zaprojektowania (umieszczenia) danej powierzchni okien na fasadzie południowej pozostała część została rozmieszczona równomiernie po stronie wschodniej i zachodniej budynku. Wyniki takiej modyfikacji zestawia tabela 3, a graficzną ich interpretację przedstawia rys. 8.

Tabela 3. Sezonowe sumy zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania przy różnej powierzchni okien na południowej ścianie lub ewentualnie również na wschodniej i zachodniej (zacięniowane innym kolorem) dla trzech wariantów budynku

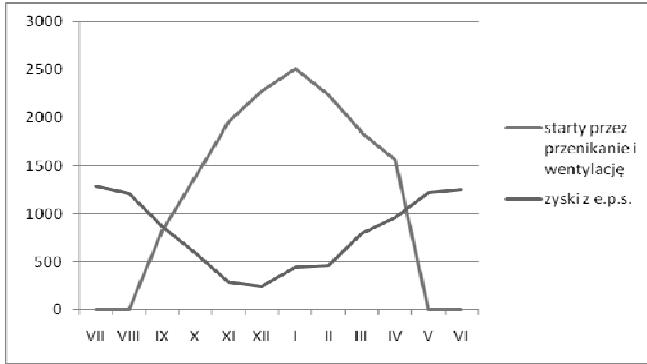
Table 3. Seasonal total heat demand [kWh] at a given different surface of glazing's on south side and eventually east and west side (painted a different colors) for each building

Pow. okien [m <sup>2</sup> ]	a Q <sub>co</sub> [kWh]	b Q <sub>co</sub> [kWh]	c Q <sub>co</sub> [kWh]
0	13869,0	14001,3	14695,7
10	12826,3	12958,5	13652,9
15	11891,6	12023,8	12718,2
20	11232,4	11364,6	12059,0
25	10735,3	10860,1	11515,3

Jak pokazały obliczenia w przypadku, w którym stosujemy taką samą powierzchnię okien dla wszystkich wariantów kształtu budynku (tu rozważanych) najkorzystniejszy ze względu na największe zmniejszenie zużycia strat ciepła jest budynek oznaczony literą b.

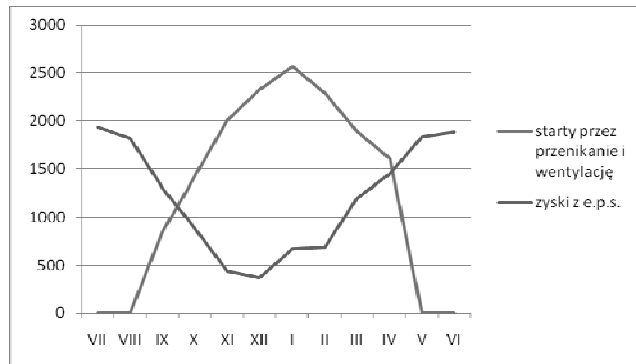
Przy powierzchni okien do 30 m<sup>2</sup> budynek a o podstawie kwadratu (fasada południowa, wschodnia i zachodnia po 30 m<sup>2</sup>) i budynek b o podstawie prostokątnej (fasada południowa 39,9 m<sup>2</sup>, wschodnia i zachodnia po 22,5 m<sup>2</sup>) mają zbliżoną wielkość zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania, mniejszą wyraźnie od wariantu c budynku (fasada południowa 60 m<sup>2</sup>, wschodnia i zachodnia po 15 m<sup>2</sup>). Powyżej powierzchni okien 30m<sup>2</sup> wyraźna tendencja spadkowa obciążeń grzewczych i najmniejsze zapotrzebowanie na ciepło ma budynek b, dla którego przy powierzchni okien powyżej 40 m<sup>2</sup> są one poza fasadą południową również rozłożone równomiernie od strony wschodniej i zachodniej.

Oprócz zagadnień największego wykorzystania e.p.s. w okresie zimowym nie należy zapominać, że zwiększenie powierzchni przeszkleń będzie powodować powstanie znacznych zysków ciepła w okresie letnim. Może to doprowadzić do pogarszania się warunków komfortu cieplnego w budynku. Rysunki 9, 10, 11, 12, 13, 14 przedstawiają wpływ zwiększenia powierzchni przeszklonych na zmniejszenie zapotrzebowania na c.o. (w okresie zimowym) a także zwiększenia zysków w okresie letnim.



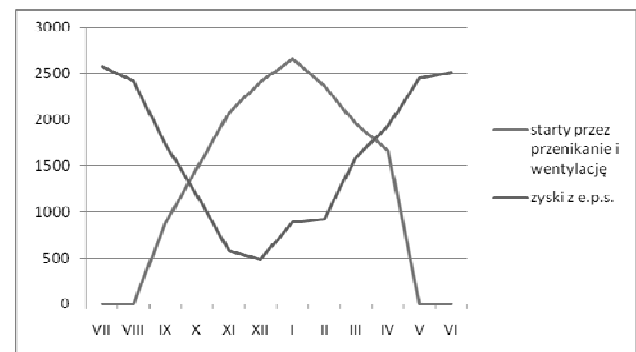
Rys. 10. Porównanie zysków z e.p.s. ze stratami przez wentylację i przenikanie przy założeniu 20 m<sup>2</sup> powierzchni przeszklonych (dla budynku a)

Fig.10. Comparison of solar heat gain and heat losses by ventilation and heat transfer for building a with an assumption of 20 m<sup>2</sup> of glazing's



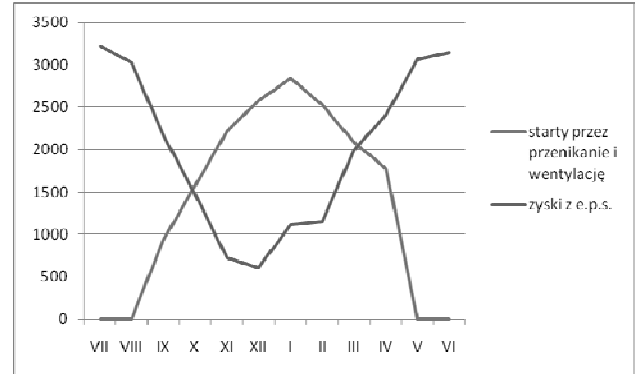
Rys. 11. Porównanie zysków z e.p.s. ze stratami przez wentylację i przenikanie przy założeniu 30 m<sup>2</sup> powierzchni przeszklonych (dla budynku a)

Fig.11. Comparison of solar heat gain and heat losses by ventilation and heat transfer for building a with an assumption of 30 m<sup>2</sup> of glazing's



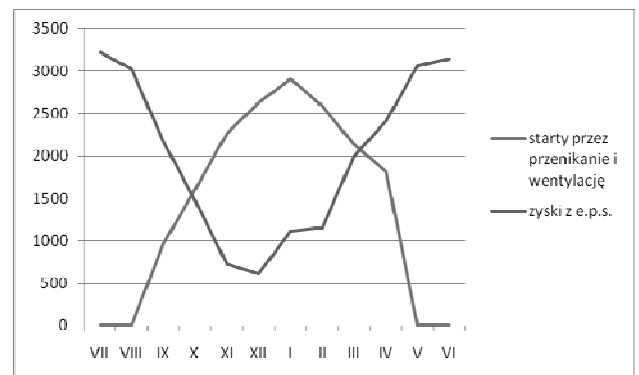
Rys. 12. Porównanie zysków z e.p.s. ze stratami przez wentylację i przenikanie przy założeniu 40 m<sup>2</sup> powierzchni przeszklonych (dla budynku b)

Fig.12. Comparison of solar heat gain and heat losses by ventilation and heat transfer for building b with an assumption of 40 m<sup>2</sup> of glazing's



Rys. 13. Porównanie zysków z e.p.s. ze stratami przez wentylację i przenikanie przy założeniu 50 m<sup>2</sup> powierzchni przeszklonych (dla budynku c)

Fig.13. Comparison of solar heat gain and heat losses by ventilation and heat transfer for building c with an assumption of 50 m<sup>2</sup> of glazing's



Rys. 14. Porównanie zysków z e.p.s. ze stratami przez wentylację i przenikanie przy założeniu 60 m<sup>2</sup> powierzchni przeszklonych (dla budynku c)

Fig.14. Comparison of solar heat gain and heat losses by ventilation and heat transfer for building c with an assumption of 60 m<sup>2</sup> of glazing's

## 6. WNIOSKI

Artykuł ten ujmuje poza samym zagadnieniem dostępności promieniowania analizy bilansu cieplnego budynku. Uzyskane wyniki pozwalają wyciągnąć pewne wnioski. Obliczenia przeprowadzono na szacunkowych modelach, przy szeregu założeń upraszczających i danych uśrednionych (ale obowiązujących przy wyznaczaniu charakterystyki energetycznej budynku). Można jednakże sformułować pewne ogólne wytyczne dla kształtowania bryły budynku, pod kątem efektywnego wykorzystania energii promieniowania słonecznego zimą w czasie sezonu grzewczego:

- Najlepsze warunki nasłonecznienia spośród rozważanych przegród budynku uzyskuje przegroda południowa, dlatego też od tej strony powinna znajdować się, jak największa powierzchnia okien.

- Możliwe jest odchylenie głównej fasady budynku od kierunku południowego na południowy wschód, czy południowy, bowiem takie odchylenie w usytuowaniu budynku nie wpływa znacząco na wielkość napromieniowania powierzchni przegród zewnętrznych. Nie należy obracać budynku o kąt  $90^0$ , jeśli ma podstawę w kształcie prostokąta, i po obrocie dłuższy bok budynku zwrócony jest na wschód i zachód, tzn. nie należy rozciągać budynku wzdłuż osi północ-południe.
- Zwiększenie powierzchni okien (po południowej stronie budynku) w każdym przypadku powoduje zmniejszenie zużycia energii do ogrzewania pomieszczeń, ze względu na większe zyski z energii promieniowania słonecznego.
- W przypadku czysto teoretycznym, w którym całkowita powierzchnia okien mogłaby (technicznie) być usytuowana po południowej stronie, budynek o podstawie kwadratu (z racji najmniejszej powierzchni całkowitej przegród zewnętrznych) miałby najmniejsze zużycie energii.
- Budynki o podstawie prostokąta mają zwiększoną powierzchnię fasady południowej, co umożliwia stosowanie dużych powierzchni przeszklonych właśnie po tej stronie budynku.
- W przypadku budynków o podstawie prostokąta najbardziej wskazanym rozwiązaniem wydaje się stosowanie proporcji przegród zewnętrznych 1: 2, gdzie 1 odnosi się do powierzchni wschodniej i zachodniej, a 2 do południowej i północnej.
- W przypadku budynków o dużej powierzchni przeszkleń należy szczególną uwagę zwrócić na problem przegrzewania się pomieszczeń. W przeprowadzonych obliczeniach dla największych powierzchni przeszkleń problem przegrzewania się pomieszczeń występuje już w październiku i marcu, i to zagadnienie wymaga dalszych analiz.

Artykuł jest wynikiem prac badawczych realizowanych i finansowanych w projekcie POIG.01.01.02-10-106/09-01, PT7, T3

#### AVAILABILITY OF SOLAR ENERGY TO THE GIVEN SHAPE OF A BUILDING

**Summary:** The paper describes some aspects of solar energy availability on a building envelope. Specific shape of the building with determined proportion of external walls and their orientation is considered. Solar irradiation distribution on a monthly base is calculated.

#### Literatura

[1] [http://www.mi.gov.pl/2-48203f1e24e2f-1787735-p\\_1.htm](http://www.mi.gov.pl/2-48203f1e24e2f-1787735-p_1.htm)

[2] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr*

*75, poz. 690, z 2003 r. Nr 33, poz. 270, z 2004 r. Nr 109, poz. 1156 oraz z 2008 r. Nr 201, poz. 1238)*

[3] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 roku Rozporządzenie w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej*