

Wpływ orientacji budynku względem stron świata, wielkości przeszkleń oraz konstrukcji okien i sposobu ich montażu na zużycie energii końcowej na ogrzewanie w budynkach energooszczędnych

The influence of the orientation of a building in relation to the cardinal directions, the surface area of its glazing and the structure of windows and their method of fitting on the final energy consumption of heating in energy efficient buildings

Streszczenie

Orientacja budynku względem stron świata wpływa na czas nasłonecznienia wnętrza, a co za tym idzie na poziom zysków słonecznych i zużycie energii końcowej na ogrzewanie.

Minimalną i maksymalną dopuszczalną powierzchnię okien w budynku określają odpowiednie przepisy Prawa Budowlanego. W przepisach tych nie ma jednak odrębnych zaleceń, dotyczących wielkości przeszkleń dla budynków energooszczędnych. Tymczasem rekomendowany sposób projektowania okien w budynkach energooszczędnych różni się od projektowania okien w budynkach normatywnych. Okna pełnią w nich szczególnie ważną rolę, ponieważ wprowadzenie światła dziennego do budynku poprzez okna jest najprostszą formą biernego pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego.

Zgodnie z przepisami, okna, drzwi balkonowe i drzwi zewnętrzne muszą spełniać wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej, a więc posiadać odpowiednią konstrukcję. Istotny jest też sposób ich montażu w ościeżach ściany i odpowiednie usytuowanie ościeżnic okiennych w stosunku do warstw struktury ściany zewnętrznej (konstrukcyjnego rdzenia i warstwy termoizolacyjnej).

W budynkach energooszczędnych o dużej powierzchni okien od strony południowej w okresie letnim może wystąpić problem przegrzewania wnętrza. W celu zachowania komfortu cieplnego w okresie letnim zalecane jest więc stosowanie przeciwśłonecznych urządzeń zacieniających.

Wszystkie przyjęte rozwiązania projektowe w zakresie doboru okien w budynkach energooszczędnych powinny być zweryfikowane odpowiednimi analizami energetycznymi.

Abstract

The orientation of a building in relation to the cardinal directions influences the amount of time during which its interiors are illuminated and, as a result, on the level of solar heat gains and the final energy consumption of heating.

The minimum and maximum surface area of windows that a building can have is regulated through appropriate regulations of Construction Law. These regulations, however, do not provide separate guidelines regarding the amount of surface area of glazing for energy efficient buildings. Meanwhile, the recommended manner of designing windows in energy efficient buildings differs from the manner of designing them for normative buildings. Windows play a particularly important part in them, as the introduction of sunlight into a building is the simplest form of passively obtaining energy from solar radiation.

According to the regulations, windows, balcony doors and external doors need to meet specific requirements regarding thermal insulation, and, as a result, need to be constructed in a particular way. The manner in which they are fitted into the opening in the wall and the proper montage of window jambs in relation to the structural layers of an external wall (its structural core and the thermal insulation layer) is also important.

Energy efficient buildings with large glazed surfaces from the southern side can suffer from interior overheating. In order to preserve thermal comfort during the summer season, it is advised to use shading mechanisms.

All of the design solutions regarding window selection for energy efficient buildings need to be verified through the use of appropriate energy analyses.

Słowa kluczowe: dobór wielkości przeszkleń, konstrukcja i sposób montażu okien, przegrzewanie wnętrza, urządzenia zacieniające

Keywords: glazing surface size selection, window structure and fitting methods, overheating of interiors, shading mechanisms

1. Wprowadzenie

Okna w budynkach energooszczędnych pełnią ważną rolę, ponieważ wprowadzenie światła dziennego do budynku poprzez okna jest najprostszą formą biernego pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego.

W celu analizy wpływu orientacji budynku względem stron świata, wielkości przeszkleń oraz konstrukcji okien i sposobu ich montażu na zużycie energii końcowej na ogrzewanie w budynkach energooszczędnych zaprojektowano tzw. budynek referencyjny, który poddano wariantowym analizom porównawczym, zmieniając za każdym razem tylko jeden określony parametr:

- orientację budynku względem stron świata
- wielkość przeszkleń
- parametry okien dotyczące izolacyjności cieplnej
- przeciwsloneczne urządzenia zacięniające

Wielowariantowy projekt budynku referencyjnego został opracowany w programie *Archicad*, jako w pełni sparametryzowany model wirtualny w standardzie BIM, zawierający takie informacje jak parametry fizyczne materiałów budowlanych i struktur, stanowiących obudowę budynku oraz parametry technicznego wyposażenia budynku (systemy instalacyjne i urządzenia). Przez wprowadzenie parametrów

1. Introduction

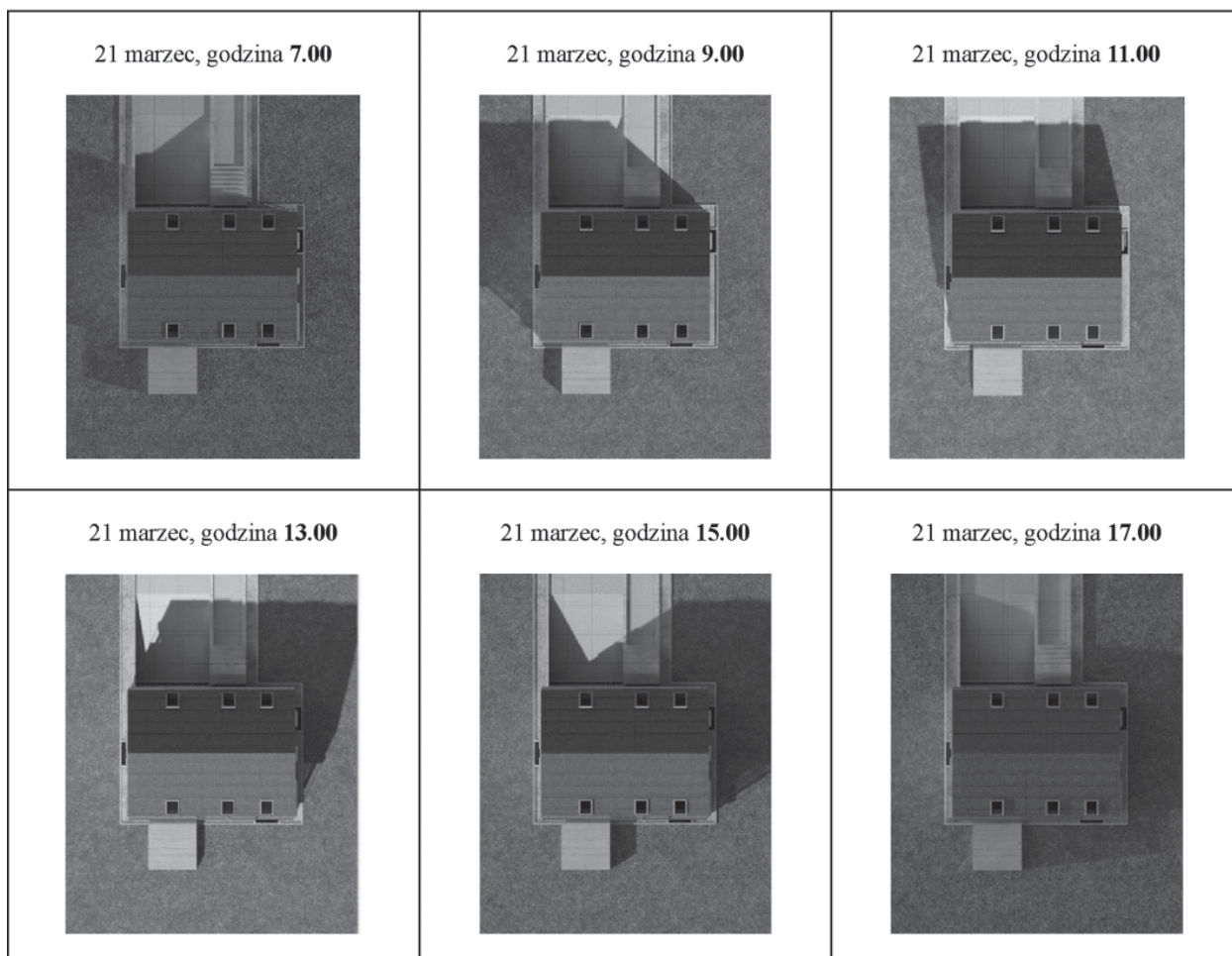
windows play an important part in energy efficient buildings, as the introduction of sunlight into a building through the means of windows is the simplest form of passively obtaining energy from solar radiation.

A so-called reference building had been designed in order to perform an analysis of the influence of the orientation of a building in relation to the cardinal directions, the size of the surface area of its windows, as well as their structure and manner of fitting on the final energy consumption for the purposes of heating in energy efficient buildings, which was then subjected to variant comparative analyses, changing one specific parameter each time one was performed:

- the orientation of the building in relation to the cardinal directions,
- the surface area of its glazing,
- the thermal insulation parameters of windows
- the use of shading mechanisms

A multi-variant design of the reference building has been developed in *Archicad*, as a fully parameterised BIM standard virtual model, containing information such as the physical parameters of construction materials and structures comprising

il. 1. Analiza nastonecznienia na dzień 21.03 dla orientacji południowej (na osi północ-południe) / Sunlight exposure analysis for the 21 of March, performed for a building oriented towards the south (on the north-south axis)



klimatycznych i meteorologicznych, związanych z konkretną lokalizacją geograficzną oraz parametrów stref temperaturowych w poszczególnych pomieszczeniach z harmonogramami użytkowania model architektoniczno-budowlany BIM przekształcony został w model energetyczny. Do wykonania przedstawionych w pracy symulacji energetycznych użyto programu *Design Builder*.

2. Orientacja budynku względem stron świata

Zgodnie z wymogami ustawowymi pokoje mieszkalne powinny mieć zapewniony czas nasłonecznienia co najmniej 3 godziny w dniach równonocy (21 marca i 21 września) w godzinach 7⁰⁰–17⁰⁰¹. Zweryfikować to można tzw. analizą nasłonecznienia budynku, która pozwala na zaobserwowanie projektowanego budynku w realnej sytuacji w celu sprawdzenia warunków nasłonecznienia w określonym miejscu (położeniu geograficznym) oraz przedziale czasu². Wariantowe analizy nasłonecznienia dla budynku referencyjnego zostały wykonane w programie Archicad z uwzględnieniem następujących parametrów:

- dane dotyczące geograficznego położenia modelu oraz parametry słońca dla lokalizacji budynku w Krakowie
- dzień przeprowadzenia analizy nasłonecznienia: 21 marzec
- odstępy czasowe pomiędzy poszczególnymi klatkami analizy: godzina 7.00 / 9.00 / 11.00 / 13.00 / 15.00 / 17.00.

Budynek referencyjny został zaprojektowany dla orientacji południowej, jednak dla określenia stopnia wpływu orientacji budynku względem stron świata na nasłonecznienie i co za tym idzie na zużycie energii końcowej na ogrzewanie oraz zyski słoneczne analizie porównawczej poddano 4 warianty:

- budynek referencyjny o orientacji południowej (il. 1)
- budynek o orientacji północnej (część dzienna od strony północnej)
- budynek o orientacji wschodniej (część dzienna od strony wschodniej)
- budynek o orientacji zachodniej (część dzienna od strony zachodniej)

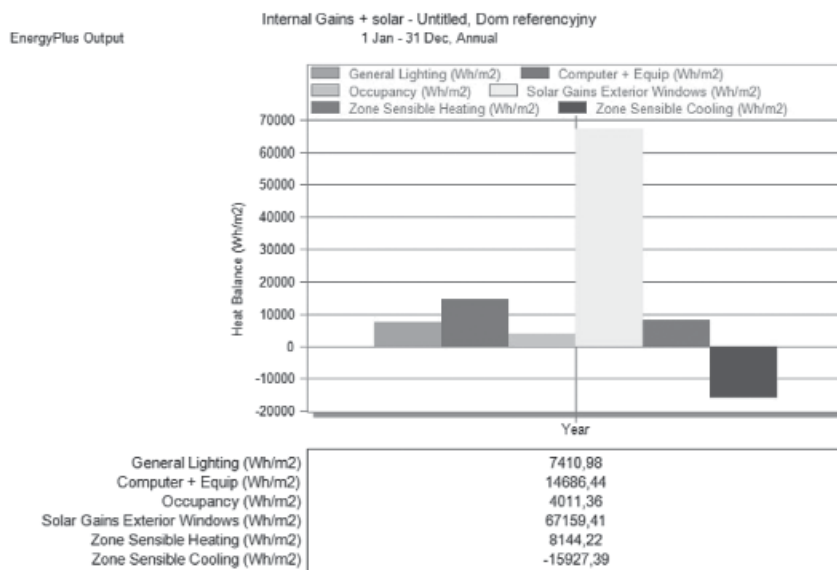
the external shell of the building and its technical infrastructure (amenities and equipment). Through the introduction of climate and meteorological parameters associated with a specific geographical location, as well as parameters regarding temperature zones within each room, associated with use timetables, the architectural BIM model was turned into an energy model. The simulations presented in this paper have been carried out using the *DesignBuilder* program.

2. Orientation of the building in relation to the cardinal directions

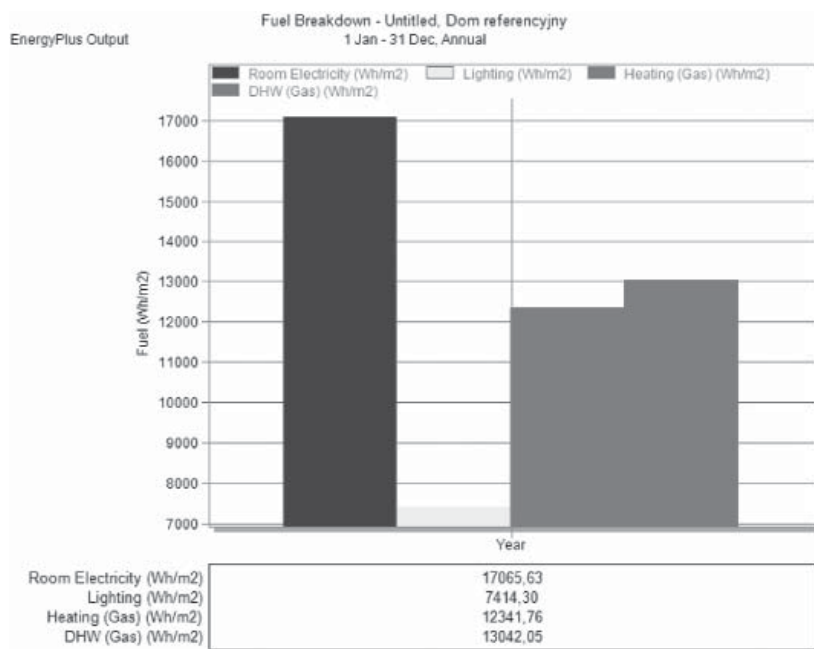
In accordance with legal requirements, residential spaces should have access to at least 3 hours worth of sunlight during equinoxes (21 of March and 21 of September), between 7⁰⁰–17⁰⁰¹. This can be verified with the use of the so-called sunlight exposure analysis of a building, which allows us to observe the designed building in a real situation in order to determine sunlight exposure in a specific location (geographical location) and timeframe². Variant sunlight exposure analyses for the reference building have been performed using the *Archicad* program, taking into account the following parameters:

- data regarding the geographical location of the model and the parameters of sunlight for the building's location in Krakow
- the set day for the sunlight exposure analysis: 21 of March
- the time intervals between the frames of the analysis: the hours of 7.00 / 9.00 / 11.00 / 13.00 / 15.00 / 17.00

The reference building had been designed as oriented towards the south, however, in order to determine the influence of the orientation of the building in relation to the cardinal directions on sunlight exposure and, as a consequence, its impact on the final energy consumption of heating and the amount of solar gains, four variants were analysed:



il. 2. Wykres zysków wewnętrznych oraz zysków od słońca przy południowej orientacji budynku / Chart showing internal gains and solar gains for a building oriented towards the south



il. 3. Wykres zużycia energii końcowej na ogrzewanie przy południowej orientacji budynku / Chart showing final energy consumption of heating for a building oriented towards the south

Zmiana orientacji tego samego budynku **względem stron świata** wpływa na zużycie przez niego energii na ogrzewanie oraz wielkość zysków energetycznych od słońca w następujący sposób:

- orientacja południowa (budynek referencyjny)
 - zużycie energii końcowej na ogrzewanie = 12341,76 [Wh/m²] = **100%**
 - zyski energetyczne od słońca = 67159,41 [Wh/m²]
- orientacja północna
 - zużycie energii końcowej na ogrzewanie = 13940,05 [Wh/m²] = **113%**
 - zyski energetyczne od słońca = 59867,72 [Wh/m²]
- orientacja wschodnia
 - zużycie energii końcowej na ogrzewanie = 14467,80 [Wh/m²] = **117%**
 - zyski energetyczne od słońca = 62039,19 [Wh/m²]
- orientacja zachodnia
 - zużycie energii końcowej na ogrzewanie = 13045,33 [Wh/m²] = **106%**
 - zyski energetyczne od słońca = 66850,28 [Wh/m²]

Zmiany dla poszczególnych wariantów w zużyciu energii końcowej na ogrzewanie biorą się stąd, że w przyjętej jako rekomendowana orientacji południowej dom referencyjny posiada największą powierzchnię przeszklenia od strony południowej. Jeśli zmieniamy orientację największej powierzchni przeszklenia, zyski od słońca maleją, a tym samym rośnie zużycie energii na ogrzewanie.

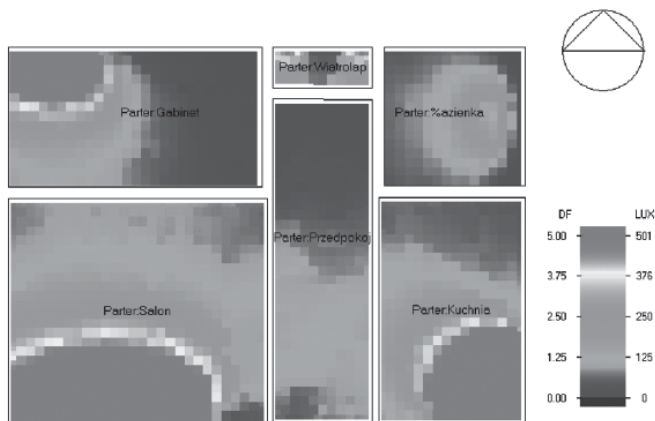
W celu sprawdzenia ilości oraz dystrybucji naturalnego światła w pomieszczeniach dla różnych wariantów orientacji budynku referencyjnego względem stron świata przeprowadzono analizę oświetlenia światłem dziennym (*Daylighting*). Analiza pozwala odpowiedzieć na pytania, czy w pomieszcze-

- the reference building oriented towards the south (il. 1)
- a building oriented towards the north (daytime section located on the northern side)
- a building oriented towards the east (daytime section located on the eastern side)
- a building oriented towards the west (daytime section located on the western side)

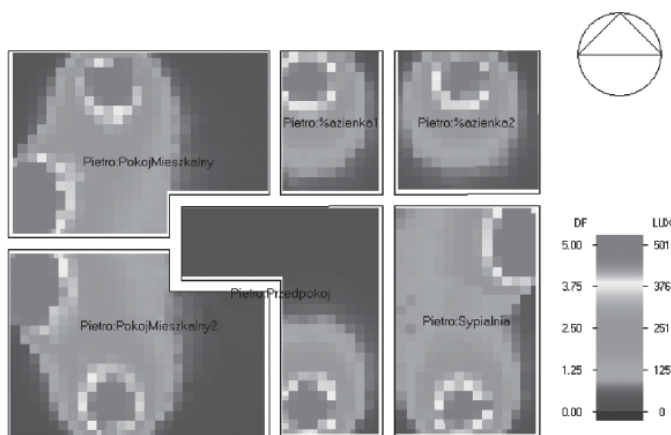
A change in the orientation of the same building in relation to the cardinal directions influences its energy consumption for the purposes of heating and the amount of gains from solar energy in the following manner:

- orientation towards the south (reference building)
 - final energy consumption for heating = 12341,76 [Wh/m²] = **100%**
 - solar energy gains = 67159,41 [Wh/m²]
- orientation towards the north
 - final energy consumption for heating = 13940,05 [Wh/m²] = **113%**
 - solar energy gains = 59867,72 [Wh/m²]
- orientation towards the east
 - final energy consumption for heating = 14467,80 [Wh/m²] = **117%**
 - solar energy gains = 62039,19 [Wh/m²]
- orientation towards the west
 - final energy consumption for heating = 13045,33 [Wh/m²] = **106%**
 - solar energy gains = 66850,28 [Wh/m²]

The changes for each variant in terms of final energy consumption for heating are based on the fact that the orientation towards the south, which had been selected as the recommended one for the reference building, possessed the largest surface area of glazing from the southern side. When the orientation of the largest surface of glazing is changed,



parter



poddasze użytkowe

niu jest odpowiednia ilość światła w stosunku do jego przeznaczenia i jak można zaoszczędzić światło sztuczne. Analiza taka pozwala już na wczesnym etapie projektowania określić najlepiej i najgorzej doświetlone części budynku, wybrać lub zmienić na tej podstawie przeznaczenie pomieszczeń, powierzchnię przeszkleń oraz dobrać optymalny rozkład mebli czy stanowisk pracy.

3. Rozmieszczenie i powierzchnia okien w budynku

Minimalną i maksymalną dopuszczalną powierzchnię okien w budynku określa *Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych*:

- **Minimalna** dopuszczalna powierzchnia przeszkleń – w pomieszczeniu przeznaczonym na pobyt ludzi stosunek powierzchni okien, liczonej w świetle ościeżnic, do powierzchni podłogi, powinien wynosić co najmniej $1:8^3$
- **Maksymalna** dopuszczalna powierzchnia przeszkleń – pole powierzchni A_0 , wyrażone w m^2 , okien oraz przegród szklanych i przezroczystych o współczynniku przenikania ciepła nie mniejszym niż $0,9 W/(m^2K)$, obliczone według ich wymiarów modularnych, nie może być większe niż wartość A_{0max} obliczone według wzoru: $A_{0max} = 0,15 A_z + 0,03 A_w$, gdzie: A_z – jest sumą pól powierzchni rzutu poziomego wszystkich kondygnacji nadziemnych (w zewnętrznym ob-

il. 4. Analiza oświetlenia światłem dziennym (Daylighting) w budynku referencyjnym (orientacja południowa) / Daylighting analysis for the reference building (orientation towards the south)

solar energy gains drop, while energy consumption for heating rises.

A daylighting analysis has been performed in order to check the amount and distribution of natural light in the rooms for each of the various variants of the reference building's orientation in relation to the cardinal directions. This analysis allows us to answer the question whether a room has the appropriate amount of sunlight in relation to its purpose, as well as the manner of conserving artificial lighting. Such an analysis allows us to determine the most and least illuminated parts of a building during the early stages of design, as well as allowing us to select or change the form of use of rooms, the surface area of glazing and choose the optimal layout of furniture or workstations.

3. Window surface and placement within a building

The minimum and maximum surface area of windows that are allowed in buildings are regulated by the *Ordinance regarding the technical conditions to be met by buildings and their placement*:

- **The Minimum** allowed surface area of glazing in a room meant for occupation by humans is defined as a ratio of the surface area of glazing—measured as the surface delineated by the internal edges of the jambs—to the surface area of the floor, amounting to $1:8^3$
- **The Maximum** allowed surface area of glazing – the A_0 surface area, expressed in m^2 , of windows as well as glazed and translucent barriers with a heat transfer coefficient no larger than $0,9 W/(m^2K)$, calculated in accordance with their modular dimensions, cannot exceed the value A_{0max} , calculated using the formula $A_{0max} = 0,15 A_z + 0,03 A_w$, where: A_z is the sum of the surface area of the floor plan of all the floors above the ground (measured along the outer edges of a building) within a 5 m wide belt along the external walls, A_w – is the sum of the surface areas of the remaining part of the floor plan of the entirety of its floors, after subtracting A_z .⁴
- There are no separate guidelines for the recommended surface area of glazing for low-energy (NF 40) and passive (NF 15) buildings. Thus, the size of the glazing should be verified based on an analysis of gains and losses for the entire building^{5, 6}.

Research has shown that only the windows that are located on the southern, south-eastern and

rysie budynku) w pasie o szerokości 5 m wzdłuż ścian zewnętrznych, A_w jest sumą pól powierzchni pozostałej części rzutu poziomego wszystkich kondygnacji po odjęciu A_z ⁴

- Nie ma odrębnych zaleceń, dotyczących rekomendowanej wielkości przeszkleń dla budynków niskoenergetycznych (NF 40) i pasywnych (NF 15). W związku z tym wielkość przeszkleń powinna być zweryfikowana przez analizy zysków i strat energii dla całego budynku^{5, 6}.

Badania dowodzą, że jedynie okna usytuowane od strony południowej oraz południowo-wschodniej i południowo-zachodniej mogą mieć pozytywny bilans energetyczny^{7, 8}. Stąd w budynkach energooszczędnych zalecana jest koncentracja okien od strony południowej. Z kolei na elewacji północnej zalecane jest unikanie okien, a na elewacji wschodniej i zachodniej ograniczenie ich ilości.

Okna południowe powinny posiadać elementy ocieniające, które pozwalają na ochronę wnętrza przed przegrzewaniem się w okresie letnim.

W analizowanym budynku referencyjnym analizie porównawczej poddano następujące warianty, związane z rozmieszczeniem i powierzchnią okien:

- Minimalna dopuszczalna powierzchnia przeszkleń – stosunek powierzchni okien, liczonej w świetle ościeżnic, do powierzchni podłogi wynoszący **1:8**
- Maksymalna dopuszczalna powierzchnia przeszkleń – pole powierzchni A_0 okien oraz przegród szklanych i przezroczystych o współczynniku przenikania ciepła nie mniejszym niż $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, obliczone według ich wymiarów modularnych, wynoszące **$A_{0\text{max}} = 0,15 A_z$**
- Właściwy projekt budynku referencyjnego, z oknami o wysokich parametrach termoizolacyjnych, pozwalających na łączną powierzchnię przeszkleń większą aniżeli w wariantcie 2 (il. 5)

Dla każdego z 3 wariantów przeprowadzono analizę zużycia energii końcowej oraz analizę zysków wewnętrznych i od słońca:

- budynek o minimalnej powierzchni przeszkleń dopuszczanej przepisami, tj. stanowiącej **1:8** powierzchni podłogi
 - zużycie energii końcowej = $10533,50 \text{ [Wh/m}^2\text{]} = \mathbf{85\%}$
 - zyski energetyczne od słońca = $33052,39 \text{ [Wh/m}^2\text{]}$

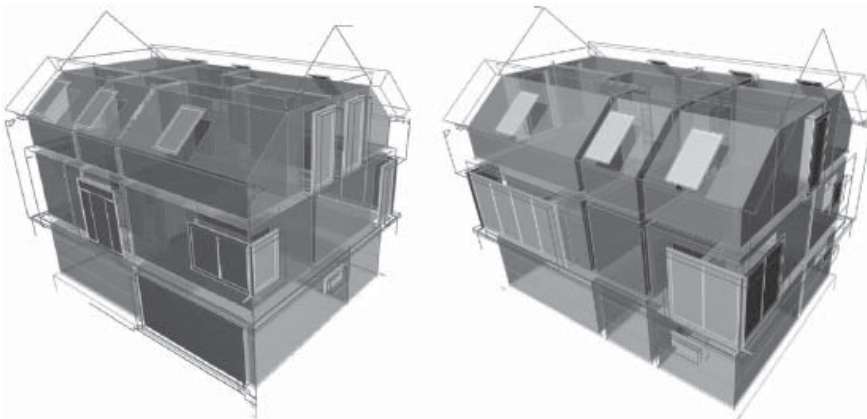
south-western part of the building can have a positive influence on energy balance^{7, 8}. Thus, it is recommended for energy efficient buildings that windows be concentrated in their southern parts. On the other hand, it is advised that the northern facades have as few windows as possible, while the eastern and western ones have their number of windows limited. Southern windows should be fitted with shading mechanisms, allowing the protection of the interior from overheating during the summer season.

The reference building under analysis has had the following variants analysed, depending on the placement and surface area of windows:

- The minimum allowed surface of glazing – the ratio of the surface of windows, measured along the internal edges of the jambs, to the surface area of the floor of **1:8**
- The maximum allowed surface area of glazing – the surface area of windows A_0 , as well as that of glazed and translucent barriers with a heat transfer coefficient no smaller than $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, calculated from their modular dimensions, equal to **$A_{0\text{max}} = 0,15 A_z$**
- The proper design of the reference building, with windows possessing high-grade thermal insulation parameters, allowing the combined surface area of windows to be greater than in variant 2 (il. 5)

An analysis of final energy consumption and an analysis of external solar heat gains has been carried out for each of the three variants:

- the building with the minimum surface area of glazing allowed by regulations, namely 1:8 of the surface area of the floor:
 - final energy consumption = $10533,50 \text{ [Wh/m}^2\text{]} = \mathbf{85\%}$
 - energy gains from the sun = $33052,39 \text{ [Wh/m}^2\text{]}$
- the building with the maximum surface area of glazing allowed by regulations, namely a surface area comprising 0,15 of the sum of surface areas of the floor of all levels above the ground (measured along the outer edge of the building), calculated in accordance with their modular dimensions:



il. 5. Model energetyczny budynku referencyjnego z rozmieszczonymi oknami (oprac. aut.) / Energy model of the reference building with a highlighted placement of windows (original work)

- budynek o maksymalnej powierzchni przeszkleń dopuszczanej przepisami, tj. stanowiącej 0,15 sumy pól powierzchni rzutu poziomego wszystkich kondygnacji nadziemnych (w zewnętrznym obrysie budynku), obliczone według ich wymiarów modularnych
 - zużycie energii końcowej = 10894,68 [Wh/m²] = **88%**
 - zyski energetyczne od słońca = 43921,52 [Wh/m²]
- budynek o powierzchni przeszkleń znacząco większej (63%) od powierzchni w wariantcie 2
 - zużycie energii końcowej = 12341,76 [Wh/m²] = **100%**
 - zyski energetyczne od słońca = 67159,41 [Wh/m²]

Porównanie wyników analiz wskazuje, że:

- najmniejsze zużycie energii końcowej ma budynek w wariantcie 1, tj. z najmniejszą powierzchnią przeszkleń. Jest to spowodowane faktem, iż ściany mają niższy współczynnik przenikania ciepła U niż okna, pomimo ich wysokiej zakładanej jakości. Zmniejszając powierzchnię ściany kosztem powierzchni przeszkleń, zmniejszamy współczynnik przenikania ciepła dla całej przegrody
- w wariantcie 3, pomimo zastosowania dużej, łącznej powierzchni okien jest to budynek energooszczędny, charakteryzującym się niskim zużyciem energii na ogrzewanie na poziomie budynku pasywnego, w którym ze względu na bardzo dużą powierzchnię przeszkleń, największą ilość energii zapewniają zyski od słońca
- zużycie energii różni się dla domu referencyjnego z największą powierzchnią przeszkleń nieznacznie – jedynie o 2,0 [kWh/m²/rok]. Powodem tej niewielkiej różnicy jest fakt, że duża powierzchnia przeszkleń daje znacznie większe zyski energii od słońca, które wspomagają ogrzewanie budynku w zimie i kompensują straty spowodowane większym współczynnikiem przenikania ciepła
- korzyści płynące z dużej powierzchni przeszkleń, zaprojektowanych w budynku referencyjnym to nie tylko zyski od słońca ale dodatkowo dostęp domowników do światła dziennego, znacznie zdrowszego dla organizmu oraz oszczędności związane z energią elektryczną zużywaną na sztuczne oświetlenie.

4. Konstrukcja okien i sposób ich montażu

Zgodnie z przepisami, okna, drzwi balkonowe i powierzchnie przezroczyste nieotwieralne muszą odpowiadać wymaganiom izolacyjności cieplnej określonej przez współczynnik przenikania ciepła U_{max} , na następującym poziomie (przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$)⁹:

1,3 [W/(m²·K)] od 1.01.2014 r. , **1,1** [W/(m²·K)] od 1.01.2017 r. , **0,9** [W/(m²·K)] od 1.01.2021 r.

Minimalne wymagania techniczne dla okien w budynkach energooszczędnych są ostrzejsze. Graniczne wartości współczynników przenikania ciepła U_{max} [W/m²·K] wynoszą¹⁰:

- $\leq 1,0$ [W/(m²·K)] dla budynku niskoenergetycznego o standardzie NF40
- $\leq 0,80$ [W/(m²·K)] dla budynku pasywnego o standardzie NF15

Aby okna mogły spełnić powyższe wymagania muszą posiadać odpowiednią konstrukcję. Zazwyczaj okna prze-

– final energy consumption = 10894,68 [Wh/m²] = **88%**

– energy gains from the sun = 43921,52 [Wh/m²]

- the building with a much larger surface area of glazing (by 63%) than the one in variant 2
 - final energy consumption = 12341,76 [Wh/m²] = **100%**
 - energy gains from the sun = 67159,41 [Wh/m²]

A comparison of the results of the analysis demonstrates that:

- the smallest degree of final energy consumption has been reported for variant 1, namely the one with the smallest surface area of glazing. This has been caused by the fact that walls have a lower U heat transfer coefficient than windows, despite their assumed high quality. By increasing the surface area of the wall at the cost of the surface area of glazing, we reduce the heat transfer coefficient for the entire partition.
- in the case of variant 3, despite the use of a large total surface area of windows, it still remains an energy efficient building, with a low amount of energy consumed by heating, equal to the level of a passive building, in which the large surface area of the glazing provides the largest amount of solar heat gains.
- the difference in energy consumption between the reference building and the one with the largest surface area of glazing is very small – amounting to 2,0 [kWh/m²/year]. The reason for this small difference is the fact that the large surface area of glazing provides significant solar heat gains, which support the heating of the building during winter, and compensates for the losses caused by a higher heat transfer coefficient.
- the benefits that can be gained from a high surface area of glazing designed in the reference building are not only solar heat gains, but also allowing its residents access to sunlight, which is much more healthy for the human body, as well as a lower cost of electricity used for artificial lighting.

4. The structure of the windows and the manner of their fitting

In accordance with legal regulations, windows, balcony doors and translucent, fixed surfaces need to meet the requirements of thermal insulation in the form of the following $U_{(max)}$ heat transfer coefficient levels: (when $t_i \geq 16^\circ\text{C}$)⁹:

1,3 [W/(m²·K)] since 1.01.2014, **1,1** [W/(m²·K)] from 1.01.2017, **0,9** [W/(m²·K)] from 1.01.2021.

The minimum technical requirements for windows in energy efficient buildings are stricter. The borderline U_{max} [W/m²·K] heat transfer coefficient values are¹⁰:

- $\leq 1,0$ [W/(m²·K)] for a NF 40 low-energy building
- $\leq 0,80$ [W/(m²·K)] for a NF 15 passive building

In order for windows to meet these requirements, they need to have an appropriate structure. Typi-

znaczone do budynków energooszczędnych posiadają potrójne szklenie, w którym przestrzeń między szybami wypełniona jest gazem szlachetnym (argon, krypton). Szyby zewnętrzne pokrywane są powłokami niskoemisyjnymi, które mają na celu ograniczenie strat ciepła przez promieniowanie od szyby do otoczenia. Wewnętrzna strona szyby pokrywana jest z kolei często powłoką refleksyjną, ograniczającą ucieczkę ciepła drogą promieniowania z pomieszczenia do otoczenia. Ramka dystansowa, odpowiadająca za powstawanie mostka cieplnego na styku szklenia z ramą okienną, jest wykonywana z materiału o niskiej przewodności cieplnej.

Profile okienne są wielokomorowe, dodatkowo ocieplane materiałem izolacyjnym, w postaci różnego rodzaju nakładek od strony zewnętrznej.

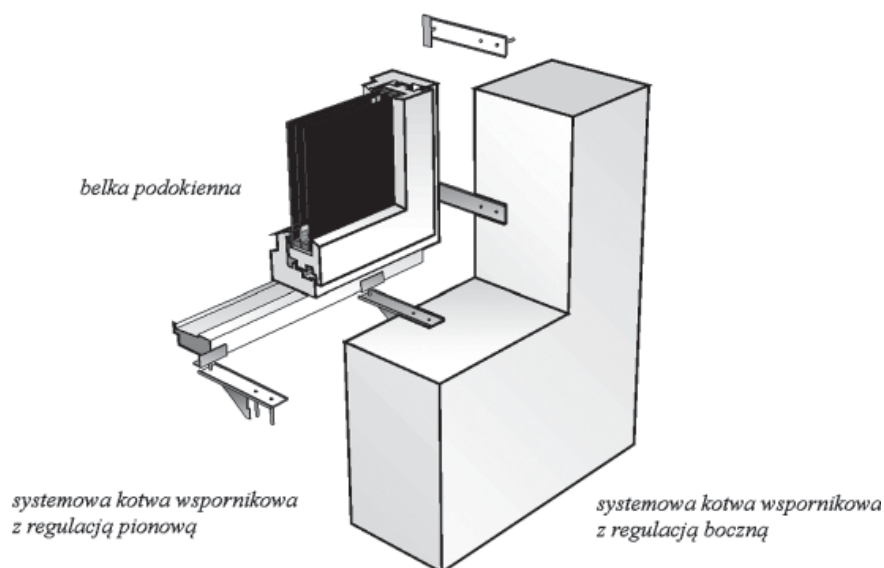
Najstabszym punktem okna, jeśli chodzi o jego charakterystykę cieplną, jest rama okienna oraz mostek cieplny, który powstaje na połączeniu szklenie-rama. Stąd, ze względów energetycznych, bardziej korzystne jest projektowanie okien o dużych powierzchniach przeszkleń, z maksymalnie ograniczoną ilością podziałów okna na oddzielne kwatery, przy jak najmniejszym udziale powierzchniowym ramy okiennej¹¹. Dzięki temu uzyskamy większe zyski cieplne od słońca, a jednocześnie niższy całkowity współczynnik przenikania ciepła dla okna. Ponadto okna w budynkach energooszczędnych powinny być maksymalnie szczelne na przenikanie powietrza. W szczególności dotyczy to połączenia ościeżnicy okiennej z ościeżnicami ściany. Okna nie biorą udziału w procesie wentylacji, a strumień świeżego powietrza jest dostarczany wyłącznie przez system mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej¹².

Najkorzystniejszym sposobem montażu okien w budynkach energooszczędnych, ze względu na eliminację liniowych mostków termicznych wokół ościeżnic, jest mocowanie w warstwie termoizolacyjnej ściany, z węgarkiem z materiału termoizolacyjnego, zachodzącym na ramę ościeżnicy na szerokość min. 4,0 cm. Wymaga to wysunięcia okna przed

cally, windows meant for fitting in energy efficient buildings are double glazed, with the space between the glass panes filled with a noble gas (argon, krypton). The external panes are covered with low-emissive coating, which is meant to reduce heat loss through radiation from the glass to its surroundings. The internal panes, on the other hand, often have a reflective coating, limiting the heat transfer through radiation from the room to the exterior. The distancing frame, responsible for the occurrence of a thermal bridge at the connection of the glazing with the window frame, is composed of a material which has low thermal transmittance. The frames possess multiple compartments, with additional insulation material in the form of various types of inlays from the external side.

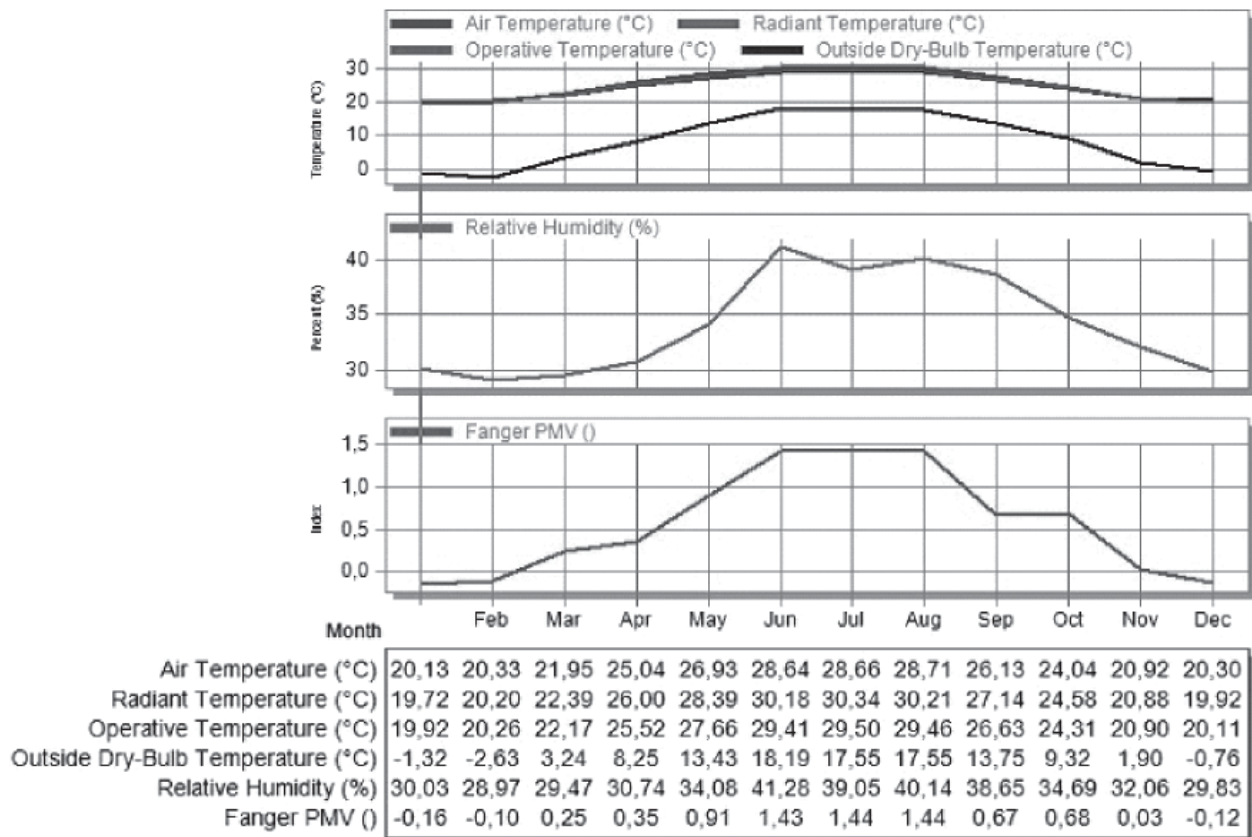
The weakest point of a window in terms of its heat characteristics is the window frame and the heat bridge, which occurs at the connection between the glazing and the frame. Thus, for energy related reasons, it is better to design windows with large glazed areas, with the least possible amount of individual panes, with the smallest possible ratio of window frame surface area¹¹. Thanks to this we can obtain higher solar heat gains, at the same time providing a lower overall heat transfer coefficient for the entire window. Furthermore, windows in energy efficient buildings should be as airtight as possible. This is particularly important in the case of the connection between the window jambs and the surface of the opening in the wall. Windows do not take part in the process of ventilation, and the stream of fresh air is provided exclusively by a mechanical supply and exhaust ventilation system¹².

The most beneficial manner of fitting windows in energy efficient buildings, due to the elimination of linear thermal bridges around the jambs, is placing them within the thermal insulation layer of a wall, with an insulated reveal board where the insulating material covers at least 4,0 cm of the jamb. This requires the window to be placed in front of the structural wall, mounted on special anchors that act as cantilevers (il. 6).



il. 6. Rekomendowany w budynkach energooszczędnych „ciepły” sposób montażu okien w warstwie termoizolacyjnej (oprac. aut.) / The “warm” type of fitting windows within the thermal insulation layer, recommended for energy efficient buildings (original work)

Comfort - Parter, Kuchnia
1 Jan - 31 Dec, Monthly



il. 7. Analiza miesięczna komfortu i przegrzewania w pomieszczeniu kuchni budynku referencyjnego z oknami wyposażonymi w rolety zewnętrzne / Monthly analysis of comfort and overheating of the kitchen in the reference building, with windows fitted with external roller-blinds

ścianę konstrukcyjną na specjalnych kotwach wspornikowych (il. 6).

W analizowanym budynku referencyjnym zastosowano następujące rozwiązania:

- stolarka okienna o podwyższonych parametrach termoizolacyjności, o współczynniku przenikania ciepła U na poziomie **0,9** [W/m^2K], ze szkleniem 3-szybowym, z powłokami antyrefleksyjnymi o przepuszczalności promieni słonecznych na poziomie **0,6**. Ościeżnice usytuowano w warstwie termoizolacyjnej ściany, z wykształconym wokół ościeżnic węgarkiem z płyt termoizolacyjnych o szerokości 4 cm.
- okna połaciowe o podwyższonej izolacyjności termicznej, ze szkleniem 3-szybowym i z obniżonym poziomem mocowania, w celu eliminacji mostka termicznego na obrzeżu ościeżnic. W celu zapobieżenia przegrzewaniu w okresie letnim, zastosowano szyby z powłoką antyrefleksyjną, obniżającą transmisyjność przeszkleń do poziomu **0,3**. Zastosowanie przeszkleń o wyższej transmisyjności powodowało bardzo niekorzystne i gwałtowne podnoszenie się temperatur użytkowych w lecie.
- na oknach pionowych oraz połaciowych zastosowano żaluzje z automatycznym warunkiem zasłonięcia kiedy tempe-

The following technical solutions were used in the reference building:

- windows with high-grade thermal insulation parameters, with a heat transfer coefficient U of **0,9** [W/m^2K], with triple glazing, anti-reflective coating and a solar radiation transfer coefficient of **0,6**. The jambs were placed within the thermal insulation layer of the wall, with reveal boards insulated with thermal insulation materials 4 cm thick.
- roof windows with high-grade thermal insulation parameters, with triple glazing and a recessed fitting level in order to eliminate the thermal breach around the jambs. In order to prevent overheating during the summer season, the roof windows were fitted with an anti-reflective coating, lowering the transmittance of glazing to a level of **0,3**. The use of glazing with a higher transmittance level could cause a very inconvenient and rapid rise of temperature during summer.
- the windows and roof windows were fitted with roller-blinds, programmed to automatically roll down when the interior temperature exceeds $24\text{ }^{\circ}C$, in order to prevent excessive overheating of rooms.

ratura wewnątrz przekracza 24°C, aby zapobiec nadmiernej przegrzewaniu się pomieszczeń

- z wariantowych analiz dotyczących typu urządzeń zacięniających wynika, że żaluzje/rolety zewnętrzne są skuteczniejsze niż żaluzje wewnętrzne. Wynika to z faktu, że żaluzje/rolety zewnętrzne absorbują promienie słoneczne już przed szybą i emitują ciepło na zewnątrz chroniąc w ten sposób przed nagrzewaniem wnętrza.

5. Podsumowanie i wnioski

Relatywnie duże straty energii poprzez okna w budynkach energooszczędnych wynikają z wysokich parametrów termooizolacyjności ścian zewnętrznych, na skutek czego proporcje strat energetycznych poprzez okna powiększają się. Z drugiej jednak strony duża powierzchnia przeszklenia daje znacznie większe zyski energii od słońca, które wspomagają ogrzewanie budynku w zimie i kompensują straty spowodowane większym współczynnikiem przenikania ciepła.

Rozwiązania architektoniczno-budowlane rekomendowane dla budynków energooszczędnych zwiększają ryzyko przegrzewania budynków w okresie letnim. Główną przyczyną tego zjawiska jest przede wszystkim brak elementów zacięniających dla okien zorientowanych na południe. Zastosowanie zacięniających żaluzji zewnętrznych oraz przeszkleń z powłokami antyrefleksyjnymi umożliwia znaczną poprawę komfortu cieplnego w okresie letnim. Nie jest to jednak rozwiązanie wystarczające, aby całkowicie zapobiec przegrzewaniu budynku.

Analiza komfortu i przegrzewania jest szczególnie ważna w budynkach energooszczędnych, w których ze względu na duże przeszklenia od strony południowej w połączeniu z wysoką izolacyjnością termiczną ścian i wysoką szczelnością powietrzną dochodzić może do przegrzewania pomieszczeń w okresie letnim.

PRZYPISY

¹ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r., Rozdział 2. Oświetlenie i nasłonecznienie, § 60, Dz.U. Nr 75, poz. 690 wraz z wprowadzonymi zmianami

² M. Twarowski, *Słońce w architekturze*, Instytut Urbanistyki i Architektury, Arkady, 1996

³ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z wprowadzonymi zmianami, Dział III. Budynki i pomieszczenia, Rozdział 2. Oświetlenie i nasłonecznienie

⁴ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z wprowadzonymi zmianami, Załącznik 2, Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii

⁵ Kisilewicz T.: *Zasady kształtowania budynków pasywnych*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, 2005, T. 1, str.169-176

⁶ T. Kisilewicz, *Efektywne wykorzystanie energii słonecznej w budynkach energooszczędnych*, [w:] Nauka i technika nr 2/2005

⁷ W. Feist, *Forschungsprojekt Passive Hauser*, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1988, str.35

⁸ M. Idczak, S. Firląg, *Okna w budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny*, Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A., [w:] Świat Szkła 7-8, 2006

⁹ Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z wprowadzonymi zmianami

¹⁰ Program Priorytetowy NFOŚiGW: Poprawa efektywności energetycznej, Załącznik nr 3: Wytyczne określające podstawowe wymogi niezbędne do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkalnych oraz sposób weryfikacji projektów i sprawdzenia wykonanych domów energooszczędnych, 2015, str. 11

- the variant analyses regarding the type of shading mechanisms point out that louvres/external roller-blinds absorb solar rays in front of the glazing and emit heat outwards, protecting the interior from overheating.

5. Summary and conclusions

the relatively major energy loss occurring through windows in energy efficient buildings is a result of the high thermal parameters of their walls, and, as a consequence, of the proportional energy loss occurring through windows becoming larger. On the other hand, large surfaces of glazing provide much larger energy gains from sunlight, supporting the heating of the building during winter and compensating the losses caused by the higher heat transfer coefficient.

Architectural and technical solutions that are recommended for energy efficient buildings increase the risk of the overheating of such buildings during the summer. The main cause of this phenomenon is primarily the lack of shading elements for windows oriented towards the south. The use of shading external louvres and glazing with anti-reflective coating allows us to greatly improve thermal comfort during the summer season. This solution, however, is not enough to completely prevent the overheating of a building.

Comfort and overheating analysis is particularly important in regard to energy efficient buildings that—due to their large glazed surfaces oriented towards the south, coupled with the high thermal insulation properties of their walls and a high degree of airtightness—can suffer from overheating during the summer season.

ENDNOTES

¹ Ordinance of the Minister of Infrastructure regarding the technical conditions to be met by buildings and their placement from the 12 of April 2002, Chapter 2: Illumination and daylight, § 60, Journal of Laws Iss. 75, pos. 690 with later changes.

² M. Twarowski, *Słońce w architekturze*, Instytut Urbanistyki i Architektury, Arkady, 1996.

³ Ordinance of the Minister of Infrastructure regarding the technical conditions to be met by buildings and their placement from the 12 of April 2002, Journal of Laws Iss. 75, pos. 690 with later changes, Section III. Buildings and rooms, Chapter 2. Illumination and daylight.

⁴ Ordinance of the Minister of Infrastructure regarding the technical conditions to be met by buildings and their placement from the 12 of April 2002, Journal of Laws Iss. 75, pos. 690 with later changes, Appendix 2, Requirements regarding thermal insulation and other requirements associated with energy efficiency.

⁵ T. Kisilewicz, *Zasady kształtowania budynków pasywnych*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, 2005, vol. 1, p.169-176.

⁶ Kisilewicz T., *Efektywne wykorzystanie energii słonecznej w budynkach energooszczędnych*, [in:] Nauka i technika iss. 2/2005.

⁷ W. Feist, *Forschungsprojekt Passive Hauser*, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1988, p.35.

⁸ M. Idczak, S. Firląg, *Okna w budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny*, Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A., [in:] Świat Szkła 7-8, 2006.

⁹ Ordinance of the Minister of Infrastructure regarding the technical conditions to be met by buildings and their placement from the 12 of April 2002, Journal of Laws. Iss. 75, pos. 690 with later changes.

¹⁰ NFOŚiGW Priority Program: Energy Efficiency Improvement, Appendix 3: Guidelines determining the basic requirements need to achieve the expected energy standards for

¹¹ M. Idczak, S. Firląg, *Okna w budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny*, Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A., [w:] Świat Szkła 7-8, 2006

¹² A. Panek, S. Firląg, *Wentylacja w budynkach pasywnych*, Materiały Konferencyjne VII Ogólnopolskiej Konferencji ENERGODOM 2004, 11-13.10 2004, Zakopane

LITERATURA

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r., Rozdział 2. Oświetlenie i nasłonecznienie, § 60, Dz.U. Nr 75, poz. 690 wraz z wprowadzonymi zmianami Twarowski M., *Słońce w architekturze*, Instytut Urbanistyki i *Architektury*, Arkady, 1996

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z wprowadzonymi zmianami, Dział III. Budynki i pomieszczenia, Rozdział 2. Oświetlenie i nasłonecznienie

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z wprowadzonymi zmianami, Załącznik 2, Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii

Kisilewicz T.: *Zasady kształtowania budynków pasywnych*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, 2005, T. 1, s. 169–176

Kisilewicz T., *Efektywne wykorzystanie energii słonecznej w budynkach energooszczędnych*, [w:] Nauka i technika nr 2/2005

Feist W., *Forschungsprojekt Passive Hauser*, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1988, s. 35

Idczak M., Firląg S., *Okna w budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny*, Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A., [w:] Świat Szkła 7–8, 2006

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690) wraz z wprowadzonymi zmianami)

Program Priorytetowy NFOŚiGW: Poprawa efektywności energetycznej, Załącznik nr 3: Wytyczne określające podstawowe wymagania niezbędne do osiągnięcia oczekiwanych standardów energetycznych dla budynków mieszkalnych oraz sposób weryfikacji projektów i sprawdzenia wykonanych domów energooszczędnych, 2015, s. 11

Idczak M., Firląg S., *Okna w budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny*, Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A., [w:] Świat Szkła 7–8, 2006

Panek A., Firląg S., *Wentylacja w budynkach pasywnych*, Materiały Konferencyjne VII Ogólnopolskiej Konferencji ENERGODOM 2004, 11–13.10 2004, Zakopane

residential buildings and the manner of verifying designs and inspecting built energy efficient houses, 2015, p. 11

¹¹ M. Idczak, S. Firląg, *Okna w budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny*, Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A., [in:] Świat Szkła 7-8, 2006

¹² A. Panek, S. Firląg, *Wentylacja w budynkach pasywnych*, Conference Proceedings of the VII National ENERGODOM 2004 Conference, 11-13.10 2004, Zakopane

BIBLIOGRAPHY

Ordinance of the Minister of Infrastructure regarding the technical conditions to be met by buildings and their placement from the 12 of April 2002, Chapter 2: Illumination and daylight, § 60, Journal of Laws Iss. 75, pos. 690 with later changes.

Twarowski M., *Słońce w architekturze*, Instytut Urbanistyki i *Architektury*, Arkady, 1996

Ordinance of the Minister of Infrastructure regarding the technical conditions to be met by buildings and their placement from the 12 of April 2002, Journal of Laws Iss. 75, pos. 690 with later changes, Section III. Buildings and rooms, Chapter 2. Illumination and daylight.

Ordinance of the Minister of Infrastructure regarding the technical conditions to be met by buildings and their placement from the 12 of April 2002, Journal of Laws Iss. 75, pos. 690 with later changes, Appendix 2, Requirements regarding thermal insulation and other requirements associated with energy efficiency.

Kisilewicz T.: *Zasady kształtowania budynków pasywnych*, Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce, 2005, vol. 1, p.169-176

Kisilewicz T., *Efektywne wykorzystanie energii słonecznej w budynkach energooszczędnych*, [in:] Nauka i technika iss. 2/2005

Feist W., *Forschungsprojekt Passive Hauser*, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1988, p.35

Idczak M., Firląg S., *Okna w budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny*, Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A., [in:] Świat Szkła 7–8, 2006

Ordinance of the Minister of Infrastructure regarding the technical conditions to be met by buildings and their placement from the 12 of April 2002, Journal of Laws. Iss. 75, pos. 690 with later changes,

NFOŚiGW Priority Program: *Energy Efficiency Improvement*, Appendix 3: *Guidelines determining the basic requirements need to achieve the expected energy standards for residential buildings and the manner of verifying designs and inspecting built energy efficient houses*, 2015, p. 11

Idczak M., Firląg S., *Okna w budynkach pasywnych – funkcje, wymagania, bilans energetyczny, komfort cieplny*, Instytut Budynków Pasywnych przy Narodowej Agencji Poszanowania Energii S.A., [in:] Świat Szkła 7–8, 2006

Panek A., Firląg S., *Wentylacja w budynkach pasywnych*, Conference Proceedings of the VII National ENERGODOM 2004 Conference, 11–13.10 2004, Zakopane