

DOROTA CHWIEDUK*

WYTYCZNE TWORZENIA
KONCEPCJI ENERGETYCZNEJ BUDYNKURECOMMENDATION FOR ENERGY
CONCEPT OF A BUILDING

Streszczenie

Przeprowadzono obliczenia symulacyjne nieustalonych stanów energetycznych dowolnego przykładowego budynku z uwzględnieniem napromieniowania słonecznego. Otrzymane wyniki pozwalają wysnuć wnioski, a w konsekwencji sformułować wytyczne do tworzenia koncepcji energetycznej budynku w kontekście oddziaływania energii promieniowania słonecznego. Okazuje się, że sformułowane wnioski pokrywają się w znacznej mierze z wnioskami dotyczącymi nasłonecznienia obudowy. Oznacza to, że znajomość warunków napromieniowania obudowy budynku jest jedną z podstawowych informacji pozwalających odpowiednio kształtować koncepcję architektoniczną i energetyczną budynku.

Słowa kluczowe: energia słoneczna, zapotrzebowanie na ciepło/chłód, koncepcja energetyczna budynku

Abstract

Simulation studies of unsteady energy states of a building with solar energy impact have been performed. On a base of results obtained the conclusions can be withdrawn, and in consequence the recommendations for energy concepts of buildings with respect to solar energy influence can be formulated. It turns out that these recommendations are nearly the same as results of analysis of insolation conditions. Therefore it can be said, that knowledge of solar energy availability on a building envelope is crucial for good architectural concept of a building, as well as energy ones.

Keywords: solar energy, heating/cooling energy demand, energy concept of a building

* Dr hab. inż. Dorota Chwieduk, prof. PW, Instytut Techniki Ciepłej, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska.

1. Wstęp

Obliczenia bilansów cieplnych budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej prowadzone są w kraju zwykle jedynie w okresie sezonu grzewczego, co prowadzi do bardzo jednostronnego spojrzenia na budynek z punktu widzenia jego rzeczywistych obciążeń cieplnych. Budynek ulega oddziaływaniu środowiska zewnętrznego w ciągu całego roku. Komfort cieplny powinien więc być zapewniony przez cały rok. Na podstawie przeprowadzonych rozważań i obliczeń symulacyjnych można stwierdzić, że przy pewnych rozwiązaniach architektoniczno-konstrukcyjno-materiałowych i przy pewnej lokalizacji pomieszczeń zapotrzebowanie na chłód może stać się dominującym składnikiem bilansu energetycznego tych pomieszczeń czy też nawet całego budynku. Korzystając z wyników przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych nieustalonych stanów termicznych budynku, sformułowano wytyczne do tworzenia koncepcji energetycznej budynku w kontekście oddziaływania energii promieniowania słonecznego.

2. Bilans cieplny powietrza w budynku

Równanie bilansu cieplnego powietrza w pomieszczeniu czy też budynku można zapisać jako równanie o postaci ogólnej i o parametrach skupionych. Każdą składową takiego równania bilansowego można wyznaczać oddzielnie, obliczając ją z dowolną szczegółowością. Obudowę budynku tworzą przegrody nieprzezroczyste i przezroczyste, na które oddziałuje promieniowanie słoneczne w sposób bezpośredni. Przegrody zewnętrzne obudowy to także elementy posadowione w gruncie (fundamenty, posadzka na gruncie), na które bezpośrednio promieniowanie słoneczne nie wpływa. Wymiana ciepła następuje pomiędzy wnętrzem o określonej (względnie stałej) temperaturze wewnętrznej powietrza a otoczeniem zewnętrznym reprezentowanym przez obiekty w otoczeniu i otoczenie atmosferyczne, o zmiennej temperaturze powietrza zewnętrznego, i dalsze otoczenie, tj. pozorny nieboskłon również o zmiennej temperaturze. Wymiana ciepła występuje też pomiędzy wnętrzem a środowiskiem gruntowym o zmiennej temperaturze gruntu. Różne elementy obudowy charakteryzują się różną opornością cieplną. Dodatkowo do pomieszczenia z przezroczystymi elementami obudowy oknami – napływa bezpośrednio energia promieniowania słonecznego. W przypadku nieprzezroczystych przegród promieniowanie słoneczne oddziałuje na powierzchnię przegród, w których jest pochłaniane. Jeżeli temperatura otoczenia zewnętrznego T_z jest niższa od temperatury wewnętrznej T_w , budynek może tracić ciepło (strumień Q_{ob}) przez przegrody zewnętrzne obudowy i wskutek wentylacji (strumień Q_{wen}). Jeżeli działa instalacja ogrzewania o mocy Q_{co} oraz występują zyski wewnętrzne ciepła o mocy Q_{wew} i zyski z promieniowania słonecznego o mocy Q_s , wtedy bilans energii dla powietrza można zapisać jako:

$$\rho c V \frac{dT_w}{dt} = \dot{Q}_{wew}(t) + \dot{Q}_{co}(t) + \dot{Q}_s(t) - \dot{Q}_{ob}(t) - \dot{Q}_{wen}(t) \quad (1)$$

W przypadku gdy wszystkie pomieszczenia w budynku mają taką samą temperaturę T_w i jest ona stała w czasie i przestrzeni (co ułatwia rozważania i analizę porównawczą bilansów energetycznych różnych pomieszczeń/budynków), wtedy lewa strona równania

jest równa zero. Przyjęcie takiego założenia oznacza, że instalacja grzewczo-chłodząca (klimatyzacyjna) musi działać w sposób nadążny za zmieniającymi się w czasie warunkami otoczenia atmosferycznego. Jak wspomniano, w przypadku przegród nieprzezroczystych promieniowanie słoneczne działa jedynie na ich powierzchnię, gdzie jest pochłaniane w ilości zależnej od absorpcyjności danej ich powierzchni (dla promieniowania słonecznego) oraz od izolacyjności cieplnej przegrody, która ogranicza przepływ pozyskanego ciepła do wnętrza pomieszczenia.

Wymianę ciepła przez nieprzezroczyste elementy obudowy sprowadzono do przepływu ciepła przez przewodzenie. Pole temperatury w układzie jednowymiarowym w stanie nieustalonym ($T_p(x,t)$ temperatura przegrody w węźle x w czasie t), w przegrodzie jednowarstwowej lub w każdej warstwie przegrody wielowarstwowej bez wewnętrznych źródeł ciepła, opisuje równanie przewodnictwa. Równanie przewodnictwa może być rozwiązane, jeśli znany jest warunek początkowy i warunki brzegowe. Wymiana ciepła na brzegach obszaru przegrody od strony wewnętrznej, tj. od strony pomieszczenia opisana jest warunkiem granicznym, który wynika z wymiany ciepła wskutek konwekcji swobodnej i promieniowania. W przypadku gdy temperatura powietrza wewnątrz T_w jest wyższa niż temperatura powierzchni wewnętrznej przegrody zewnętrznej ($T_{p(x=w)}$), wtedy ciepło jest odbierane przez przegrodę i przekazywane w niej poprzez przewodzenie. Zewnętrzna przegroda kontaktuje się także z otoczeniem zewnętrznym. Warunek brzegowy dla tej powierzchni jest bardziej skomplikowany i przyjmuje postać:

$$-\lambda_p \frac{\partial T_p(x,t)}{\partial x_p} \Big|_{x=z} = h_z(t) [T_a(t) - T_p(x,t) \Big|_{x=z}] + \dot{q}_{\text{nieb,ściana}}(t) + \dot{q}_{\text{s,ściana}}(t) \quad (2)$$

Uwzględnia on wymianę ciepła wskutek konwekcji (z reguły wymuszonej działaniem wiatru) i promieniowania cieplnego (pierwszy składnik sumy z równania (2) po prawej stronie), wymianę ciepła przez promieniowanie z pozornym nieboskłonem (drugi składnik) oraz strumień promieniowania słonecznego pochłonięty przez powierzchnię warstwy zewnętrznej w ilości zależnej od jej absorpcyjności (trzeci składnik). Ciepło wymieniane z otoczeniem zewnętrznym jest przekazywane wskutek przewodzenia do wnętrza przegrody, co uwzględnia lewa strona równania (2).

3. Opis wybranych wyników symulacji numerycznej zjawisk ciepłych zachodzących w budynku i jego otoczeniu

Podstawą opisu zachodzących zjawisk w budynku i jego otoczeniu są równania matematyczne praw zachowania i transportu energii, wraz z warunkami brzegowymi i początkowymi. Sformułowane i opisane matematycznie zagadnienia rozwiązano z wykorzystaniem symulacji numerycznej. Na podstawie sformułowanego autorskiego modelu matematycznego, opisanego w literaturze [1–3], przeprowadzono obliczenia symulacyjne procesów nieustalonych w czasie zachodzących w obudowie budynku i jego otoczeniu w zmieniających się warunkach, dla różnych lokalizacji pomieszczeń w budynku, dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych obudowy budynku. Obliczenia przeprowadzono z zastosowaniem autorskiego kodu numerycznego opracowanego w środowisku MATLAB. Opra-

cowano algorytmy kilku programów numerycznych, które symulują zjawiska zachodzące w poszczególnych elementach modelowego pomieszczenia budynku i ich otoczeniu. Modułowość programów stanowiąca o integralności opisu poszczególnych elementów budynku i otoczenia umożliwia analizowanie poszczególnych zagadnień oddzielnie, niezależnie wprowadzenie zmian w poszczególnych programach i otrzymywanie wielowariantowych kompleksowych rozwiązań.

Warunki zewnętrzne są opisane zmienną w czasie (z krokiem obliczeniowym czasowym równym jednej godzinie) temperaturą powietrza otoczenia, temperaturą nieboskłonu i napromieniowaniem słonecznym z uwzględnieniem pochylenia i orientacji powierzchni, do której dociera promieniowanie słoneczne (prędkość wiatru zmienia się sezonowo). Szczegółowy opis wykorzystanych danych przedstawiono w literaturze [1, 2]. W celu rozwiązania zagadnienia napromieniowywania słonecznego obudowy budynku sformułowano model dostępności promieniowania słonecznego dla różnie usytuowanych powierzchni, opisanych kątem azymutalnym i kątem pochylenia [1], w odniesieniu do uśrednionych reprezentatywnych dni poszczególnych miesięcy roku [4]. Model reprezentatywnego (uśrednionego) promieniowania słonecznego oparty na rzeczywistych danych pomiarowych dla Warszawy, przygotowany został w IMiGW [5]. Model ten stał się podstawą do przeprowadzenia obliczeń napromieniowania różnie usytuowanych powierzchni z wykorzystaniem modelu anizotropowego promieniowania słonecznego rozproszonego HDKR [6].

Przeprowadzono symulację komputerową zjawisk zachodzących w budynku i jego otoczeniu dla wielu przykładów pomieszczeń budynku ze szczególnym uwzględnieniem oddziaływania promieniowania słonecznego. W tej części opisano wyniki obliczeń, które pozwalają na wysnucie pewnych wspólnych wniosków co do charakteru i istoty poszczególnych zjawisk. Przeprowadzone obliczenia pokazują, że przepływ energii do lub z pomieszczenia przez okno zależy od zmian natężenia promieniowania słonecznego półsferycznego docierającego do rozważanych okien w danym czasie. Największy przepływ energii z otoczenia zewnętrznego do pomieszczenia występuje latem i późną wiosną. W przypadku pionowych okien największy przepływ energii występuje przez przeszklenia zachodnie i południowe, następnie wschodnie, przy czym dla różnych orientacji na różne miesiące i pory dnia (godziny) przypadają największe zyski energetyczne. Zmniejszenie pochylenia powierzchni (względem poziomu), tj. stosowanie okna połaciowego, powoduje zwiększenie przepływu energii do wnętrza w ciągu dnia (na skutek zwiększenia dostępności promieniowania słonecznego), przy czym największy przepływ energii występuje dla orientacji południowej. Ponadto zauważono, że nocą przy odchyłaniu powierzchni okna (od pionu) następuje nieznaczny wzrost strat ciepła w porównaniu z przeszkleniem pionowym. Zjawisko to jest związane m.in. z większą wymianą ciepła przez promieniowanie z pozornym nieboskłonem i stanowi przykład tzw. „chłodzenia nocnego” przegrody. Zimą w ciągu dnia przy dużym napromieniowaniu słonecznym może występować przepływ ciepła do pomieszczenia przez okno południowe, nawet przez kilka godzin dziennie, a także przez zachodnie, ale tylko po południu i to w znacznie krótszym czasie. Charakter zmian przepływu ciepła nocą jest bardziej łagodny (niż w ciągu dnia) i jest ściśle związany z rozkładem temperatury powietrza zewnętrznego. Straty ciepła osiągają maksimum przed wschodem Słońca (zgodnie z obserwacjami meteorologicznymi [5] i ze sformułowaniem rozkładem temperatury powietrza atmosferycznego [1]). Rozkład temperatury otoczenia zewnętrznego jest zbliżony do sinusoidy z minimum tuż przed wschodem słońca i maksimum o godzinie 14³⁰.

W przypadku przegród nieprzezroczystych wykonanych zgodnie z obowiązującymi standardami i zasadami budownictwa energooszczędnego (rozważono wiele struktur przegród wielowarstwowych, szczegóły można znaleźć w [1–3]) okazuje się, że udział wymiany ciepła przez te przegrody jest bardzo mały. Przepływ ciepła przez przegrody nieprzezroczyste stanowi najmniej istotny element bilansu energetycznego pomieszczenia w skali roku, co potwierdzają także inne badania [7, 8]. Wynosi on zwykle kilka procent w całkowitym rocznym bilansie energetycznym i nawet w przypadku najmniej dogodnej orientacji pomieszczeń, tj. północnej, nie przekracza 10% w skali roku.

Ograniczenie zużycia ciepła na cele wentylacyjne oznacza zastosowanie rekuperacji ciepła w układach wentylacyjnych. Okazuje się, że pomimo zastosowania takiego rozwiązania zapotrzebowanie na ciepło do celów wentylacyjnych stanowi istotny element rocznego bilansu cieplnego pomieszczenia. Waha się ono w skali roku od kilkunastu procent, w przypadku najlepiej napromieniowywanych słonecznie pomieszczeń (południowych, zachodnich), do 40% w przypadku pomieszczeń północnych.

Jak wykazują obliczenia symulacyjne zdecydowanie największy wpływ na roczny bilans ciepła pomieszczenia ma przepływ energii promieniowania słonecznego przez okno. Rola okna w bilansie energetycznym [9] rośnie oczywiście wraz ze wzrostem jego powierzchni i ściśle zależy od pory roku, orientacji i pochylenia okna. Zimą przy małej powierzchni okien pionowych (mniejszej niż obowiązująca ze względu na dostęp światła dziennego) udział wymiany ciepła przez okna południowe jest poniżej 30% w bilansie miesięcznym. Dla okien północnych wynosi on około 35%. Zimą poszczególne składniki bilansu rozkładają się względnie równomiernie, przy czym dominującym składnikiem jest zapotrzebowanie na ciepło do celów wentylacyjnych i wynosi ono 40–45% (pomimo rekuperacji). Straty ciepła przez przegrody nieprzezroczyste stanowią około 25%.

Przy dużej powierzchni okien (powyżej obowiązującej minimalnej powierzchni ze względu na dostęp światła dziennego) udział zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń na skutek strat ciepła przez okno jest zdecydowanie największy. Stanowi on ponad 60% w przypadku okien południowych i ponad 70% w przypadku północnych. Udział przegród nieprzezroczystych jest niewielki i z reguły poniżej 10%. Zapotrzebowanie na ciepło do celów wentylacyjnych utrzymuje się na poziomie 25–20%, w zależności od lokalizacji pomieszczeń. Przy stosowaniu okien połaciowych ich udział w bilansie energetycznym jest większy o kilka procent.

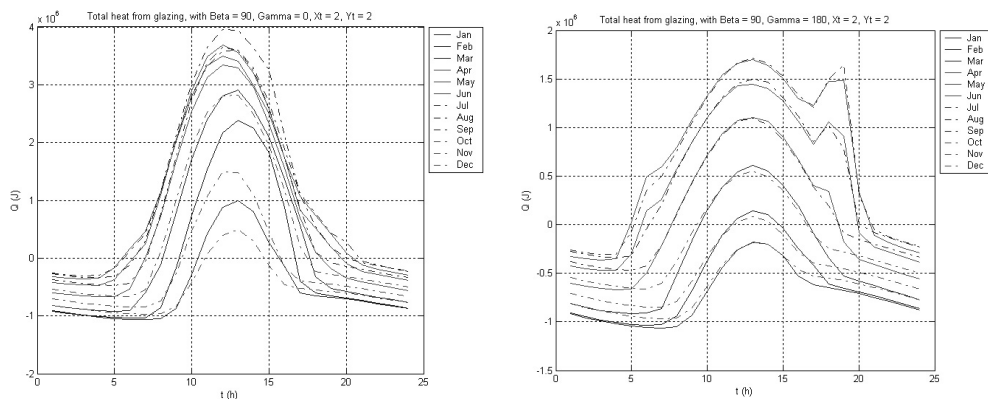
Latem przepływ energii przez okno ma największy wpływ na bilans cieplny pomieszczenia. Wymiana ciepła przez przegrody nieprzezroczyste i wskutek wentylacji jest na niewielkim poziomie. W konsekwencji jeśli występuje zapotrzebowanie na chłód, to wynika ono z przepływu energii promieniowania słonecznego przez okna.

Przeprowadzając rozważania w skali roku, na podstawie przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych można stwierdzić, iż przy dużej powierzchni okien dla wszystkich podstawowych orientacji, poza północną, więcej energii napływa przez okna niż odpływa (więcej zysków niż strat ciepła). Co więcej, odchylenie od pionu powierzchni okna i innych przegród zewnętrznych zwiększa znacznie przepływ energii do wnętrza pomieszczenia. Przy dużej powierzchni okien, a zwłaszcza przy oknach połaciowych, występuje wyraźne zmienne w czasie zapotrzebowanie na chłód (latem) i ciepło (zimą), które wynika przede wszystkim z istnienia okien. Zapotrzebowanie na chłód lub ciepło rośnie wraz z powierzchnią okien i odchylaniem od pionu (w stronę poziomą).

Przy przegrodach pionowych w skali roku największe zapotrzebowanie na chłód występuje w pomieszczeniach południowych i zachodnich, następnie wschodnich. Dla różnych orientacji maksimum zapotrzebowania przypada na różne miesiące. Charakterystyczne jest, że od maja do końca lipca najlepiej napromieniowywane są powierzchnie zachodnie, bardziej niż południowe. W pomieszczeniach północnych zapotrzebowanie na chłód również występuje, ale tylko przez kilka godzin dziennie i jest dwukrotnie niższe niż w pomieszczeniach zachodnich i południowych. W pomieszczeniach zachodnich występuje nagły wzrost zapotrzebowania na moc chłodzenia w godzinach popołudniowo-wieczornych, kiedy to bezpośrednio w ciągu dnia „widzą” one Słońce. Od maja do sierpnia zachód Słońca odpowiada kąтови azymutalnemu równemu $100\text{--}130^\circ$, czyli Słońce zachodzi na północnym-zachodzie (wschodzi odpowiednio na północnym-wschodzie). Promieniowanie bezpośrednie dociera też wieczorem i rano do powierzchni pionowej północnej, ale rano natężenie promieniowania jest niższe niż wieczorem.

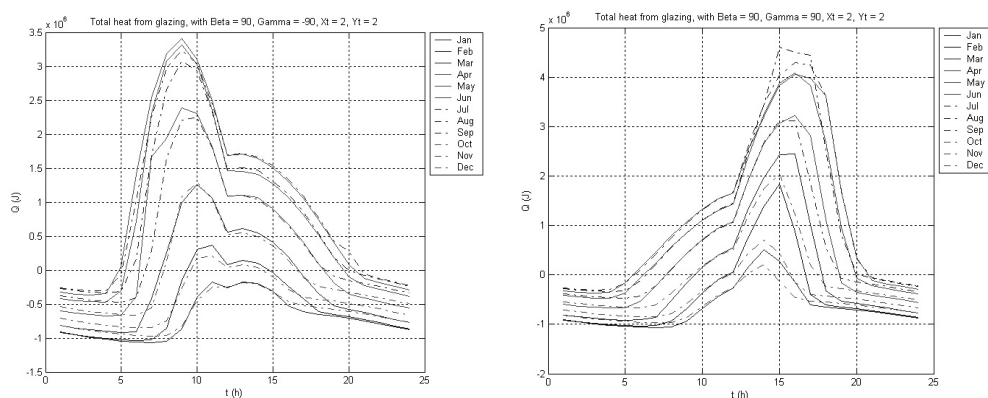
Przy odchyłaniu przegród od pionu w stronę poziomu powierzchnie obudowy dłużej „widzą” Słońce i są bardziej napromieniowywane niż powierzchnie pionowe. W efekcie latem w pomieszczeniach na poddaszu zapotrzebowanie na chłód w ciągu dnia zmienia się bardziej równomiernie, ale przy tym jest zdecydowanie większe niż w standardowych pomieszczeniach (przegrody zewnętrzne pionowe). Największe zapotrzebowanie na chłód występuje w pomieszczeniach południowych i zachodnich. Jednocześnie lepsza dostępność promieniowania słonecznego powoduje, że zimą w ciągu dnia zapotrzebowanie na ciepło jest tutaj mniejsze niż w pomieszczeniach o przegrodach pionowych i rozkład obciążeń ogrzewczych jest także bardziej równomierny w czasie dnia. Wpływ orientacji pomieszczeń na poddaszu (względem stron świata) na zapotrzebowanie na ciepło i chłód jest widoczny, ale w mniejszym stopniu niż dla pomieszczeń z przegrodami pionowymi. Wpływ orientacji na obciążenia energetyczne rośnie wraz ze wzrostem pochylenia powierzchni obudowy względem poziomu. W przypadku połąci dachu o małym pochyleniu, latem rosną zyski z promieniowania słonecznego, zimą w nocy rośnie zapotrzebowanie na ciepło, co jest spowodowane wspomnianą już wcześniej wymianą ciepła przez promieniowanie cieplne z pozornym nieboskłonem. Pomieszczenia na poddaszu wykazują się względnie niskim obciążeniem ogrzewczym w porach przejściowych, a w szczególności w okresie wczesnej wiosny i wczesnej jesieni. Wiosną i jesienią powierzchnie pochylone są względnie dobrze i długo nasłonecznione. W czasie całego sezonu grzewczego pomieszczenia wschodnie wymagają dostarczania więcej ciepła niż zachodnie.

W przypadku pomieszczeń o przegrodach zewnętrznych nieprzezroczystych o dużej izolacyjności cieplnej i o dużych oknach, poza północnymi, roczne zyski cieplne są większe od strat. W konsekwencji skracą się czas sezonu grzewczego. Przykładowo przy pomieszczeniach południowych (niezależnie od pochylenia przegród) sezon grzewczy trwa cztery miesiące. Co prawda oznacza to również odpowiednie wydłużenie czasu (sezonu) zapotrzebowania na chłód. Powyższe rozważania podkreślają, jak ważną rolę w bilansie cieplnym pomieszczenia pełnią okna, ich wielkość i lokalizacja i w jak istotny sposób energia promieniowania słonecznego wpływa na bilans cieplny budynku. Na rys. 1 i 2 przedstawiono przykłady dobowych rozkładów zapotrzebowania na ciepło w kolejnych miesiącach roku dla czterech wybranych pomieszczeń usytuowanych od południa (rys. 1, lewy), od północy (rys. 1, prawy), wschodu (rys. 2, lewy), od zachodu (rys. 2, prawy).



Rys. 1. Rozkłady dobowe zapotrzebowania ciepła/chłodu dwóch wybranych pomieszczeń zlokalizowanych od południa (lewy) i północy (prawy), w kolejnych miesiącach roku

Fig. 1. Daily distributions of heating/cooling demand in two selected rooms located from the south (left) and the north (right) throughout the year



Rys. 2. Rozkłady dobowe zapotrzebowania ciepła/chłodu dwóch wybranych pomieszczeń zlokalizowanych od wschodu (lewy) i zachodu (prawy), w kolejnych miesiącach roku

Fig. 2. Daily distributions of heating/cooling demand in two selected rooms located from the east (left) and the west (right) throughout the year

Należy zwrócić uwagę na fakt, że skala rysunków jest różna. Wszystkie elementy obudowy pomieszczeń i ich parametry fizyczne są takie same. Warunki otoczenia zewnętrznego i wewnętrznego są identyczne, jedyna różnica to wspomniana orientacja przegrody zewnętrznej z oknem (tylko jedna przegroda jest zewnętrzna). Rysunki nie ilustrują oczywiście całego zagadnienia (nie jest to możliwe przy ograniczonej objętości artykułu), a tylko pewne wybrane wyniki przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych, trwających kilka lat. Wyniki odnoszą się do pewnych specyficznych rozwiązań materiałowo-budowlanych. To co istotne pokazują rolę orientacji pomieszczenia, a tak naprawdę okna, a przez to wpływ energii promieniowania słonecznego na bilans cieplny budynku, co było głównym celem rozważań

4. Wytyczne tworzenia koncepcji energetycznej budynku

Stan termiczny budynku wynika z zachowania się całej obudowy budynku, a więc przegród nieprzezroczystych i okien, w zmieniających się warunkach otoczenia zewnętrznego. Obudowa budynku powinna charakteryzować się dużą izolacyjnością cieplną, aby oddzielić wewnątrz budynku od zmieniających się warunków otoczenia zewnętrznego, a w konsekwencji istotnie ograniczyć straty i zyski ciepła przez te przegrody. O izolacyjności przegród decyduje ich grubość, która powinna być jak największa, i przewodność cieplna, która z kolei powinna być jak najmniejsza. Jednocześnie ciepło (lub chłód), które jest we wnętrzu budynku i powinno w nim jak najdłużej pozostawać, może być „zatrzymane” dzięki dużej pojemności cieplnej przegród. Przegrody wewnętrzne i warstwa wewnętrzna przegrody zewnętrznej powinny charakteryzować się dużą pojemnością cieplną, czyli zdolnością do akumulowania jak największej ilości ciepła przy jak najmniejszej różnicy temperatur. O pojemności cieplnej przegrody decyduje jej objętość (o której stanowi też grubość części konstrukcyjnej pojemnościowej przegrody), gęstość oraz ciepło właściwe. Bardzo istotny jest wybór lokalizacji działki i usytuowanie budynku na niej, tak aby stworzone były odpowiednie warunki nasłonecznienia i oświetlenia światłem dziennym (oczywiście w zabudowie wielkomiejskiej jest to trudne). Jest to podstawowy warunek koncepcji energetycznej budynku umożliwiający wykorzystanie energii zawartej w środowisku, przede wszystkim energii słonecznej, i współistnienie budynku z otoczeniem w sposób efektywny energetycznie i przyjazny dla człowieka.

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych sformułowano wytyczne odnośnie do tworzenia koncepcji energetycznej budynku jako całości i jego poszczególnych części, elementów, pod kątem oddziaływania energii promieniowania słonecznego. Przedstawiają się one następująco:

- nie wskazane jest stosowanie płaszczyzn poziomych, w tym przede wszystkim dachów czy przeszklonych poziomych powierzchni atrium ze względu na duże napromienianie słoneczne latem i duże straty ciepła zimą;
- połacie dachu od strony południowej powinny być pochylone od 40° do 60°, co zimą zwiększa dostępność energii promieniowania słonecznego, a latem zmniejsza napromienianie nawet dwukrotnie. Jeżeli przewiduje się stosowanie instalacji słonecznych z kolektorami lub ogniwami wtedy dachy mogą być pochylone pod kątem 30°–45°;
- dachy nie powinny być pokryte materiałem ciemnym, (czarnym) o dużej absorpcyjności dla promieniowania słonecznego, takim jak ciemna (czarna) blachodachówka, popularna we współczesnym budownictwie mieszkaniowym – apartamentowym;
- poddasza budynków nie powinny być przeznaczone na mieszkania, powinny stanowić naturalne strefy buforowe odgradzające wewnątrz od środowiska zewnętrznego w szczególności oddziaływania promieniowania słonecznego (możliwość przegrzewania) latem i wpływu nieboskłonu pozornego (chłodzenie nocne) zimą;
- jeżeli część poddasza ma mieć charakter mieszkalny (niewskazane), to ta część powinna mieć okna standardowe – pionowe. Okna połaciowe powinny być obrotowe umożliwiające zmianę położenia powłoki niskoemisyjnej w zależności od pory roku, latem na powierzchni wewnętrznej szyby zewnętrznej, zimą na powierzchni wewnętrznej szyby wewnętrznej;
- nie powinno się wznosić się budynków z płaskimi poziomymi dachami lub o niewielkim pochyleniu, bez strychów, a jedynie z pustką powietrzną nad ostatnią kondygnacją,

komfort temperaturowy w mieszkaniach na ostatnim piętrze jest nieodpowiedni, latem występuje intensywne napromieniowywanie słoneczne, a w konsekwencji przegrzewanie pomieszczeń na ostatniej kondygnacji;

- główna fasada budynku powinna być „zwrócona w stronę Słońca”, na południe, od tej strony powinny znajdować się systemy słoneczne aktywne i pasywne budynku;
- główna fasada może mieć kształt zbliżony do eliptycznego, jest ona wtedy rozciągnięta od strony południowej budynku w kierunku wschodnim i zachodnim w zakresie kątów azymutalnych: od -45° do $+30^{\circ}$, taki kształt stwarza odpowiednie warunki nasłonecznienia i oświetlenia światłem dziennym w skali całego roku;
- od września do końca marca południowa fasada budynku powinna być „otwarta na oddziaływanie promieniowania słonecznego”, poza tym okresem zaciemniana;
- latem przegrody pionowe zachodnie są bardziej narażone na przegrzewanie niż południowe i należy je zaciemniać elementami obudowy i otoczenia zewnętrznego;
- fasada południowa może być wyposażona w słoneczne systemy pasywne zysków pośrednich wyposażone w wentylowaną ścianę kolektorową izolowaną cieplnie, lub ewentualnie na pewnym ograniczonym obszarze w ścianę kolektorowo-magazynującą (brak izolacji cieplnej ogranicza pole powierzchni fasady). Ze względu na częste i długotrwałe zachmurzenia, występujące w naszych warunkach klimatycznych, wskazane jest wymuszanie przepływu powietrza w kanałach wentylacyjnych;
- fasada południowa powinna być wyposażona w słoneczne systemy pasywne, takie jak słoneczne przestrzenie buforowe, w postaci ogrodów zimowych wbudowanych w budynek. Przeszkłone ściany tworzą obudowę tylko pionową (nie ma poziomych, pochylonych dachów), co umożliwi zbliżenie części pomieszczeń użytkowych z otaczającym środowiskiem zewnętrznym. Przestrzeń buforowa pełni rolę łącznika pomiędzy otoczeniem zewnętrznym a ogrzewanym pomieszczeniem, pozwalając wykorzystać dostępne zyski promieniowania słonecznego i jednocześnie chroniąc ogrzewane pomieszczenia przed nagłymi, nieprzewidywanymi zmianami pogodowymi, sprzyjając utrzymaniu ochrony cieplnej budynku. Przestrzeń buforowa musi być wentylowana w sposób naturalny, a w razie konieczności w sposób wymuszony;
- konieczne jest stosowanie zaciemnienia od strony południowej i zachodniej. Latem efekt przepływu energii, głównie promieniowania słonecznego, do wnętrza może być ograniczony stosowaniem elementów zaciemniających w samej architekturze budynku, np. daszki, okapy itp., oraz elementów ruchomych nietworzących stałych fragmentów obudowy, takich jak rolety, żaluzje i markizy zewnętrzne;
- w przypadku niskich budynków, domów jednorodzinnych zaciemnienie może być stosowane (planowane) w postaci projektu zieleni; projekt ten powinien ułatwiać lub ograniczać dostęp energii promieniowania słonecznego do wnętrza;
- od strony północnej budynki powinny być „szczelne”, z ograniczoną liczbą otworów okiennych, bardzo dobrze zaizolowane, o zwartej budowie, dodatkowe przybudówki i garaże powinny tworzyć strefę buforową od zimnej strony, ograniczając negatywne oddziaływanie środowiska, tj. brak bezpośredniego napromieniowania słonecznego, wiatr, śnieg (zamiecie i zawieje śnieżne);
- pewne elementy budynku mogą pełnić funkcje energetyczne. Dach powinien być przygotowany do integracji jego połączy z urządzeniami, takimi jak kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne. Należy przystosować wybrane okna do funkcji wentyla-

cyjnych (poza ich funkcją oświetleniową). Elementy obudowy – powietrzne ściany kolektorowe mogą być wykorzystywane do wstępnego chłodzenia lub grzania powietrza wentylacyjnego. Podobną funkcję mogą pełnić gruntowe wymienniki ciepła, GWC, ułożone pod powierzchnią gruntu przy lub wokół budynku, co wymaga zaplanowania przeznaczenia części terenu pod inwestycję GWC.

Prace wykonywane są częściowo w ramach projektu Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju, POIG.01.01.02-10-106/09-01, PT 7, Temat badawczy 3.

Oznaczenia

c	–	ciepło właściwe [kJ/(kg K)],
h	–	współczynnik wymiany ciepła [W/(m ² K)],
T_z	–	temperatura otoczenia zewnętrznego [K],
T_w	–	temperatura wewnętrzna [K],
t	–	czas [s],
Q	–	strumień ciepła [W],
q	–	gęstość strumienia ciepła [W/m ²],
V	–	objętość [m ³],
λ	–	przewodność cieplna [W/(m K)],
ρ	–	gęstość [kg/m ³].

Literatura

- [1] Chwieduk D., *Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku*, Prace IPPT, Warszawa 11/2006.
- [2] Chwieduk D., *Some aspects of modeling the energy balance of a room in regard to the impact of solar energy*, Solar Energy, 82, 2008, 870-884.
- [3] Chwieduk D., *Energetyka Słoneczna Budynku*, Arkady, Warszawa 2011.
- [4] Duffie J.A., Beckman W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, Inc., New York 1991.
- [5] Chwieduk D., Bogdanska B., *Some recommendations for inclinations and orientations of building elements under solar radiation in Polish conditions*, Renewable Energy Journal 29, 2004, 1569-1581.
- [6] Reindl D.T., Duffie J.A., Beckman W.A., *Evaluation of Hourly Tilted Surface Radiation Models*, Solar Energy, 45, 9, 1999.
- [7] Baker P.H., Van Dijk A.L., *PASLINK and dynamic outdoor testing of building components*, Building and Environment, 43, 2008, 143-151.
- [8] Haasel M., Andresem I., Time B., Hestnes A.G., *Energy-efficient buildings in Norway – from low energy standards to net zero energy buildings*. EUROSUN2008 Proceedings, paper 306.
- [9] Hollands K.G.T., Granqvist C.G., Wright J.L.L., *Glazings and coatings w Solar energy the state of the art.*, Gordon J. (ed), ISES position papers, James & James, UK 2001.