

- organizacja konkursów szkolnych zbierania zużytych baterii i makulatury;
- organizacja Dnia Bez Samochodu i promowanie jazdy rowerem;
- budowa sieci ścieżek rowerowych;
- organizacja Dni Sprzątania Świata;
- organizacja Dni Inteligentnej Energii;
- Program Małych Ulepszeń (po likwidacji Gminnego Funduszu Ochrony Środowiska, program zawieszono) – miasto dofinansowało do przedsięwzięć indywidualnych lub wspólnot mieszkaniowych w zakresie wymiany źródła ciepła opalanego paliwem stałym na ekologiczne.

Mimo, że miasto nie należy do najbogatszych gmin, to podejmuje wiele inicjatyw związanych z oszczędzaniem energii. Dlatego też burmistrz Dzierżoniowa podpisał Porozumienie Burmistrzów (Covenant of Mayors). Porozumienie jest ambitną inicjatywą Komisji Euro-

pejskiej, angażującą burmistrzów miast w działania na rzecz ochrony klimatu. Jego celem jest pomoc Unii Europejskiej w osiągnięciu celów pakietu klimatyczno-energetycznego, jednym z których jest redukcja emisji gazów cieplarnianych o 20% do 2020 roku.

Podpisując Porozumienie, burmistrzowie pionierskich miast europejskich zobowiązują się do przekroczenia tego celu poprzez podjęcie działań w zakresie zrównoważonego zarządzania energią na terenach miejskich oraz wymianę dobrych praktyk.

Obecnie, zgodnie z obowiązkiem wynikającym z podpisanego Porozumienia, opracowywany jest dla Dzierżoniowa Plan działań na rzecz zrównoważonej energii (SEAP), w którym przedstawione zostaną prace zmierzające do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 20% w stosunku do roku bazowego (1990 r.)

## Analiza solarna budynków w celu zwiększenia efektywności energetycznej

Dr inż. arch. Piotr Sobierajewicz, Zakład Budownictwa Ogólnego i Architektury WILiŚ Uniwersytetu Zielonogórskiego

### 1. Wprowadzenie

Słońce jest źródłem życia, dostarcza ogromnych ilości energii, którą ludzkość i przyroda przetwarzają tworząc symbiozę potrzebną do wzajemnej egzystencji. Na Ziemię dociera wielokrotnie więcej energii słonecznej niż wynosi światowe zapotrzebowanie. Potencjał jaki zawiera darmowa energia słoneczna zasługuje na szczególne zainteresowanie ze strony budownictwa, a szczególnie kreowania architektury zorientowanej na maksymalne zyski słoneczne. Obecnie wykorzystanie tego potencjału w architekturze i budownictwie nie jest wystarczająco duże i popularne w Polsce. Jakkolwiek można

zauważyć coraz większą dostępność do materiałów i technologii umożliwiających produkcję i monitoring energii z promieniowania słonecznego. Dodatkowym bodźcem dla większego zainteresowania tą problematyką jest wsparcie finansowe instytucji państwowej – NFOŚiGW, w formie dotacji do zamontowanych kolektorów słonecznych<sup>1</sup>. Polska ma dobre warunki nasłonecznienia, podobne do innych krajów europejskich jak Niemcy, które są światowym liderem w odzysku energii słonecznej, nie tylko do celów grzewczych ale również do produkcji energii elektrycznej przez ogniwa fotowoltaiczne. W referacie przedstawiono część zagadnień metodycznych umożliwiających przeprowadze-

nie podstawowej analizy solarnej dla dowolnego budynku. Proces pełnego oszacowania zysków solarnych dla wariantowych rozwiązań architektonicznych, zawiera analizę zysków energetycznych z uwzględnieniem poniesionych nakładów inwestycyjnych w pełnej metodologii LCA i nie jest przedmiotem niniejszego referatu.

### 2. Charakterystyka warunków nasłonecznienia w Polsce

Wielkość napromieniowania słonecznego na obszarze Polski różni się w zależności od regionu jednak jest nie mniejsza niż 900 kWh/rok/m<sup>2</sup>. Z tej ilości nasłonecznienia można uzyskać 400–700 kWh energii w ciągu roku na m<sup>2</sup> powierzchni



**Rys. 1.** Nastonecznienie w Polsce wg danych Komisji Europejskiej. Źródło: [www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/](http://www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/)



**Rys. 2.** Polska. Średnie usłonecznienie w ilości godzin w roku 2010. Źródło: [www.imgw.pl/klimat](http://www.imgw.pl/klimat)

aktywnej solarnej np. ogniwa fotowoltaiczne. Największe szanse rozwoju w najbliższym okresie mają technologie konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego<sup>2</sup>, oparte na wykorzystaniu kolektorów słonecznych, które w większości swojej pracy wykorzystują większy udział promieniowania rozproszonego z całkowitego promieniowania słonecznego. Właściwa ocena warunków słonecznych wpływających na proces projektowy i modernizacyjny budynków jak również kształtowanie formy architektonicznej w nowoczesnej architekturze powinna być oparta na możliwie dokładnej analizie związanej z lokalizacją budyn-

**Tabela 1.** Potencjalna energia użyteczna w kWh/m<sup>2</sup>/rok w wyróżnionych rejonach Polski<sup>4</sup>

| Rejon  | Rok (I-XII) | Półrocze letnie (IV-IX) | Sezon letni (VI-VIII) | Półrocze zimowe (X-III) |
|--|-------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Pas nadmorski  | 1076        | 881                     | 497                   | 195                     |
| Wschodnia część Polski   | 1081        | 821                     | 461                   | 260                     |
| Centralna część Polski   | 985         | 785                     | 449                   | 200                     |
| Zachodnia część Polski z górnym dorzeczem Odry                         | 985         | 785                     | 438                   | 204                     |
| Południowa część Polski  | 962         | 682                     | 373                   | 280                     |
| Południowo-zachodnia część Polski obejmująca obszar Sudetów z Tuchowem | 950         | 712                     | 393                   | 238                     |

ku. Analiza ta powinna uwzględniać takie zagadnienia jak nastonecznienie i usłonecznienie.

**Nastonecznienie** to suma natężenia promieni słonecznych na danej powierzchni w danym czasie (np. w ciągu godziny, dnia, roku). Nastonecznienie podaje się w jednostce energii odniesionej do 1 m<sup>2</sup> powierzchni (Wh/m<sup>2</sup>, kWh/m<sup>2</sup>). Nastonecznienie w ciągu jakiegoś czasu podawane jest jako wartość uśrednioną.

**Usłonecznienie** to liczba godzin, w ciągu których dociera bezpośrednio promieniowanie słoneczne. Parametr ten określa warunki pogodowe a nie zasoby. Ale jest istotny w przewidywaniu możliwości wykorzystania energii słońca. Parametr ten używa się do szacowania ile godzin będzie pracować instalacja. W Polsce największe usłonecznienie w roku 2010 wystąpiło w strefach nadmorskich i w rejonach zachodniej Polski na linii Kalisz-Gorzów Wlkp. ok.1750 godzin rocznie. W paśmie wschodnim najbardziej intensywne usłonecznienie wystąpiło w okolicach Rzeszowa i wynosiło 1800 godzin. W Zakopanym usłonecznienie to tylko 1467 godzin rocznie<sup>3</sup>.

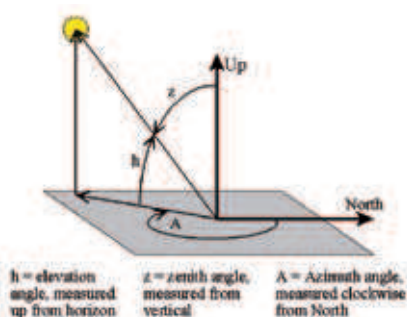
**Zasoby energii słonecznej w Polsce.** Roczna wartość nastonecznienia dla obszaru całego kraju wynosi ok. 38 000 mln tpu (tpu – ton paliwa umownego – węgla, 1tpu=29,3 GJ). Na podstawie analiz i obliczeń można oszacować zasoby energii słonecznej w Polsce. Potencjał teoretyczny to 100% energii słońca,



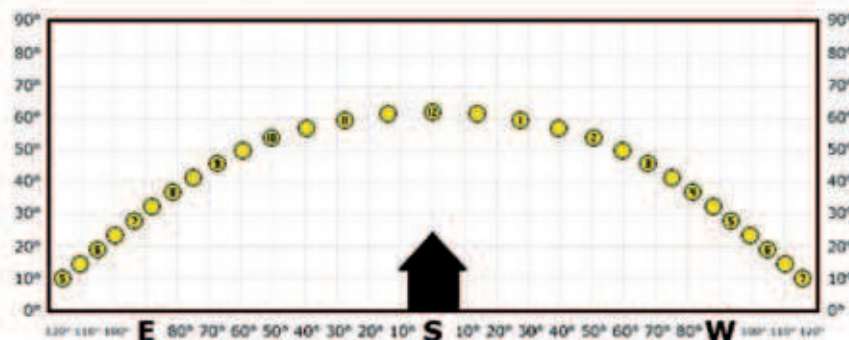
**Rys. 3.** Zasoby energii słonecznej w Polsce i zapotrzebowanie na energię<sup>5</sup>

jaką można by wykorzystać w idealnych warunkach. Jego wielkość w żaden sposób nie odzwierciedla faktycznych możliwości pozyskania energii.

Dane zaprezentowane w tabeli 1 odnoszą się do skali regionalnej, należy jednak brać pod uwagę rzeczywiste warunki terenowe, które wskutek lokalnego zanieczyszczenia atmosfery i występowania przeszkód terenowych, mogą odbiegać od wartości podanych. W zależności od miejsca i położenia obiektu w Polsce ilość energii promieniowania słonecznego przypadająca na 1m<sup>2</sup> powierzchni w ciągu roku wynosi od 950 do 1250 W. Promieniowanie słoneczne jest to strumień energii emitowany przez Słońce równomiernie we wszystkich kierunkach. Miarą promieniowania słonecznego docierającego ze Słońca do Ziemi jest tzw. stała słoneczna. Jest to wartość gęstości strumienia energii promieniowania słonecznego na powierzchni stratosfery i obecnie wynosi 1,4 kW/m<sup>2</sup>. W promieniowaniu słonecznym docierającym do powierzchni



**Rys. 4.** Parametry położenia słońca względem badanego punktu odniesienia. Źródło:www.esrl.noaa.gov



**Rys. 5.** Ścieżka słońca dla Zielonej Góry, Latitude=52°N, na dzień 21 czerwca 2011. Wykres wykonano wg www.susdesign.com, Christopher Gronbeck

Ziemi wyróżnia się trzy składowe promieniowania:

- bezpośrednie pochodzi od widocznej tarczy słonecznej,
- rozproszone powstaje w wyniku wielokrotnego załamania na składnikach atmosfery,
- odbite powstaje w skutek odbić od elementów krajobrazu i otoczenia.

Ponad połowa powierzchni kraju, uzyskuje napromieniowanie rzędu 1000 kWh/m<sup>2</sup>/rok. Najstabsze warunki znajdują się na Śląsku – w obszarze znajdującym się na styku Czech, Niemiec i Polski. Największy potencjał energii słonecznej w Polsce przypada na półroczne letnie (75%), a szczególnie na miesiące czerwiec-sierpień (50%). Około 80% całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia przypada na sezon wiosenno-letni, od kwietnia do końca września, przy czym czas operowania energii słonecznej w lecie wydłuża się do 16 h/dzień, natomiast w zimie skraca się do 8 h/dzień.

Roczne sumy usłonecznienia w Polsce wynoszą 1300–1900 godzin, przy czym dla większej części kraju średnie roczne wynoszą 1600 godzin, co stanowi 30–40% długości dnia. Maksymalny potencjał wykorzystania energii słonecznej w Polsce, (rys. 3), można oszacować na 311944 TWh tj. ponad 400 razy większy niż wynosi zapotrzebowanie Polski na energię. Problem wykorzystania promieniowania słonecznego tkwi

w możliwościach ekonomicznych i gospodarczych Polski. Obecnie potencjał OZE z wykorzystaniem promieniowania słonecznego jest na poziomie 10,0 TWh. Jest on na tyle mały, że nie można traktować go w kategoriach zabezpieczenia energetycznego, mimo bardzo dużych możliwości technologicznych jakie są dzisiaj dostępne. Należy sądzić, że w najbliższej przyszłości nastąpi duża eksploracja społeczno-gospodarcza wykorzystania energii słońca.

**Podsumowanie warunków nasłonecznienia w Polsce:**

Według badań IMiGW w Polsce mamy rocznie około 1000 godzin słonecznych. Promieniowanie słoneczne całkowite w Polsce (suma promieniowania bezpośredniego i rozproszonego) wynosi 0,7–1,0 kW/m<sup>2</sup> w warunkach optymalnych (południe bez chmur, czyste niebo). Zatem istnieje bardzo dobra wykładnia do wprowadzania architektury solarnej, zarówno w nowych, jak i istniejących budynkach podlegających termomodernizacji.

**3. Analiza solarna warunków lokalizacji budynków**

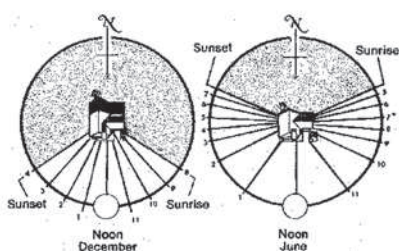
Wykorzystanie energii promieniowania słonecznego w budynkach jest szczególnie ważne, ponieważ pełne jej wykorzystanie ograniczy zużycie nieodnawialnych surowców energetycznych, jak również koszty eksploatacyjne użytkownika



**Rys. 6.** Schemat wysokości słońca dla różnych pór roku<sup>8</sup>

budynku. Najistotniejszym parametrem jest roczna wartość nasłonecznienia (insolacja) – wyrażająca ilość energii słonecznej padającej na jednostkę powierzchni danej płaszczyzny w określonym czasie. Ocena solarna budynku powinna wynikać z podjęcia działań, które w pierwszej kolejności określą dane wyjściowe do dalszej analizy tj.:

- lokalizację budynku lub zespołu budynków: położenie geograficzne i fizjograficzne;
- dane klimatyczne rozpatrywane go terenu: średnia jasność nieba w poszczególnych miesiącach, średnie temperatury, prędkości i dominujące kierunki wiatrów oraz wielkość opadów;
- dane położenia słońca jak: określenie kierunku północy, dane lokalizacyjne<sup>6</sup> φ, λ, data rozpoczęcia badania, częstotliwość pomiarów np. codziennie, co miesiąc, co kwartał, rozkład godzinowy badania np. co 1h, 2h, 6h;



**Rys. 7.** Diagramy wschodów/zachodów słońca pozycji na lato i przesilenia zimowego, a wysokość Słońca w przesileniu i równonocy<sup>10</sup>

- rodzaj i forma zabudowy oraz zieleni otaczającej;
- warunki terenowe np.: teren płaski, górzisty, pagórkowaty oraz określenie wskaźników chropowatości terenu, które mają wpływ na wskaźniki odbicia światła.

Na podstawie przyjętych danych wejściowych można przeprowadzić pierwszy podstawowy etap analizy solarnej, która składa się z określenia:

- warunków nasłonecznienia terenu,
- śladu słonecznego względem badanego budynku (położenie słońca względem punktu przestrzennego, gdzie zlokalizowany jest budynek lub teren zurbanizowany), azymut, kąt wzniesienia słońca,
- analizę zacienienia w stosunku do projektowanych i istniejących form architektonicznych budynków jak również przeszkód znajdujących się przed tymi formami.

W drugim pełnym etapie, przeprowadzona jest analiza zysków i strat energetycznych, wynikających z przyjętych rozwiązań solarnych, tzn. jakie zyski energetyczne osiągnął budynek w stosunku do poniesionych nakładów inwestycyjnych dla projektowanej i modernizowanej formy budynku w zastanym lub projektowanym zagospodarowaniu terenu. Stan ten może wynikać z lokalnych warunków zagospodarowania terenu, wynikających z planów miejscowych i rozwiązań architektonicznych zabudowy.

### 3.1 Położenie słońca względem istniejącego budynku

Parametr jakim jest kąt wzniesienia słońca tzw. elewacja ( $h$ ) jest ważnym narzędziem, które pozwala optymalnie dobrać najlepsze rozwiązanie architektoniczno-instalacyjne takie jak: bryłę budynku, rozkład funkcjonalny pomieszczeń w budynku, rodzaje i wielkości przeszkleń oraz rozmieszczenie i dobór aktywnych i pasywnych powierzchni solarnych.

Kąt wzniesienia słońca<sup>7</sup> – elewacja ( $h$ ) jest podstawową informacją do prawidłowego przeprowadzenia analizy solarnej w trakcie działań termomodernizacyjnych i w nowo projektowanych budynkach.

Parametry, które pozwalają precyzyjnie wyznaczyć elewację słońca „ $h$ ” to:

- długość geograficzna (Wschód-Zachód), szerokość geograficzna (Północ-Południe)
- strefa czasu,
- azymut,
- ew. wzniesienie obiektu nad terenem (w większości pomijane).

Diagram przedstawiony na rysunku 5 pozwala ocenić stopień naświetlenia poszczególnych ścian budynku w czasie przesilenia letniego, czyli wpływ elewacji słońca na elewację budynku dla żądanych parametrów lokalizacyjnych.

Droga słońca na niebie zmienia się według pór roku. Wysokość ograniczona jest najniższym położeniem – przesileniem zimowym i najwyższym położeniem – przesileniem letnim. Pomiedzy tymi położeniami, dwa razy w ciągu roku, tarczy słońca ustawia się pod kątem  $90^\circ$  stopni do równika i jest to tzw. równonoc wiosenna<sup>9</sup>, która występuje 21 marca i równonoc jesienna, która przypada na 21 września. Długość dnia równonocy w każdym miejscu na ziemi wynosi 12 godzin.

W dniach równonocy można łatwo obliczyć szerokość geograficzną miejsca obserwacji. Wystarczy zmierzyć wysokość górującego Słońca (w stopniach) i odjąć ją od  $90^\circ$ .

$$\varphi = 90^\circ - h \text{ lub } h = 90^\circ - \varphi$$

gdzie:

$h$  – wysokość górowania Słońca,  
 $\varphi$  – szerokość geograficzna.

Jeżeli Słońce górowało po południowej stronie nieba, mamy szerokość geograficzną północną (N), jeżeli zaś po północnej – południową (S).

W słoneczne południe na równonocy, wysokość Słońca wynosi 90 stopni minus lokalna szerokość geograficzna. Na przykład, jeśli mieszkamy w Zielonej Górze o szerokości geograficznej 52 stopnie, to wysokość słońca w południe równonocy będzie wynosić:  $90 - 52 = 38$  stopni.

**Przesilenie zimowe** jest najkrótszym dniem w roku i występuje w dniu 21 grudnia na półkuli północnej. W tym dniu słońce wzejdzie na południowym wschodzie i zajdzie na południowym zachodzie. Wysokość Słońca w południe słoneczne będzie pomniejszona o 23,5 stopnie w stosunku do równonocy. Dla Zielonej Góry wyniesie  $38 - 23,5 = 14,5$  stopnia. Będzie to najniższe położenie słońca w południe na niebie w ciągu całego roku.

**Przesilenie letnie** jest najdłuższym dniem w roku i występuje 21 czerwca na półkuli północnej. W tym dniu Słońce wzejdzie na północnym wschodzie i zajdzie na północnym zachodzie, (rys. 7). Wysokość Słońca w południe słoneczne będzie o 23,5 stopnia większa niż w dniu równonocy. Dla Zielonej Góry wyniesie  $38 + 23,5 = 61,5$  stopnia. To będzie najwyższe położenie słońca, w południe w ciągu roku.

Kąt 23,5 stopni [6], o którym mowa powyżej, jest to nachylenie osi obrotu Ziemi względem płaszczyzny orbity Ziemi. Przesilenie letnie na półkuli północnej występuje wówczas, gdy biegun północny jest nachylony w kierunku Słońca. Natomiast przesilenie zimowe, gdy biegun północny jest odchylone od Słońca. W celu osiągnięcia maksymalnych zysków energetycznych dla analizowanych budynków, należy przy planowa-

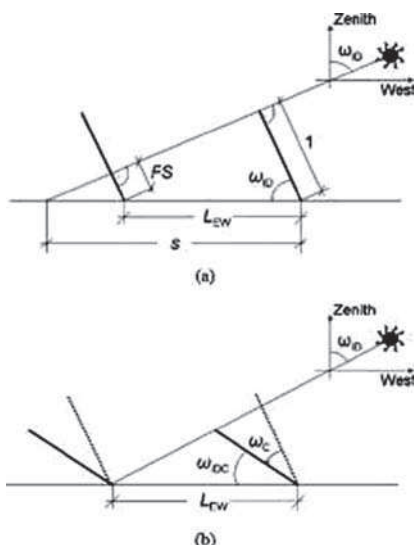
niu lokalizacji otworów okiennych i kolektorów słonecznych dokładnie ocenić warunki górowania słońca w danym miejscu. Nie zawsze warunek ten jest spełniony, rzutuje to na nieefektywne rozwiązania w budownictwie i niweczy idee rozwoju budownictwa solarne.

**3.2 Ocena zacienienia budynku – badanie rodzajowe przeszkód solarnych**

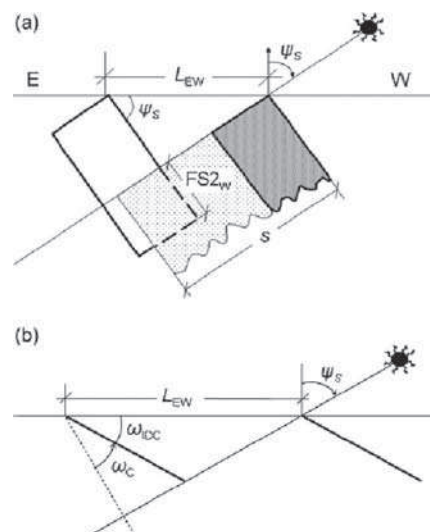
Poprawnie zaprojektowany budynek solarny musi mieć przeprowadzoną analizę solarną, której głównym celem jest ocena przeszkód i zacienienia w przyjętych do analizy rozwiązaniach architektonicznych budynków i terenu. Rozwiązania takie powinny zawierać:

- maksymalne do osiągnięcia zyski słoneczne, wynikające z projektowanych przegród zewnętrznych głównie przeszklonych dla przyjętych funkcji budynku,
- niezbędną ilość światła w pomieszczeniach, wynikającą z usytuowania i doboru wielkości otworów okiennych,
- właściwy dobór przesłon i zadaszeń nad oknami w celu ochrony przed przegrzaniem pomieszczeń (należy zwrócić uwagę na niedogrzenie pomieszczeń w przypadku zastosowania nadmiernych przesłon).

Analiza zacienienia elewacji budynku przez przeszkody, jest szczególnie ważna gdy dotyczy istniejącego stanu zagospodarowania terenu. Zbyt gęsta zabudowa działki, na której stoi budynek, może znacznie obniżyć zyski solar-



**Rys. 9.** Powierzchnia zacienienia płaszczyzn przegród płaskich<sup>12</sup>

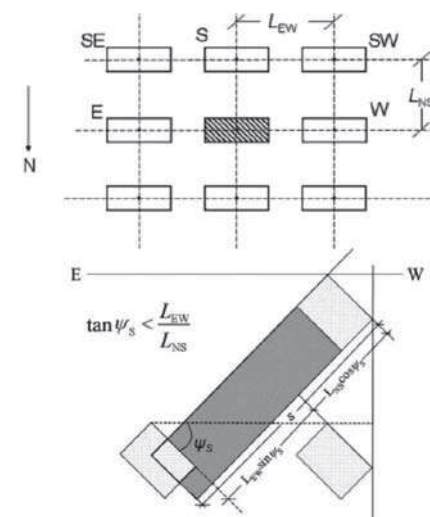


ne. Wpływ zabudowy sąsiedniej pogłębia problem swobodnej aranżacji terenu w celu zaktywizowania energetycznego elewacji budynku. Wiąże się to z brakiem formalnej możliwości ingerencji w istniejącą zabudowę i zielen, szczególnie wysoką, (zielen pochłania promieniowanie bezpośrednie i rozproszone).

Badanie przeszkód solarnych pozwala sprawdzić występowanie niepożądanych barier dla właściwego nasłonecznienia budynku. Blokowanie promieni słonecznych przez przeszkody, które wynikają ze złego usytuowania bryły oraz niejednokrotnie kształtu formy budynku przyczynia się do znacznego zużycia energii i kosztów utrzymania.

Ważna jest zatem ocena obiektów zacienienia w strefach aktywnych solarnie [7], takich jak: zielen w postaci zadrzewienia – drzewa dorosłe i w okresie wzrostu, pagórki oraz istniejąca zabudowa szczególnie w terenach silnie zurbanizowanych.

Zacienienie związane jest z ruchem Słońca na niebie względem badanego obiektu. W tym celu należy prześledzić ścieżkę Słońca w ciągu dnia i całego roku wykorzystując dane z pomiarów położenia Słońca.



**Rys. 10.** Schemat zacienienia obiektów – analiza wzgl. osi zenitu

**3.2.1 Dobór powierzchni aktywnych i ich wzajemna lokalizacja**

Powierzchnie aktywne solarnie możemy rozpatrywać w dwóch kategoriach:

- powierzchnie aktywne w świetle rozproszonym,
- powierzchnie aktywne w świetle bezpośrednim.

Powierzchnie w świetle rozproszonym można zaliczyć do powierzchni w strefie cienia. Pomimo, że stanowią śladowe ilości to należy je uwzględnić w bilansie całkowitym. Osiągnięcie maksymalnych



**Rys. 8.** Niemcy. Połaciowe usytuowanie paneli słonecznych w budynku<sup>11</sup>

solarnych zysków energetycznych uzależnione jest od ukierunkowania płaszczyznowego powierzchni aktywnych w świetle bezpośrednim. Należą do nich powierzchnie poszczególnych elementów budynku, przyporządkowane do poszczególnych stron świata pod różnym kątem nachylenia do promieni słonecznych. W szczególności chodzi o usytuowanie i ukierunkowanie ścian budynków oraz dachów względem występującego na tym terenie śladu słonecznego.

Największe możliwości wykorzystania energii mają budynki zorientowane dłuższą ścianą na południe włącznie z podobną orientacją dachu. Powierzchnie dachów mają dodatkową możliwość zainstalowania pasywnych lub aktywnych kolektorów słonecznych z wykorzystaniem połaci dachu np. dachy płaskie – kolektory w układach rzędowych, dachy ukośne – kolektory w układach połaciowych. W przypadku wykorzystania dachów płaskich może pojawić się problem wzajemnego zacielenia kolektorów ustawionych w rzędach. Ten sam problem dotyczy zacielenia dowolnych brył budynków w przestrzeni oraz ich elementów.

W analizie na rysunku 9, przedstawiono przeszkody płaskie w rozstawie  $L_{EW}$  ustawione prostopadle do śladu słońca względem:

- a) osi horyzontalnej – lewa strona rysunku,
- b) osi pionowej (osi zenitu) – prawa strona rysunku.

W celu uzyskania maksymalnego naświetlenia elewacji budynku ważne jest określenie trzech parametrów: rozstaw obiektów  $L_{EW}$ , ustawienie kątowne horyzontalne  $\omega_{ID}$ , ustawienie kątowne  $\Psi_s$  względem osi pionowej. Optymalny rozstaw można obliczyć z prostych zależności przedstawionych poniższym wzorem. W tym przypadku dla optymalnego rozstawu, np. budynków ważne jest, tzw. cofnięcie kątowne względem śladu słonecznego  $\omega_C$ . W ten sposób eliminujemy strefę wzajemnego zacielenia. Można to wyliczyć według wzoru:

$$\omega_C = \omega_{ID} - \omega_{IDC}$$

$$\cos \omega_C = L_{EW} - \cos \omega_{ID}$$

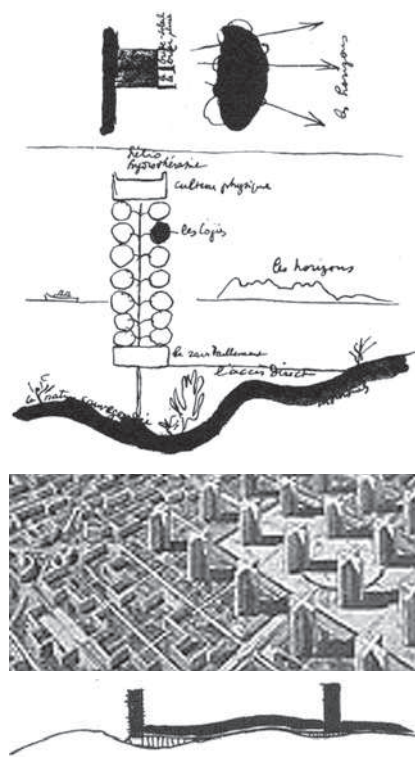
Problematykę zacielenia pokazano w sposób schematyczny na rysunku 10. Obiekty na płaszczyźnie rozmieszczone są w dwóch kierunkach Północ-Południe i Wschód-Zachód, w rozstawach  $L_{NS}$  i  $L_{EW}$ . Obiekt środkowy przedstawiony na planie może być zacieleny od pięciu obiektów umiejscowionych jako E, SE, S, SW i W. Zminimalizowanie efektu zacielenia jest możliwe, gdy cień o długości ( $s$ ) zależny od kąta padania promieni słonecznych  $\Psi_s$  będzie spełniał warunek:

$$\tan \Psi_s < L_{EW} / L_{NS}$$

Zatem idealny ślad zacielenia byłby dla układu brył zorientowanych w kierunku południowo-wschodnim [10], przy zachowaniu granicznego warunku rozstawu obiektów.

Tak więc, odległość między przeszkodami, jak i kąty ich nachylenia względem podstawy i zenitu mają wpływ na optymalny wzajemny rozkład brył budynków lub innych płaszczyzn. Należy zwrócić uwagę, że kąt obrotu bryły  $\omega_C$ , tzw. cofnięcia śladu bryły w celu zmniejszenia strefy zacielenia. Przypadek ten definiują przykłady 9 i 10, które można wykorzystać w rzeczywistym modelowaniu układu brył, w procesie projektowania architektury budynku, jak również przy zagospodarowaniu przestrzennym terenu. Przedstawiona analiza zacielenia nie wyczerpuje problematyki zacielenia w obrębie elementów budynku, są to: zadaszanie, podcienie, penetracja promieni do wnętrza, powierzchnie kumulacyjne – ściany, posadzki oraz różnego rodzaju ogrody zimowe oraz inne przeszklenia, które stanowią specjalne strefy energetyczne, tzw. buforowe. Problematyka ta stanowi kolejny etap analizy solarnej, w której prezentowana jest ocena zysków energetycznych.

Analizując dobór powierzchni aktywnych solarnej na szczególną



**Rys. 11.** Le Corbusier: Studium wielokondygnacyjnego budynku mieszkalnego (1943)<sup>13</sup>

uwagę zasługują praktyki mocowania kolektorów słonecznych, na tzw. stały kąt nachylenia w przybliżeniu  $\alpha = \varphi \pm 15^\circ$ , gdzie  $\varphi$  oznacza szerokość geograficzną. Dyskusyjne wydaje się kompromisowe dobieranie stałego kąta nachylenia kolektorów, na sezon letni  $\alpha = 30^\circ$ , na sezon zimowy  $60^\circ$ , dla instalacji pracujących całorocznie kąt nachylenia zbliżony jest do  $45^\circ$ . Dobór ten wynika z faktu, że dla obszaru Polski szerokość geograficzna  $\varphi$  wynosi  $45^\circ - 55^\circ$ , zatem proponowane kąty nachylenia wynoszą  $34^\circ - 70^\circ$ . Dla tak przyjętych założeń mogą wystąpić rozbieżności, które częściowo niweczą efekt zysków energetycznych, np. dla lokalizacji miasta Zielona Góra o szer. geograficznej  $\varphi = 52^\circ$ , minimalna wysokość Słońca w przesileniu zimowym wynosi  $14,5^\circ$  natomiast maksymalna wysokość latem to  $61,5^\circ$ . Powierzchnie najbardziej aktywne w tym czasie powinny być nachylone pod kątem  $\alpha = 75,5^\circ$

zimą i latem  $28,5^\circ$ . Optymalne ustawienie dla tego miasta to  $67,6^\circ$  latem i  $26,2^\circ$  w okresie zimowym, natomiast okres całoroczny to  $\alpha = 46,92^\circ$ . Zatem, różnice w stosunku do ustawienia standardowego kolektora wynoszą od 4,1% do 13%. W przypadku urządzeń o małej powierzchni i sprawności może to nie mieć większego znaczenia, natomiast w przypadku dużych powierzchni aktywnych związanych z architekturą budynku może otrzymać duże zyski energii.

#### 4. Podsumowanie

Analiza solarna, w tym zacielenia ma szczególne znaczenie w projektowaniu aktywnych powierzchni dla pozyskania energii słonecznej jak również optymalizowania architektonicznego form budynków. W urbanistyce analiza zacielenia ma istotne znaczenie przy formowaniu struktury przestrzennej zespołów budynków.

Problematykę światła i pośrednio energii zaczęto stosować w okresie modernizmu. Należy w tym miejscu wspomnieć analizy solarne Le Corbusier'a, koncepcja na mega skalę osiedla Voisin w Paryżu (1925 r.) czy postulaty architektury mieszkaniowej:

- konstrukcja słupowa (Pilotis),
- poziome okna pasmowe,
- płaskie dachy i tarasy na dachach,
- wolny plan,
- wolna elewacja.

W obecnym czasie, należy brać pod uwagę dynamiczny wzrost technologii zwiększających aktywność solarną budynków, np. różnego rodzaju panele słoneczne o powierzchniach: płaskich i krzywych, w systemach biernych i aktywnych. Technologie te stale podnoszą wskaźniki sprawności urządzeń poprzez sprzężone współdziałanie z bryłą budynku. Współdziałanie to jest na tyle zintegrowane ze środowiskiem zewnętrznym, słońce, flora, fauna, iż w niedalekiej przyszłości może-

my się spodziewać budynków samowystarczalnych energetycznie. Zatem już teraz należy zwiększać możliwości wykorzystania lokalnych warunków solarnych, szczególnie w rozwiązaniach architektonicznych.

#### BIBLIOGRAFIA:

- [1] Chwieduk D., Możliwości wykorzystania energii słonecznej na Lubelszczyźnie, Materiały Konferencyjne Odnawialne Źródła Energii na Lubelszczyźnie, Lublin 2006, w: [www.oze.bpp.lublin.pl](http://www.oze.bpp.lublin.pl)
- [2] Martin A. Green, Ryne P. Raffaele, Tim M. Bruton Progress in Photovoltaics: Research and Applications Nr 5/71 (Energy & Fuels), John Wiley & Sons, Ltd., 2009.
- [3] Martin, Christopher L.; Goswami, D. Yogi, *Solar Energy Pocket Reference*. International Solar Energy Society, (2005).
- [4] Mazria E. The passive solar energy book, Rodale Press, 1979,
- [5] Pluta Z., Słoneczne instalacje energetyczne, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [6] Philibert, Cédric. „The Present and Future use of Solar Thermal Energy as a Primary Source of Energy”. International Energy Agency. 2005 reprint 2008.
- [7] Sobierajewicz P., Kształtowanie niezależności energetycznej zrównoważonej przestrzeni urbanistyczno-architektonicznej. Wybrane przykłady, w: Założenia planowania przestrzennego na rzecz ochrony klimatu i oszczędności energii/red. J. Kopietz-Unger, Zielona Góra: Oficyna Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego, s. 102–120 2010.
- [8] Tzempelikos, Athanassios; Athienitis, Andreas K. „The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand”. *Solar Energy* 81 (3) s: 369–382. (2007).

#### PRZYPISY:

- <sup>1</sup> Środki finansowe przeznaczone na wsparcie tych inwestycji z OZE środki pochodzą ze źródeł krajowych (NFOSiGW, BOŚ, BGK, ARR) lub zagranicznych (Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko, fundusze norweskie, program szwajcarski).
- <sup>2</sup> Konwersja pasywna – grawitacyjny obieg, konwersja aktywna – wymuszony obieg absorbentu. Konwersja termiczna – zamiana energii promieniowania słonecznego odbywa się w specjalnych elementach kolektorów słonecznych zwanych absorberami. Transmisja zaabsorbowanej energii słonecznej do odbiorników odbywa się w specjalnych instalacjach.
- <sup>3</sup> [www.zielonaenergia.eco.pl](http://www.zielonaenergia.eco.pl)
- <sup>4</sup> Rozkład sum nasłonecznienia na jednostkę powierzchni poziomej wg Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej dla wskazanych rejonów kraju w: [www.cire.pl/zielonaenergia/sloneczna.html](http://www.cire.pl/zielonaenergia/sloneczna.html)

<sup>5</sup> Zasoby energii słonecznej, [www.zielonaenergia.eco.pl](http://www.zielonaenergia.eco.pl)

<sup>6</sup> You will need the following Szerokość geograficzna (ang. latitude, symbol  $\varphi$ ) szerokość geograficzna w Polsce 45–550 N, Długość geograficzna (ang. longitude; symbol  $\lambda$ ) długość geograficzna dla Polski 14–240E, A Sun Chart for your area (see below)

<sup>7</sup> Wysokość astronomiczna,  $h$  – kąt płaski zawarty pomiędzy płaszczyzną horyzontu astronomicznego, a kierunkiem na dany obiekt. Inną nazwą tej współrzędnej jest elewacja.

<sup>8</sup> Reysa G. Evaluating Your Site For Solar w: [www.builditsolar.com](http://www.builditsolar.com)

<sup>9</sup> Równonoc, ekwinokcjum ang. equinox – występuje dwa razy w ciągu okresu pełnego obiegu danej planety po orbicie wokół Słońca. Dla Ziemi jest to dwa razy w roku – 20/21 marca – równonoc wiosenna i 22/23 września – równonoc jesienna. Promienie tarczy słonecznej padają na równik pod kątem  $90^\circ$ . Jest to czas obejmujący jedną dobę ziemską, w którym to centrum tarczy słonecznej obecne jest tyle samo czasu pod i nad horyzontem, a promienie słoneczne padają na równik pod kątem  $90^\circ$ . W tych dniach Słońce wschodzi dokładnie na wschodzie, a zachodzi dokładnie na zachodzie.

<sup>10</sup> [www.solarlat.uoregon.edu](http://www.solarlat.uoregon.edu)

<sup>11</sup> [www.dw-world.de](http://www.dw-world.de)

<sup>12</sup> E. Lorenzo\*, L. Narvarte and J. Munoz, Tracking and back-tracking, Instituto de Energi a Solar, Grupo de Sistemas Fotovoltaicos, Universidad Politecnica de Madrid (IES-UPM), Ciudad Universitaria s/n, Madrid 2010 Prog. Photovolt: Res. Appl. (2011) \_ 2011 John Wiley & Sons, Ltd.

<sup>13</sup> Źródło: Le Corbusier. Maniere de penser l'urbanisme, Editions Denoël/Gonthier 1970,