

Katarzyna Zielonko-Jung*

*Zwarta przestrzeń miejska
jako środowisko budynków energooszczędnych*

*The densely developed urban space
as an environment for energy-efficient buildings*

Środowisko naturalne na terenach zurbanizowanych

Tereny silnie zurbanizowane tworzą specyficzny kontekst środowiskowy. Charakteryzują się dużą intensywnością zabudowy, deficytem otwartej przestrzeni i terenów biologicznie czynnych, zwiększoną emisją zanieczyszczeń i ciepła pochodzącego z działalności człowieka. Naturalne środowisko jest wyparte przez środowisko stworzone przez ludzi, a czynniki klimatyczne ulegają transformacji (np. zacienianie, zmiany kierunków wiatrów spowodowane układem zabudowy, zjawisko miejskiej wyspy ciepła).

W przypadku strefy klimatu umiarkowanego warunki klimatyczne miasta można ocenić jako mniej przyjazne i komfortowe dla mieszkańców niż te panujące poza obszarem tak bardzo zabudowanym. Do najistotniejszych różnic w stosunku do terenów niezurbanizowanych należą: mniejsze usłonecznienie (5–15%), większe zachmurzenie (5–10%), mniejszy dopływ promieniowania słonecznego (10–30%), wyższa temperatura, zmniejszenie różnic między temperaturą dnia i nocy, zmniejszenie prędkości wiatrów (20–30%), przyspieszanie wiatrów o niskich prędkościach, zmiany kierunków wiatru (10–20°), mniejsza przezroczystość atmosfery, większa częstotliwość mgieł. Wpływ środowiska otaczającego na budynek w tkance miejskiej jest zatem inny niż w przypadku terenów pod-

The natural environment in urban areas

The areas which are heavily urbanized provide a special environmental context, including densely developed districts, limited open spaces and biologically active areas as well as increased pollution and emission of heat generated by human activity. The natural environment is pushed out by the environment created by people, and the climatic factors undergo transformation (e.g. shading, changed directions of winds caused by building layouts, the phenomenon of urban heat island).

The climatic conditions of the cities in the moderate climate areas can be considered to be less friendly and comfortable for the city dwellers than those prevailing outside the area so densely developed. The most significant differences in comparison to the non-urban areas include the following: less sunlight exposure (5–15%), higher cloudiness (5–10%), smaller access of solar radiation (10–30%), higher temperature, reduction of the differences between the temperature of the day and night, decreased wind speed (20–30%), acceleration of low wind speeds, changes in wind directions (10–20°), poorer clarity of the atmosphere, higher frequency of fogs. The impact of the surrounding environment on the building in the urban fabric is therefore different than in the case of suburban areas and open spaces [1]. Furthermore, there are different needs of the buildings in the scope of the development of their interior microclimate, e.g. problems with cooling and intensification of natural ventilation are more significant than in less urbanized areas and they are more difficult to solve.

* Wydział Architektury Politechniki Warszawskiej/Faculty of Architecture, Warsaw University of Technology.

miejskich i otwartych [1]. Różnią się także potrzeby budynków w zakresie tworzenia mikroklimatu ich wnętrza, np. problemy chłodzenia i intensyfikowania wentylacji naturalnej są istotniejsze niż na terenach słabo zurbanizowanych i trudniej je rozwiązać.

Podjęte rozważania dotyczą zjawisk klimatycznych zachodzących w obszarze wnętrza urbanistycznych stworzonych przez zwartą zabudowę miejską. Zjawiska te mają charakter pośredni między zjawiskami obserwowanymi na większych obszarach (klimat lokalny) a warunkami wnętrza budynków. Ta strefa oddziaływania zjawisk mikroklimatycznych nazywana jest sąsiedztwem budynku i szacuje się, że jej promień wynosi około 1000 m [2]. Charakteryzuje ją duże zróżnicowanie warunków klimatycznych występujące w krótkim czasie na małym obszarze. Zjawiska te nie są w pełni zbadane przez współczesną naukę, jednak ich wpływ na charakterystykę energetyczną i jakość środowiska fizycznego wnętrza budynków jest niepodważalny. Wiadomo także, że istnieją ścisłe zależności między kształtem zabudowy a czynnikami mikroklimatu panującego w ich sąsiedztwie. Poniżej omówiono analizy tych zależności, uwzględniając czynniki, które są kluczowe dla gospodarki energetycznej budynków: nasłonecznienie, temperaturę i wiatr.

Mikroklimat przestrzeni miejskich a kształt zabudowy

O wizualnym odbiorze wnętrza urbanistycznych: ich czytelności, geometrii, skali i jakości przestrzennej, decyduje przede wszystkim kształt zabudowy miejskiej. Dwa podstawowe typy tych wnętrza to ulica i plac (plac publiczny lub np. wnętrze w kwartale zabudowy). Znaczący klimatologii odnoszą się najczęściej do parametru wyrażającego proporcję wysokości budynków w stosunku do odległości między nimi: H/S . Im większą wartość ma ten współczynnik, tym większa intensywność zabudowy i tym „głębsze” jest wnętrze ulicy bądź placu.

Od współczynnika tego zależy między innymi ilość i rozkład promieniowania słonecznego, które trafia do przestrzeni między budynkami i pada na ich ściany. Część promieniowania, które bezpośrednio dociera pomiędzy budynki, ulega odbiciu lub wypromieniowaniu do atmosfery. Pozostała część jest akumulowana w powierzchniach tworzących masy termiczne: utwardzonym podłożu oraz ścianach i dachach budynków (il. 1). Rozkład energii słonecznej zależy także od orientacji zabudowy względem stron świata.

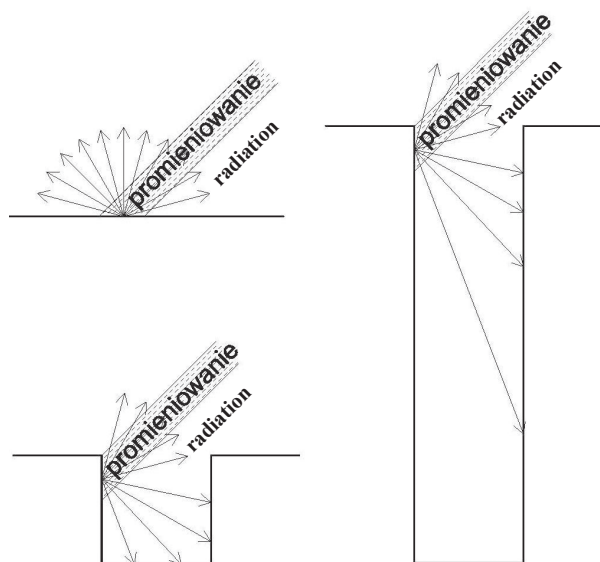
Przykładowy rozkład promieniowania podaje Tim Oke. Czyni to na podstawie analizy nasłonecznienia ulicy w Vancouver w Kanadzie, położonej na osi północ-południe, o współczynniku $H/S = 0,9$ [4]. Według jego badań, około 60% promieniowania w godzinach południowych trafiło jako ciepło do przestrzeni w jej obrębie, 30% zostało zakumulowane w powierzchniach, a 10% zostało zniwelowane przez parowanie powierzchni. Największa część energii cieplnej trafiła na podłogę oraz do górnych stref przestrzeni, mniejsza na ściany budynków. Ściana wschodnia została poddana najintensywniejszemu promieniowaniu w godzinach porannych.

The paper regards the climatic phenomena taking place in urban interiors created by high-intensity developments which fit in between the phenomena observed in larger areas (local climate) and the conditions inside buildings. This microclimatic phenomena effected zone is called the surrounding of the buildings and its estimated area has a radius of about 1000 m [2]. It demonstrates a large variety of climatic conditions occurring in a short time in a small area. These phenomena are not fully researched by contemporary science, however, their impact on the energy performance and the quality of the physical environment of the interiors of buildings is unquestionable. It is also known that the form of housing developments is closely related with the microclimate existing around them. The following is a discussion of the analysis of these relationships, including the key factors for energy efficiency of the buildings such as sunlight exposure, temperature, and wind.

The microclimate of urban spaces and the form of housing developments

The visual perception of urban interiors, including their clarity, geometry, scale and space quality depends primarily on the urban development layout. Two basic types of these interiors are the streets and squares (public squares or e.g. interiors within a block). When describing urban development experts in climatology most often use the height to the separation parameter between the buildings: H/S . The greater the value of that ratio, the greater the building density and the “deeper” the interior of the streets or the squares.

This ratio determines among others the level and distribution of solar radiation that reaches the space between



Il. 1. Dystrybucja promieniowania słonecznego w terenie otwartym (po lewej u góry), w zabudowie o proporcjach $H/S = 1$ (po lewej u dołu), w zabudowie o proporcjach $H/S = 4$ (po prawej) (rys. autorki na podstawie [3])

Fig. 1. The distribution of solar radiation in an open area (upper left), among the buildings where $H/S = 1$ (lower left), among the buildings where $H/S = 4$ (right) (drawn by author based on [3])

Zauważalny, choć mniejszy wzrost odnotowano po południu. Spowodowany był promieniowaniem odbitym od przeciwległej ściany. Na ścianie zachodniej rozkład był analogiczny, ale w odwrotnych porach dnia. Na podłożu i w górnej warstwie powietrza szczyt promieniowania nastąpił w godzinach południowych.

Rozkład energii promieniowania słonecznego jest ściśle uzależniony od współczynnika H/S . Im większą wartość ma ten współczynnik, tym bardziej nierównomiernie dystrybuowana jest energia pochodząca ze słońca. Zależności te analizował Anthony J. Arnfield, który porównał wartości promieniowania docierającego do różnych stref ulicy (strefa pieszych, podłoże, ściany budynków) w zależności od parametru H/S (uwzględnił wartości $H/S = 0,25, 0,5, 1, 2, 3$ i 4), orientacji ulicy (na osi północ-południe i wschód-zachód) oraz szerokości geograficznej [5].

Okazało się, że wartości promieniowania maleją wraz ze wzrostem współczynnika H/S (czyli „głębokości” ulicy) we wszystkich badanych strefach. Największe różnice dotyczą okresu letniego. Co ciekawe, dla szerokości odpowiadających klimatowi umiarkowanemu strefy podłoża i pieszych są podobnie nasłonecznione dla ulic położonych zarówno na osi północ-południe, jak i wschód-zachód (w klimatach np. gorących orientacja wpływa na wartości nasłonecznienia). A zatem w naszych warunkach klimatycznych to geometria zabudowy bardziej wpływa na wartości promieniowania słonecznego trafiającego do wnętrza ulicy niż orientacja ulicy względem stron świata.

W przypadku ścian, podobnie jak dla stref we wnętrzu ulicy, ilość promieniowania jest tym mniejsza, im „głębsza” jest ulica. Według Arnfielda dla szerokości geograficznej Polski, w czerwcu, ściany ulicy o współczynniku $H/S = 0,25$ położonej na osi północ-południe otrzymują czterokrotnie więcej promieniowania niż ściany ulicy o $H/S = 4$. Dla prostopadłej ulicy różnica jest mniej więcej dwukrotna. Orientacja ma jednak znaczenie jedynie dla ulic o stosunkowo niskim współczynniku H/S . Gdy jego wartość przekracza 2, promieniowanie jest zbliżone dla obu rozważanych orientacji. Ściany eksponowane na wschód i zachód (ulica orientowana na osi północ-południe) przyjmują sumarycznie więcej energii promieniowania słonecznego niż ściany ulicy prostopadłej. Zimą orientacja ulicy nie wpływa wyraźnie na nasłonecznienie ścian dla wszystkich badanych współczynników H/S .

Rozkład promieniowania słonecznego w przestrzeniach miejskich wpływa na ich charakterystykę termiczną. Latem panująca w nich temperatura jest wyraźnie wyższa niż w strefie ponad dachami. Największe różnice występują nocą w „głębokich”, ściśle zabudowanych wnętrzach, gdy ciepło zakumulowane w powierzchniach oddawane jest do atmosfery. Zimą różnice są nieznaczne.

Przestrzenie ulic i placów podlegają także zróżnicowaniu termicznemu w tym samym czasie. W przypadku nasłonecznionych wnętrz występują różnice temperatur powietrza i powierzchni. Temperatura powierzchni poddawanej bezpośredniemu promieniowaniu może być nawet do $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ wyższa niż powietrza, podczas gdy ściana zacieniona może być o kilka stopni od niego chłodniejsza. W przypadku wysokich wartości parametru H/S znacz-

buildings and their walls. The part of radiation that directly reaches the space between buildings is reflected or emitted back to the atmosphere. Its remaining part is accumulated in the surfaces which create thermal masses: hardened surfaces, walls, and roofs of the buildings (Fig. 1). The distribution of solar energy depends also on the geographical orientation of the buildings.

Tim Oke gave an example of distribution of radiation on the basis of the analysis of sunlight exposure of a street in Vancouver, Canada, laid out on the north-south axis, with $H/S = 0.9$ [4]. According to his research about 60% of radiation at around noon reached its space as heat, 30% was accumulated on surfaces and 10% evaporated through the surface. Most of the thermal energy reached the ground and the upper sections of the space, whereas the rest reached the walls of the buildings. The east wall was most intensively exposed to the radiation in the morning hours. A noticeable, though smaller, increase was recorded in the afternoon. It was caused by the radiation reflected against the opposite wall. The distribution on the west wall was similar but in the opposite hours of the day. The greatest radiation on the ground and the upper layer of the air was at around noon.

The distribution of energy of the solar radiation depends closely on the H/S ratio. The greater its value, the more uneven distribution of the energy coming from the sun. These relationships were analyzed by Anthony J. Arnfield who compared the values of the radiation reaching different parts of the street (pedestrian zones, ground, walls of the buildings), depending on the H/S ratio (for the following values: $H/S = 0.25, 0.5, 1, 2, 3$ and 4), street orientation (north-south axis and east-west axis) and its latitude [5].

It turned out that the values of radiation decrease along the increase of the H/S ratio (that is the “depth” of the street) in all studied zones. The greatest differences regard the summer time. Interestingly, in the latitudes corresponding to the moderate climate the sunlight exposure of the ground and pedestrian zones is similar for the streets laid out along the north-south axis and east-west axis (in e.g. hot climates the orientation affects the level of sunlight exposure). Consequently, in our climatic conditions it is the geometry of the buildings that affects the values of solar radiation that reaches the street interiors more than their geographical orientation.

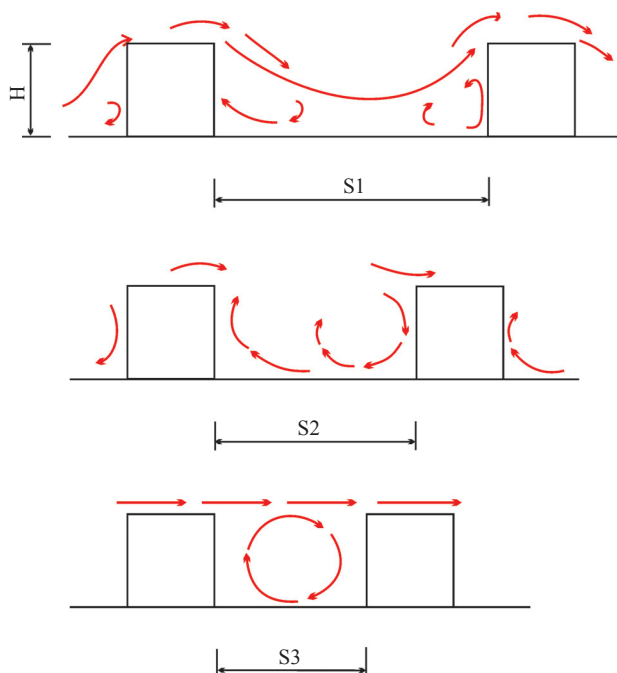
In the case of walls, just like in the case of the street interiors, the level of radiation is lower along with the “depth” of the streets. According to Arnfield for the latitude of Poland, in June the walls of the streets laid out on the north-south axis, where $H/S = 0.25$, receive four times greater radiation than the walls of the streets with $H/S = 4$. The difference is more or less twice as big for perpendicular streets. However, the geographical orientation is significant only for the streets with a relatively low H/S ratio. When its value exceeds 2, the radiation is similar in both cases. The walls exposed to the east and west (the street laid out on the north-south axis) receive generally more energy of the solar radiation than the walls of perpendicular streets. In the winter the geographical orientation of the street does not significantly affect the insolation of the walls for all studied values of H/S .

nemu zróżnicowaniu podlega temperatura ścian przeciwnych (nawet do 20 °C, przy orientacji ulicy wschód–zachód) oraz stref dolnych i górnych tej samej ściany, poza północną [6].

Geometria budynków i odległości między nimi mają także znaczenie dla przepływu powietrza. Istotne jest, by wiatr pozwalał na wymianę powietrza w przestrzeniach miejskich i chronił je przed letnim przegrzewaniem. Prędkość wiatru nie powinna być zbyt duża, zwłaszcza w okresach zimnych, ze względu na dyskomfort przechodniów i zwiększanie potrzeb grzewczych budynków. Niewystarczająca wentylacja występuje przy temperaturze 25 °C i prędkości poniżej 3 m/s, zaś potrzeba ochrony przed wiatrem, gdy temperatura jest niższa niż –5 °C, a prędkość przekracza 1 m/s [7].

Proces wymiany powietrza w obszarze ulic i placów, podobnie jak w przypadku nasłonecznienia, zależy od parametru H/S, zwłaszcza gdy wiatr wieje prostopadle do linii zabudowy. Wówczas przy ścianach budynków występuje strefa recyrkulacji powietrza (il. 2). W przypadku szerokich, „płytkich” ulic wentylacja jest niezakłócona, gdyż powietrze dociera do wnętrza poza tymi strefami. Jednak wraz ze wzrostem parametru H/S zmniejsza się obszar wentylowany, by w przypadku jego granicznej wartości w przestrzeni ulicy występował wyłącznie zamknięty ruch wirowy [9]. Wówczas zalega w niej zanieczyszczone, nagrzane powietrze, tworzy się mgła. Wentylowanie naturalne budynków jest nieskuteczne.

Nie sposób precyzyjnie określić optymalną ze względu na warunki aerodynamiczne wartość współczynnika H/S. Wpływa na nie bowiem pośrednio także zabudowa



Il. 2. Schemat cyrkulacji powietrza w przestrzeni ulicy przy wiatrach prostopadłych; cyrkulacja niezakłócona (u góry), ograniczona (w środku) i brak wentylacji (u dołu) (rys. autorki na podstawie [8])

Fig. 2. Air circulation in the street space with winds blowing perpendicular; unhindered circulation (top), limited circulation (middle), and no ventilation (bottom) (drawn by author based on [8])

The distribution of solar radiation in urban spaces affects their thermal performance. In the summer their temperature is markedly higher than in the zone above the roofs. The greatest differences occur at night in “deep”, densely developed interiors, when the heat accumulated in the surfaces is emitted back to the atmosphere. In the winter the differences are insignificant.

The spaces of the streets and squares also demonstrate different thermal patterns at the same time. In the case of the interiors exposed to the sunlight there are differences in the temperatures of the air and surfaces. The temperature of the surface directly exposed to radiation can be even up to 10 °C higher than the temperature of the air, whereas the shaded wall can be a few degrees colder. In the case of high values of H/S the temperature of the opposite walls varies significantly (even up to 20 °C with their east–west layout) as well as the lower and upper zones of the same wall, except for the north wall [6].

The geometry of the buildings and the distances between them are also crucial for the flow of air. It is important for the wind to allow for the exchange of air in urban spaces and protect them against overheating in the summer. The wind speed should not be too high, especially in the winter due to the discomfort of the pedestrians and the greater demand for heating of the buildings. The ventilation proves to be insufficient at the temperature of 25 °C and the wind speed below 3 m/s, the need to protect against wind when the temperature is below –5 °C and when the wind speed exceeds 1 m/s [7].

The air exchange process in the area of the streets and squares, just like in the case of sunlight exposure, depends on H/S, especially when the wind blows perpendicular to the building line. Then the air recirculation zone forms by the building walls (Fig. 2). In the case of wide, “shallow” streets the ventilation is unhindered because the air gets inside outside of those zones. However, the greater the H/S parameter, the smaller the ventilated area, so in the case when its value is limited in the street space only the closed eddy movement occurs [9]. Then the polluted, heated air deposits in it and fog develops. The natural ventilation of the buildings is ineffective.

It is impossible to calculate precisely the optimum value of H/S in respect of the aerodynamic conditions as they are also indirectly affected by the buildings in the further neighborhood. However, it can be presumed that when the distance between buildings is greater than their height multiplied by 2.7 ($H/S < 0.37$), with winds perpendicular to the building line, the air is intensively exchanged, and when their width is smaller than the height of the buildings multiplied by 1.35 ($H/S > 0.74$), the air is not exchanged [10]. This phenomenon is especially prevalent in small backyards of city blocks which, unlike streets, are enclosed by walls from both sides [11]. In that case the key role is played by open spaces and gateways between buildings (Fig. 3).

Other important spatial features of the buildings include, e.g. their varied heights, continuity of façades, gateways, setbacks, roof shapes. For instance the “densely packed” streets with $H/S \geq 0.33$ provide channels sucking in streams of air. The narrowings of the streets and the cre-

w dalszym sąsiedztwie. Jednak w uproszczeniu można przyjąć, że gdy szerokość między budynkami jest większa niż ich wysokość pomnożona przez 2,7 ($H/S < 0,37$), przy wiatrach prostopadłych do linii zabudowy występuje intensywna wymiana powietrza, a gdy ich szerokość jest mniejsza niż wysokość budynków pomnożona przez 1,35 ($H/S > 0,74$), powietrze nie ulega wymianie [10]. Szczególnie narażone na to zjawisko są niewielkie podwórka w kwartałach miejskich, które w przeciwieństwie do ulic ograniczone są ścianami z obu stron [11]. W ich przypadku kluczową rolę odgrywają przecięcia zabudowy oraz otwory bramne (il. 3).

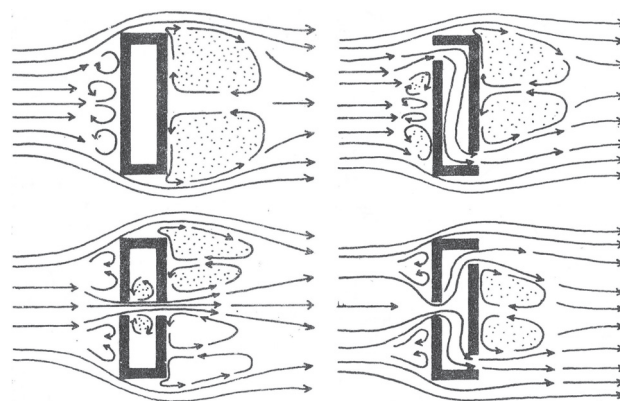
Ważne są także inne cechy przestrzenne zabudowy, np. zróżnicowanie wysokości budynków, ciągłość pierzei elewacyjnych, bramy i podcięcia, formy dachów. Na przykład „szczelnie” zabudowane ulice o współczynniku $H/S \geq 0,33$ tworzą kanały zasysające strumienie powietrza. Przewężenia ulic i szczeliny między wydłużonymi budynkami powodują gwałtowne przyspieszenia wiatru. Pojedyncze obiekty o znacznie większej wysokości niż zabudowa sąsiednia wywołują z kolei pionowy ruch powietrza [12]. Mogą zatem zintensyfikować wentylację ulicy lub placu. Wydłużony pas wysokiej zabudowy może zaś przesłonić od wiatru zabudowę niższą, co choć korzystne zimą, powoduje przegrzewanie przestrzeni wokół niej w okresach letnich.

Energooszczędne budynki miejskie

W porównaniu z terenem otwartym przestrzenie miejskie utworzone przez zwartą zabudowę ograniczają możliwości stosowania rozwiązań nakierowanych na oszczędność energii i pozyskiwanie jej ze źródeł naturalnych. Do najpoważniejszych problemów zaliczyć można wzajemne zacienianie zabudowy, trudność jej optymalnego orientowania względem słońca, ograniczenie naturalnego wentylowania przestrzeni miejskich i budynków, tendencje do przegrzewania latem. Ich nasilenie jest wprost proporcjonalne do intensywności zabudowy.

Powszechnie znane, „podręcznikowe” zasady kształtowania budynków energooszczędnych dotyczą sytuacji, w których kontekst otoczenia nieznacznie wpływa na naturalne uwarunkowania mikroklimatyczne. W przypadku zwartej zabudowy miejskiej istnieje konieczność selektywnego wyboru znanych rozwiązań bądź ich modyfikowania, tak by odpowiadały indywidualnym możliwościom danej działki oraz potrzebom budynków i przestrzeni miejskich. Omówiono tu pewne kierunki, które wydają się właściwą drogą dochodzenia do rozwiązań przestrzennych dostosowanych do uwarunkowań mikroklimatycznych przestrzeni w ścisłej tkance miasta.

Jeden z nich dotyczy geometrii zabudowy i wnętrza urbanistycznych. Podstawowym zaleceniem dla budynków energooszczędnych jest dążenie do zwartości formy oraz wyeksponowania jej na zyski słoneczne. Tkanica miasta sprzyja formom zwartym, ogranicza jednak możliwości pasywnego pozyskiwania energii cieplnej ze słońca. W przypadku głębokich kanionów ulicznych dolne partie budynków czerpią ze słońca w niewielkim stopniu, nawet przy orientacji południowej. Zasadne



Il. 3. Cyrkulacja powietrza wewnątrz kwartału zabudowy przy różnych wariantach jego otwarcia (rys. autorki na podstawie [11])

Fig. 3. Air circulation inside the block with different variants of its opening (drawn by author based on [11])

vices between elongated buildings cause strong wind gusts. On the other hand, detached structures with significantly greater heights than the buildings in their neighborhood cause the vertical air movement [12]. They can then intensify the ventilation of streets or squares. The elongated strip of tall buildings can protect smaller buildings against the wind, which, despite being beneficial in the winter, causes overheating of the space around them in the summer.

Energy-efficient townhouses

Compared with open areas, densely developed urban spaces limit the possibilities of applying solutions dedicated to saving energy and getting it from natural sources. The biggest problems include the buildings shading one another, difficulty in optimally orienting them against the sun, limiting the natural ventilating urban spaces and buildings, overheating in the summer. Their intensification is directly proportional to the building density.

The universally known “textbook” rules of developing energy-efficient buildings regard the situations in which the context of the surrounding barely affects the natural microclimatic conditions. In the case of densely developed urban space it is necessary to selectively choose the popular solutions or modify them so they correspond to individual properties of a given plot, the needs of the buildings, and urban spaces. Some of the directions which have been discussed here seem to be the right way to develop the spatial solutions adjusted to the microclimatic conditions of the space in the densely developed urban fabric.

One of them regards the geometry of the buildings and urban interiors. The basic recommendation for energy-efficient buildings is to try to develop their compact forms and expose them to solar benefits. The urban fabric favors compact forms, however, it limits the possibilities of obtaining thermal energy passively from the sun. In the case of deep street canyons the lower sections of the buildings obtain little energy from the sun, even if they are south oriented. It seems reasonable then to look for possibilities of extending the distance between the buildings in their upper sections e.g. by introducing sloping roofs, inclined

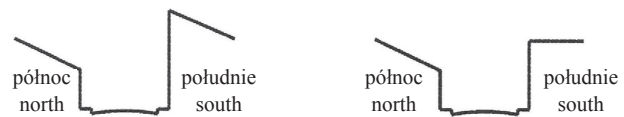
wydaje się zatem poszukiwanie możliwości poszerzenia odległości między budynkami w górnej partii zabudowy np. przez wprowadzanie skośnych dachów, pochyłych lub zaokrąglonych ku górze ścian, uskoków górnych kondygnacji. Dzięki temu można zmniejszyć zacinienie wąskich ulic i powiększyć strefę wentylacji. Kierując się zasadą tzw. koperty słonecznej, czyli minimalizowania powierzchni ścian północnych na korzyść tych lepiej nasłonecznionych, należy dążyć do obniżania północnych pierzei elewacyjnych, a podwyższania południowych (il. 4). Powierzchnie nachylone na południe mogą zaś posłużyć do sytuowania instalacji aktywnie pozyskujących energię słoneczną.

Charakter przestrzenny zwartej zabudowy miejskiej i zachodzących w jej otoczeniu zjawisk mikroklimatycznych skłania także do reinterpretacji zasad dotyczących strefowania budynków energooszczędnych. Dotyczy ono grupowania pomieszczeń według potrzeb termicznych i świetlnych. I tak, pomieszczenia o dużym zapotrzebowaniu na ciepło i światło (np. strefy dzienne mieszkań), a także pomieszczenia o dużych rozmiarach powinny zajmować strefy lepiej eksponowane na słońce, a pomieszczenia o mniejszym zapotrzebowaniu, generujące ciepło i niewielkie – strefy gorzej nasłonecznione. Zastosowanie tego modelu w zwartej tkance miejskiej nie zawsze jest możliwe, zwłaszcza gdy proporcje zabudowy powodują zacinienie dolnej strefy przez znaczną część dnia. W tej sytuacji rozważać można różnicowanie przeznaczenia funkcjonalnego budynków w pionie, w zależności od warunków nasłonecznienia. Dolne kondygnacje powinny mieścić pomieszczenia niewymagające bezpośredniego dostępu promieniowania oraz o dużym obciążeniu termicznym. Górne kondygnacje, o znacznie większych możliwościach w zakresie pasywnego pozyskiwania energii słonecznej, powinny mieścić pomieszczenia związane ze stałym przebywaniem ludzi i o dużych potrzebach w zakresie bezpośredniego oświetlenia światłem dziennym.

Podobna zamiana układu horyzontalnego na wertykalny dotyczyć może zasad rozmieszczania elementów przeszklonych, ukierunkowanych na pasywne pozyskiwanie energii słonecznej. W niezacienianych budynkach wolno stojących należy umieszczać duże okna i struktury szklarniowe od południa. Od wschodu i zachodu udział przeszkleń względem ścian pełnych powinien być mniejszy, a od północy powinno być ich jak najmniej. Tak więc różnicowanie wielkości przeszkleń odbywa się na obwodzie budynku. W przypadku ulic różnicowanie to może przebiegać wertykalnie, czyli dolne strefy powinny mieć mniej okien niż górne, lepiej nasłonecznione. Analogicznie, zewnętrzne elementy ochrony przeciwsłonecznej (np. wysunięte części elewacji, okiennice, żaluzje, rolety) mogą być potrzebne jedynie w górnych pasach ścian.

Układ zwartej tkanki miejskiej ogranicza swobodę formowania budynków, a zwłaszcza ich ustawiania względem stron świata. Te dwa elementy w przypadku budynków energooszczędnych podlegają ścisłej optymalizacji. Dla budynków na terenach intensywnie zabudowanych najważniejsze zatem mogą się okazać rozwiązania proenergetyczne, które nie wymagają określonej orientacji względem stron świata. Należą do nich te, które wykorzy-

or rounded upwards walls or offsets in the upper floors. Consequently, this can decrease the shading of the narrow streets and increase the ventilation zone. While following the so called solar envelope principle that is minimizing the area of north walls for the benefit of those with a better sunlight exposure, the lowering of north façades should be sought after and south façades should be made higher (Fig. 4). The surfaces inclined towards the south can be used for placing installations actively obtaining solar energy.



Il. 4. Przykłady różnicowania wysokości zabudowy w celu maksymalizacji zysków słonecznych i minimalizacji strat ciepła. Oznaczenia na rysunku określają orientację pokazanych ścian elewacyjnych (rys. autorki na podstawie [6])

Fig. 4. Examples of varied heights in the buildings to maximize the solar benefits and minimize heat losses. The marks in the figure indicate orientation of the façades shown (drawn by author based on [6])

The spatial character of the densely developed buildings and the microclimatic phenomena taking place in their surroundings imposes the reinterpretation of the rules regarding the zoning of energy-efficient buildings. It regards grouping rooms according to the thermal and lighting needs. Consequently, the rooms with a large demand for heat and light (e.g. day zones in the apartments) as well as larger rooms should be located in the zone better exposed to the sunlight and the rooms with a smaller demand, generating heat and small ones – in the zones less exposed to the sunlight. The application of this model in the densely developed urban fabric is not always possible, especially when the proportions of the buildings cause shading of the lower zones most of the day. In such a situation assigning various functions of the buildings vertically, depending on sunlight exposure can be considered. The rooms located on their lower floors should be the rooms which do not require direct access of radiation and those with a high thermal demand. The upper floors, with significantly greater possibilities of obtaining solar energy passively, should have rooms accommodating people with a large demand for direct daylight exposure.

A similar change from the horizontal to vertical layout can regard the principles of placing glazed elements, dedicated to obtaining solar energy passively. The shaded detached buildings should have large windows and greenhouse structures from the south. The proportion of glazings on the walls should be smaller from the east and west, and their number should be as small as possible from the north. Consequently, the size of the external glazed elements of the buildings should vary. In the case of streets this variation can be vertical and the lower zones should have fewer windows than the upper ones with a better sunlight exposure. Similarly, the external elements protecting against sun exposure (e.g. protruding parts of façades, shutters, blinds) can be needed only in the upper sections of the walls.

stują płaszczyznę dachu, a nie elewacje. W zabudowie miejskiej to właśnie dachy tworzą najkorzystniejszą płaszczyznę do sytuowania instalacji aktywnie pozyskujących energię: kolektorów słonecznych, ogniw fotowoltaicznych, turbin wiatrowych. Są bowiem mniej narażone na zacienianie i przesłanianie niż ściany budynków. Dachy mają także znaczenie dla możliwości stosowania elementów przestrzennych pozyskujących energię w sposób pasywny i regulujących mikroklimat wewnątrz budynków, np. przestrzeni atrialnych i elementów kominowych. O ile prawidłowe zastosowanie atrium z przeszkloną elewacją w budynku w zwartej zabudowie jest możliwe jedynie przy właściwej orientacji przeszklenia względem słońca i braku zacieniania przez sąsiednią zabudowę, o tyle atrium wewnętrzne jest rozwiązaniem uniwersalnym. Orientacja budynku i stopień zacienienia jego ścian nie wpływają zasadniczo na sposób działania takiego atrium. Pozwala ono także na poprawę warunków oświetlenia wnętrza światłem dziennym, które w przypadku bardzo intensywnej zabudowy mogą być niezadawalające.

Korzystne mogą się także okazać mało popularne w Polsce komin słoneczny i wieże wiatrowe. Pod względem bioklimatycznym działają podobnie jak atria, ale mają charakter zdecentralizowany, przez co mniej wpływają na układ przestrzenny budynku. Dzięki nim budynki o głębokich traktach mogą osiągnąć komfortowe warunki mikroklimatu wnętrza (równomierne oświetlenie światłem dziennym, naturalna wymiana powietrza) i funkcjonalną elastyczność.

Na tle omówionych tu problemów rysuje się wyraźnie znaczenie rozwiązań technologicznych, które w niewielkim stopniu bądź w ogóle nie zależą od formy budynku i jego orientacji względem stron świata. Powinny one uzupełniać działanie prostych, tradycyjnych rozwiązań, które w złożonych warunkach mikroklimatycznych mogą okazać się niewystarczające. I tak różnego rodzaju systemy sterujące (np. położeniem elementów systemów zacieniających), instalacje hybrydowe (np. łączące wentylację grawitacyjną i mechaniczną), systemy umożliwiające wprowadzanie zieleni na powierzchnie budynków, innowacyjne materiały budowlane (np. typu smart) mogą okazać się najważniejsze właśnie dla budynków miejskich.

O ile wykorzystanie energii cieplnej słońca jest utrudnione w przestrzeniach miejskich, o tyle wykorzystanie energii wiatru w przestrzeniach tych ma wielki potencjał. Aktualny stan wiedzy i dostępne technologie nie pozwalają go w pełni wykorzystać, ale jest to z pewnością obszar rozwojowy. Przejawem zainteresowania tą formą energii są pierwsze realizacje obiektów wysokościowych z turbinami wiatrowymi (np. Bahrain World Trade Center w Manamie, proj. Atkins; Pearl River Tower w Guangzhou, proj. SOM; Castle House w Londynie, proj. Hamiltons Architects). Podejmowane są także próby integrowania drobnych nieuciążliwych elementów pozyskujących wiatr (np. turbiny o pionowej osi obrotu, elementy z materiałów piezoelektrycznych) z budynkami o niewielkiej skali.

Miasto dysponuje także unikatowymi zasobami energii związanymi ze skupieniem na jednym obszarze wielkiej liczby ludzi. Energia pochodząca od ludzi (np. ciepła, mechaniczna) i ich działalności (np. ciepło z urządzeń,

The layout of the densely developed urban fabric limits the freedom of designing buildings, and especially their geographical orientation. These two elements in the case of energy-efficient buildings are subject to strict optimization. The energy-efficient solutions, which do not require a specific geographical orientation, can prove then most beneficial for the buildings located in densely developed urban areas. They include the ones which make use of roof surfaces and not the façades. It is the roofs that provide the best place in the cities to place such installations obtaining energy actively as solar panels, photovoltaic cells, and wind turbines because they are less shaded and blocked than the walls of the buildings. Furthermore, roofs are also important for the application of spatial elements obtaining energy passively and controlling the microclimate inside the buildings, e.g. patios and chimney elements. Although the correct application of patios with glazed façades in the townhouses is possible only when the orientation of the glazing against the sun is proper and there is no shading by neighboring buildings, the internal patio is a universal solution. The orientation of a building and the degree of shading of its walls do not significantly affect the functioning of such a patio. It also improves the interior lighting conditions with daylight, which in the case of highly densely developed urban areas can be insufficient.

The solar chimneys and wind towers which are not so popular in Poland can also prove beneficial. In respect of bio-climate they operate similar to patios but they are decentralized and that is why their impact on the spatial layout of the buildings is smaller. Because of them the buildings with deep bays can provide comfortable internal microclimate (uniform access of daylight, natural air exchange) and functional flexibility.

The problems which have been discussed in this paper clearly emphasize the significance of the technological solutions which depend to a small degree or do not depend at all on the form of the buildings and their geographical orientation. They should complement the operation of simple, traditional solutions which in complex microclimatic conditions can prove insufficient. So different types of control systems (e.g. the position of the elements of the shading systems), hybrid installations (e.g. combined gravity and mechanical ventilation systems), systems allowing for the introduction of greenery on the surfaces of the buildings, innovative building materials (e.g. smart type) can prove most beneficial for townhouses.

Although the use of thermal energy of the sun is difficult in urban areas, the use of wind energy in those spaces has a great potential. The current level of knowledge and available technologies do not provide for its full use but this is surely an area for development. The interest in this form of energy is evident in the first designs of high-rise buildings with wind turbines (e.g. Bahrain World Trade Center in Manama designed by Atkins; Pearl River Tower in Guangzhou designed by SOM; Castle House in London designed by Hamiltons Architects). There are also some attempts at integrating small undisturbing elements obtaining wind energy (e.g. vertical axis wind turbines, elements made of piezoelectric materials) with small scale buildings.

The city also provides unique resources of energy connected with the concentration of a great number of people

różne możliwości wykorzystania odpadów) tworzy niewykorzystany jeszcze potencjał, który prawdopodobnie zostanie „uruchomiony” w przyszłości.

Energooszczędność w kontekście zabudowy miejskiej

O ile problematyka proekologicznych i proenergetycznych rozwiązań w budynkach jest mocno rozwinięta przez współczesną naukę i znajduje swój wyraz w działaniach praktycznych, o tyle aspekt złożonego kontekstu środowiskowego zabudowy miejskiej jest mało zbadany. Najczęściej to jednostkowe budynki stają się przedmiotem rozważań, a rola ich otoczenia i kontekstu przestrzennego traktowana jest powierzchownie. Tymczasem istotne jest, by widzieć projektowany budynek lub zespół budynków nie jako wartość jednostkową, ale jako element większego fragmentu zabudowy. Taki sposób myślenia tworzy nową wartość w rozważaniach nad kierunkami rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenach zurbanizowanych. Tkanka miejska, projektowana całościowo lub uzupełniana, powinna tworzyć harmonijny układ – nie tylko ze względu na uwarunkowania urbanistyczne, ale także mikroklimatyczne i energetyczne. Wprowadzenie nowej zabudowy wymaga rozważań, w jaki sposób należy ją kształtować, by nie pogorszyć warunków istniejących, i czy w sytuacjach problematycznych możliwa jest ich poprawa. Dotyczy to szczególnie zjawisk aerodynamicznych, których badania dowodzą, że konsekwencje wprowadzenia nowego budynku mogą być odczuwalne dalej niż tylko w jego bezpośrednim sąsiedztwie.

Istotne jest wypracowanie optymalnej intensywności zabudowy, która stanowi dobrze wyważony kompromis między dążeniem do ekonomicznego wykorzystania terenu a komfortem przestrzennym i mikroklimatycznym. Nie musi to wcale prowadzić wyłącznie do ograniczania zabudowy intensywnej. Zespół mieszkaniowo-usługowy BedZED w Londynie (proj. ZEDfactory) jest przykładem zwartego osiedla zajmującego stosunkowo niewielki obszar. W jego przypadku właściwe, choć niekonwencjonalne uformowanie budynków i przestrzeni między nimi pozwoliło uniknąć podstawowych problemów związanych z brakiem słońca i wymiany powietrza, pomimo niewielkich

in one place. The energy generated by people (e.g. thermal or mechanical) and their activity (e.g. heat from machinery, different ways of making use of wastes) provides still unused potential which will probably be “activated” in the future.

Energy-efficiency in the context of urban developments

Although the pro-ecology and energy-efficient solutions in buildings are well known by contemporary science, which is evident in practice, the aspect of the complex environmental context of the densely developed urban areas is poorly researched. Most often it is the single buildings that are subject of research, whereas the role of their surrounding and the spatial context is studied superficially. However, it is important to see a designed building or a group of buildings not as a separate value but as an element of a greater development. Such a way of thinking creates a new value in the discussion on the directions of development of energy-efficient buildings and the use of renewable sources of energy in urban areas. The urban fabric, designed as a whole or supplemented, should form a harmonious development – not only due to urban layout but also microclimate and energy performance. The introduction of new buildings requires consideration of how they should be designed so that they would not deteriorate the existing conditions and whether in problematic situations it is possible to improve them. This regards especially the aerodynamic conditions whose study proves that the introduction of a new building can affect further than only in its direct surrounding.

It is important to develop an optimal development density which would provide a well-balanced compromise between the pursuit for the economic use of the area and comfortable space and microclimate. This does not necessarily have to only limit the densely developed areas. The BedZED estate in London (designed by ZEDfactory) is a densely developed housing estate occupying a relatively small area. In spite of its unconventionally designed buildings and the space between them it was possible to avoid the basic problems connected with the lack of sunlight and the exchange of air despite small distances between the rows of buildings (Fig. 5). A similar hous-



Il. 5. Osiedle mieszkaniowe BedZED (fot. BioRegional [13])

Fig. 5. Housing development BedZED (photo by BioRegional [13])



Il. 6. Osiedle mieszkaniowe we Freiburg (fot. K. Zielonko-Jung)

Fig. 6. Housing development in Freiburg (photo by K. Zielonko-Jung)

odległości między pasmami zabudowy (il. 5). Podobnie w osiedlu mieszkaniowym we Freiburgu (il. 6), odległość między wydłużonymi budynkami wynosi mniej niż półtora-krotność ich wysokości, a uzyskano bardzo dobre warunki mikroklimatyczne i możliwości aktywnego pozyskiwania energii słonecznej (jest to osiedle dodatnioenergetyczne).

Zarysowana powyżej charakterystyka uwarunkowań mikroklimatycznych przestrzeni miejskich pokazuje złożoność zagadnień, z którymi mamy do czynienia. Stan wiedzy na ich temat nie jest wystarczający i wymaga dalszego pogłębiania. Uwidacznia się szczególnie rola współpracy interdyscyplinarnej podjętej na etapie planowania przestrzennego i projektowania urbanistycznego. Dzięki takiej współpracy problematyka wykorzystania potencjału energetycznego poszczególnych obszarów i zapewnienia właściwych warunków klimatycznych znalazła by właściwe miejsce w procesie podejmowania decyzji o rozwoju miasta.

ing estate in Freiburg (Fig. 6), with the distances between elongated buildings smaller than their height and a half, offers very good microclimatic conditions and the possibility of obtaining solar energy actively (the estate has a positive energy balance).

The characteristic features of the microclimatic conditions of urban spaces which have been outlined above demonstrate the complexity of the issues connected with them. The level of knowledge about them is insufficient and needs further research. The special role of the interdisciplinary cooperation at the stage of spatial planning and urban design is evident. As a result of such a cooperation the issue of using the energy potential of individual areas and providing the right climatic conditions would become significant in the decision making process regarding the development of the city.

Translated by
Tadeusz Szalamacha

Bibliografia/References

- [1] Lewińska J., *Klimat miasta, zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Kraków 2000.
- [2] Ratti C., Di Sabatino S., Britter R., *Urban Texture Analysis with Image Processing Techniques: Winds and Dispersion*, „Theoretical and Applied Climatology” 2006, Vol. 84, 77–90.
- [3] Givoni B., *Climate Considerations in Building and Urban Design*, Wiley & Sons, New York 1998.
- [4] Oke T.R., *Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observation*, „International Journal of Climatology” 1981, Vol. 1, 237–254.
- [5] Arnfield A.J., *Street Design and Urban Canyon Solar Access*, „Energy and Building” 1990, Vol. 14, 117–131.
- [6] Ali-Toudert F., *Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate*, 2005, www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/2078/pdf/diss_freidok_ali_toudert_fazia.pdf [accessed: 15.03.2012].
- [7] Klemm K., *Kompleksowa ocena warunków mikroklimatu w luźnych i zwartych strukturach urbanistycznych*, Sekcja Fizyki Budowli, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Studia z Zakresu Inżynierii nr 75, Warszawa 2011.
- [8] Daniels K., *The Technology of Ecological Building*, Birkhauser, Berlin 1997.
- [9] Hegger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M., *Energy Manual, Sustainable Architecture*, Birkhauser, Berlin 2008.
- [10] Zielonko-Jung K., *Kształtowanie przestrzenne architektury ekologicznej w strukturze miasta*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2013.
- [11] Laskowski L., *Wybrane zagadnienia fizyki miasta*, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 1987.
- [12] Flaga A., *Inżynieria wiatrowa*, Arkady, Warszawa 2008.
- [13] <http://www.bioregional.com/flagship-projects/one-planet-communities/bedzed-uk/> [accessed: September 2011].

Streszczenie

W otoczeniu miejskim naturalne środowisko, w tym także czynniki klimatyczne ulegają silnemu przekształceniu. Im intensywniej zurbanizowany teren, tym bardziej złożone procesy fizyczne decydują o warunkach mikroklimatycznych. W efekcie budynki nakierowane na oszczędność energii i pozyskiwanie jej ze źródeł odnawialnych lokalizowane w zwartej zabudowie miejskiej podlegają innym uwarunkowaniom niż na terenach otwartych. Biorąc pod uwagę, że miasta sukcesywnie się powiększają i coraz intensywniej wykorzystują swoje obszary, należy uznać problem kształtowania zabudowy energooszczędnej w typowo miejskim środowisku za bardzo aktualny.

Artykuł ukazuje wzajemne zależności między kształtem zabudowy a warunkami mikroklimatu, które bezpośrednio wpływają na możliwości obniżania zapotrzebowania budynków na energię. Podstawą przeprowadzonych analiz są badania pochodzące z różnych źródeł literaturowych oraz własne, a także wybrane projekty budynków ekologicznych o charakterze miejskim. Celem opracowania jest rozpoznanie możliwości stosowania znanych rozwiązań energooszczędnych w budynkach tworzących zwartą tkankę miejską. Wyodrębniono kilka zasad dotyczących ich doboru i modyfikacji, które wydają się właściwą drogą kształtowania miejskiej architektury energooszczędnej.

Słowa kluczowe: architektura energooszczędna, rozwój zrównoważony, ekologiczne miasto

Abstract

In the urban setting, natural environment including climatic conditions is strongly transformed. The more urbanised is the area, the more complex are physical processes which influence its microclimate. In consequence, the buildings focused on energy savings from renewable resources, and which are located in urban settings, are conditioned by other factors than those located in open areas. Taking into consideration that city keeps on expanding and makes more intense use of the land, the problem of shaping energy-saving building structures in a typical urban environment is very pertinent. This article points at interrelations between the shape of the buildings' settings and conditions of the micro climate, which have direct bearing on the possibility to lower their demand for energy. This analysis is based on the research coming from various literature sources, as well as own research and selected environmental building designs in urban context. The objective of this study is to investigate the possibility of applying well known energy-saving solutions in buildings that create a dense urban tissue. Some principles governing their selection and modification were delineated, pointing to the right direction in shaping energy-saving urban architecture.

Key words: energy-efficient architecture, sustainable development, ecological city



Systemy osłon przeciwsłonecznych, zieleni i zielone dachy w Dockside Green w Victorii w Kanadzie. Zespół jako jeden z pierwszych na świecie otrzymał certyfikat Platynowy LEED (fot. A. Bać, 2011)

Sun screens, greenery, and green roofs in Dockside Green in Victoria, Canada. The development was one of the first to receive the LEED Platinum certification (photo by A. Bać, 2011)