

Justyna Janiak
Politechnika Warszawska WBMiP w Płocku

MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA WYKORZYSTANIA ROŚLIN W OBNIŻANIU TEMPERATURY POWIERZCHNI ELEWACJI BUDYNKU

Streszczenie

Artykuł przybliży możliwości i ograniczenia w skutecznym wykorzystaniu roślinności jako narzędzia w walce ze wzrostem temperatury powierzchni elewacji, szczególnie w czasie słonecznych dni. W pracy opisano oraz sklasyfikowano różne czynniki, które wpływają na efektywność zastosowania zieleni jako pasywnego narzędzia w ochronie przeciwsłonecznej budynku. Opracowanie wskazało na duże możliwości zastosowania roślin w obniżaniu temperatury powierzchni obudowy budynku wynikające głównie z różnorodnego oraz szerokiego wyboru zarówno roślin, jak i sposobu ich kształtowania oraz wprowadzania do przestrzeni zurbanizowanej. Analiza ujawniła także pewne ograniczenia, które mogą wynikać z przyjętych rozwiązań w układach roślinno-architektonicznych, wybranych form czy gatunków roślin oraz czynników klimatycznych i mikroklimatycznych danej lokalizacji. Mimo rozmaitych ograniczeń szeroki wachlarz możliwości wykorzystania zieleni wspólnie z wymiernymi efektami oddziaływania roślin na temperaturę powierzchni elewacji zachęcają do sięgania po tego rodzaju rozwiązania.

Słowa kluczowe: temperatura powierzchni elewacji, zielone elewacje, zieleni, nagrzewanie się budynków.

Wstęp

Skąpane w słońcu budynki to nie tylko „wspaniała gra brył w świetle”¹, ale także wyekspozowane na promieniowanie słoneczne powierzchnie o temperaturach dochodzących nawet do 90°C². Nagrzewanie się elewacji i dachów rodzi szereg komplikacji, w tym przyczynia się do wzrostu temperatury powietrza na zewnątrz i wewnątrz obiektów powodując dyskomfort termiczny użytkowników. Stąd coraz częściej pojawiające się jednostki centrali klimatyzacyjnych na ścianach i dachach budynków, szczególnie na terenach intensywnej zabudowy miejskiej. Imperatyw ograniczenia zużycia energii skłania projektantów do poszukiwania innych, bardziej przyjaznych dla środowiska rozwiązań. Jednym

¹ „Architektura to przemyślana, bezbłędna, wspaniała gra brył w świetle”, Le Corbusier.

² Powszechnie używane materiały do wykończenia dachów nagrzewają się do 50 – 90°C w okresie intensywnej ekspozycji słonecznej (Arabi i in. 2015).

z nich, oprócz kształtowania samozacieniających się form czy stosowania materiałów o wysokim albedo, jest próba wykorzystania właściwości zieleni rosnącej w otoczeniu budynków. Badania prowadzone od blisko 50 lat³ wskazują na duży potencjał systemów roślinnych, zlokalizowanych w otoczeniu zabudowy lub z nią zintegrowanych, w oddziaływaniu na temperaturę powierzchni przegród zewnętrznych. Przemawia to za zastosowaniem zieleni nie tylko jako elementu dekoracyjnego, ale również jako skutecznego narzędzia do zmniejszania nagrzewania się elewacji w czasie intensywnej ekspozycji słonecznej.

Niniejszy artykuł przedstawia możliwości oraz ograniczenia w wykorzystaniu roślinności w tym zakresie. Opracowanie zawiera analizę czynników oraz warunków, które wpływają na efektywność zastosowania zieleni w redukcji temperatury powierzchni elewacji.

Potencjał zieleni

Zieleń chroni budynek przed nagrzewaniem dzięki zacienianiu i ewapotranspiracji. Ochoa przypisuje zacienianiu pierwszorzędne znaczenie z racji jego bezpośredniego wpływu na powierzchnię (Pérez i in. 2014). Roślinność doskonale sprawdza się jako element blokujący bezpośrednią radiację słoneczną. Wynika to częściowo z odbijania promieni słonecznych, ale głównie z konieczności absorbowania znacznej ilości energii, niezbędnej w procesie fotosyntezy, transpiracji, ewaporacji i respiracji. Jedynie 5% do 30% pozostałej energii słonecznej przechodzi przez listowie i dociera do zewnętrznych powierzchni budynku (Perini i in. 2011). Stopień ograniczenia nasłonecznienia przez zielenią zintegrowaną z architekturą jest porównywalny do elementów ochrony przeciwsłonecznej o najlepszych współczynnikach przepuszczalności światła (Pérez i in. 2011).

Proces parowania z nadziemnych części roślin oraz gleby również przyczynia się do obniżenia temperatury powierzchni elewacji, jednak w o wiele mniejszym stopniu. Według badań Hoelscher'a i in. (2016) podczas upalnych sierpniowych dni ochłodzenie powierzchni dzięki parowaniu z nadziemnych części roślin wynosi zaledwie około 20%. Większy wpływ transpiracji odnotowuje się w pochmurne dni o dużej wilgotności powietrza oraz nocą, kiedy jest to jedyny sposób oddziaływania zieleni na temperaturę. O udziale parowania z nadziemnych części roślin przesądzają przede wszystkim warunki pogodowe, irygacja oraz gatunki roślin.

Współdziałanie zacieniania i ewapotranspiracji przynosi wymierne efekty. Według badań Sternberga, Vilesa i Cathersidesa (2011) średnia maksymalna temperatura na ścianie osłoniętej pnączem jest o 36% niższa niż elewacji w peł-

³ Kryzys energetyczny, który miał miejsce w latach 70. w USA, spowodował poszukiwanie metod oszczędzania energii, szczególnie w budownictwie, w tym również z wykorzystaniem zieleni.

nym słońcu. Zachęca to do zastosowania roślinności do przeciwdziałania nagrzewaniu się budynków, tym bardziej, że istnieje całe spektrum możliwości jej wykorzystania.

Możliwości wykorzystania zieleni

Wpływ na szeroki wybór rozwiązań zastosowania zieleni ma zarówno bogactwo i różnorodność form oraz gatunków, jak i mnogość sposobów jej wprowadzenia do przestrzeni zabudowanej. W kontekście rozważanego problemu spośród licznych roślin drzewiastych i zielnych najbardziej efektywne są drzewa, które mogą zablokować około 80% docierających do nich promieni słonecznych (Heisler 1977 za: Plumley 1975) oraz niektóre gatunki pnączy⁴. Przedstawione w poniższej tabeli wyniki badań przeprowadzonych na różnych rodzajach i gatunkach roślinności ukazują potencjał zieleni w obniżeniu temperatury powierzchni.

Tabela 1. Wybrane przykłady zieleni obrazujące ich wpływ na obniżenie temperatury powierzchni ściany zewnętrznej

| Przykłady zieleni | Obniżenie temperatury na powierzchni ściany |
|---|---|
| Winobluszcz trójklapowy (<i>P. tricuspidata</i>) o powierzchni około 6 m ² porastający ścianę, ekspozycja południowo-zachodnia (Hoelscher i in. 2016). | 15,5°C |
| Rdestówka bucharska (<i>F. baldschuanica</i>) na konstrukcji wsporczej w odległości 30 cm od ściany, ekspozycja zachodnia (Hoelscher i in. 2016). | 10,5°C |
| System żyjącej ściany z krzewami, trawami i pnączami (Pérez i in. 2014 za: Mazzali i in. 2013). | 12°C do 20°C |

* Konstrukcje wsporcze dla roślin pnących mogą mieć formę samodzielnych lub zamocowanych do elewacji podpór jak np. stalowe linki rozpinane i montowane do ścian czy stelaże z prętów stalowych przytwierdzone do muru na wspornikach.

Źródło: na podstawie badań Hoelscher'a i in. (2016) oraz Mazzali i in. (2013).

Duży zakres możliwości wykorzystania zieleni do ochrony elewacji przed nagrzewaniem wynika z cech gatunkowych użytych roślin. Różna dla gatunków, a istotna z punktu widzenia obniżenia temperatury osłanianej powierzchni, jest wielkość oraz ilość liści. Wpływa to na kluczowy parametr dla zacieniania – wskaźnik pokrycia liściowego (*Leaf Area Index*)⁵. Im wyższy indeks, tym skuteczniejsza ochrona przed promieniowaniem słonecznym. Dla LAI w zakresie 0–4 uzyskana różnica temperatur na powierzchni elewacji wynosi od 0,8°C do max. 13,1°C (Susorava i in. 2013). Ułożenie liści wpływa także na

⁴ Jak twierdzą Sheweka i Mohamed (2012) bluszcz może zapewnić obniżenie temperatury powierzchni elewacji równie skutecznie, jak cień rzucany przez drzewa.

⁵ Wskaźnik pokrycia liściowego wyraża stosunek jednostronnej powierzchni liści do powierzchni podłoża, nad którym się znajdują.

stopień tłumienia promieniowania w ciągu dnia, gdzie najkorzystniejsze jest ich równoległe ustawienie do płaszczyzny, na którą padają promienie słońca. Gatunek rośliny decyduje również o kolorze i fakturze liścia, co z kolei wpływa na ilość pochłoniętego przez jego powierzchnię promieniowania słonecznego. Istotna dla ochrony elewacji przed nagrzewaniem jest również docelowa wielkość rośliny, szybkość jej wzrostu, gęstość listowia, a także, szczególnie w przypadku drzew, charakterystyczny pokrój.

Rodzaj i cechy gatunkowe tworzą szeroką paletę możliwości, którą można dodatkowo rozbudować dzięki różnym sposobom wprowadzenia roślinności do przestrzeni zabudowanej. Zieleń można usytuować w terenie, w pewnej odległości od budynków, lub może być z nimi zintegrowana jako pokrycie dachów, tarasów czy ścian. Co więcej, w zależności od wybranego rozwiązania istnieje wiele rozmaitych sposobów jej kształtowania. Na poziomie terenu rośliny można zaprojektować np. jako pojedyncze lub zgrupowane elementy, o różnych odległościach między sobą i budynkiem. Ze względu na wpływ na obniżenie temperatury powierzchni najkorzystniejsze jest dążenie do zwartych układów, które skutecznie ograniczą nasłonecznienie. Natomiast roślinność na elewacjach może bezpośrednio porastać ściany budynków lub pośrednio, poprzez różnego typu konstrukcje wsporcze przymocowane do muru. Innym, zyskującym na popularności rozwiązaniem jest tzw. żyjąca ściana, w której rośliny zakorzenione w podłożu (w glebie lub specjalnym medium, np. filc), wraz z systemem nawadniającym znajdują się na nośnym stelażu zamontowanym do ściany⁶. Sposób wprowadzenia zieleni na budynek wpływa na jej efektywność jako osłony przeciwsłonecznej. Według badań Safikhani i in. (2014) przeprowadzonych z wykorzystaniem tunbergii wielkokwiatowej (*Thunbergia grandiflora*) dla dwóch różnych konstrukcji: wsporczej dla pnącza oraz żyjącej ściany, różnica w obniżeniu temperatury wyniosła prawie 1°C⁷. Większe różnice odnotowano w badaniach na ośmiu różnych rodzajach wertykalnych systemów, które sięgały 4°C (Pérez i in. 2014 za: Wong i in 2010). Dostępne na rynku technologie i materiały umożliwiają integrację z budynkiem różnych rodzajów zieleni od bylin nawet po małe drzewa. Zwiększa to znacznie skalę możliwości wykorzystania roślinności do zminimalizowania nagrzewania się budynków, tym bardziej że ochroną można objąć zarówno niskie, jak i wysokie budynki. Udowodniła to m.in. pracownia Jeana Nouvel'a oraz PTW Architekci, projektując wysoki na 117 m wieżowiec One Central Park z zielenią na elewacji w formie żyjącej ściany i pnączy porastających przygotowaną konstrukcję wsporczą.

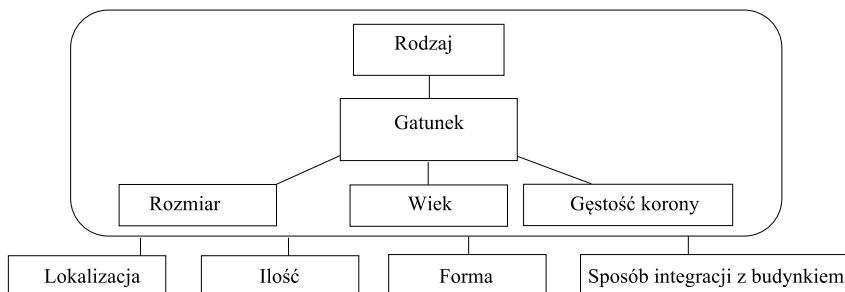
Rodzaj oraz cechy gatunkowe zieleni, a także sposób introdukcji, wpływają na różnorodność rozwiązań i dużą elastyczność w jej stosowaniu. Każdy

⁶ Przykładowo zieleń w systemie tzw. żyjącej ściany w przestrzeni publicznej zastosowano m.in. w nowej Rotundzie PKO w Warszawie, w której wykorzystano metodę „Polskiej Zielonej Ściany”.

⁷ W przypadku pnącza porastającego konstrukcję wsporczą nastąpiło obniżenie temperatury powierzchni o 5,5°C natomiast w systemie żyjącej ściany o 6,3°C (Safikhani i in. 2014).

z parametrów (schemat 1) zawiera wiele opcji do wyboru, dzięki czemu zieleń jest bardzo rozbudowanym narzędziem w walce o obniżenie temperatury powierzchni elewacji, każdorazowo o różnej skali oddziaływania.

Schemat . Parametry wpływające na różnorodność rozwiązań wykorzystujących zieleń



Źródło: Opracowanie własne.

Spektrum możliwości roślinności do ochrony budynku przed nagrzewaniem wynika również z wielu czynników niezwiązanych *stricto* z zielenią. Jak pokazuje tabela numer 2, większość można kontrolować świadomie, kształtując zieleń na potrzeby oddziaływania na temperaturę powierzchni.

Tabela 2. Podział czynników wpływających na efektywność wykorzystania zieleni według możliwości ich kontroli

| | |
|---------------------|---|
| Czynniki zależne | <ul style="list-style-type: none"> • dobór roślin: rodzaj, gatunek, wiek, rozmiar, ilość, forma • odległość zieleni od budynków • parametry konstrukcji wsporczych w systemie pośrednim, w tym odległość od fasady • rozwiązania materiałowe systemów żyjących ścian • ekspozycja zielonej elewacji względem stron świata • stopień pokrycia ściany zielenią • wybór instalacji nawadniającej • albedo ścian chronionych przez zieleń |
| Czynniki niezależne | <ul style="list-style-type: none"> • cechy gatunkowe roślin • czynniki klimatyczne, mikroklimatyczne lokalizacji • upływ czasu |

Źródło: jak w tabeli 1.

Mimo to panuje powszechny sceptycyzm i ostrożność w sięganiu po rozwiązania z wykorzystaniem zieleni. Wynika to nie z wątpliwej co do skuteczności roślinności, ale raczej z ograniczeń jej zastosowania.

Ograniczenia wykorzystania zieleni

Ograniczenia wykorzystania roślinności wynikają z cech gatunkowych, sposobu jej zastosowania oraz czynników klimatycznych. Skala możliwości użycia roślin zmienia się również wraz z intensywnością zabudowania i przeznaczeniem terenu. Na obszarach, w których z racji maksymalizacji powierzchni pod zabudowę ogranicza się stosowanie zieleni, popularniejsze są formy roślin zintegrowane z architekturą, w formie zielonych ścian lub dachów.

Dużym problemem w miastach jest zapewnienie roślinom optymalnych warunków do wzrostu i ekspansji, tak by w pełni swoich możliwości mogły oddziaływać na temperaturę powierzchni elewacji. Zanieczyszczenie powietrza i gleby, duże powierzchnie utwardzone, zacienianie przez sąsiadujące wysokie budynki, brak wystarczającej przestrzeni z tytułu potencjalnej kolizji z istniejącą infrastrukturą miejską, w znacznym stopniu utrudniają, a nawet uniemożliwiają funkcjonowanie zieleni w mieście. Zawęża to znacznie pulę możliwych do zastosowania gatunków roślin, które sprawdzą się w nieprzystępnym środowisku miejskim.

Do tego dochodzą ograniczenia wynikające z warunków klimatycznych i mikroklimatycznych danej lokalizacji. Dobowe i roczne duże zmiany temperatury, anomalia związane ze zjawiskiem tzw. miejskiej wyspy ciepła, nie sprzyjają niektórym roślinom. Szczególnie wrażliwe są te zakorzenione w systemach żyjących ścian, w kapryśnym klimacie umiarkowanym. Wiele z nich nie wytrzymuje mrozów, stąd niejednokrotnie poddawane są cyklicznej wymianie. Nawet bardziej odporne gatunki nie radzą sobie z ekstremalnymi warunkami pogodowymi (okresy suszy, gwałtowne ulewy itp.) coraz częściej pojawiającymi się z powodu postępujących zmian klimatycznych. W znacznym stopniu utrudnia to efektywne wykorzystanie zieleni do ochrony przed nagrzewaniem się budynków w mieście.

W korzystnych warunkach rośliny również mają swoje ograniczenia wzrostowe. Niektóre gatunki pnączy potrafią wspiąć się maksymalnie do 5 – 6 m, inne natomiast osiągają wysokość 25 m. Wpływa to na możliwości maksymalnego pokrycia powierzchni muru przez wybraną roślinę. Oprócz naturalnych limitów wzrostu są też te wywołane przez niedobór składników odżywczych, wspomniane niesprzyjające warunki klimatyczne lub np. sposób nasadzeń. O ile można spróbować wpłynąć na rozrost rośliny, zapewniając odpowiednie warunki, to nie da się w pełni kontrolować jego skutków, tj. osiągniętych rozmiarów, gęstości listowia itp. Dodatkowo istnieje ryzyko komplikacji z powodu chorób, pasożytów czy szkodników osłabiających znacznie zieleń, prowadząc nawet do jej wymarcia. Ta niepewność o efekt i możliwość niepowodzenia, mimo zainwestowanego czasu i pieniędzy, rodzi duży sceptycyzm odnośnie do wykorzystania zieleni. Ponadto często osiągnięcie zadowalających redukcji temperatury na powierzchni elewacji wymaga czasu w zależności od tempa wzrostu danej rośliny. Kiedy ochrona budynku przed nagrzewaniem jest priorytetem w działaniach, czas staje się limitem.

Ograniczenie wykorzystania zieleni jako pasywnego sposobu obniżenia temperatury powierzchni elewacji często wynika z niewiedzy na ten temat. Mimo wielu badań, w obiegowej opinii roślinność nadal funkcjonuje głównie jako element dekoracji. Wielu nie jest świadomych lub nie chce docenić potencjału tkwiącego w zieleni. Ten brak wiedzy i chęci prowadzi do sięgania po znacznie droższe, bardziej obciążające dla środowiska rozwiązania.

Większość wspomnianych ograniczeń w wykorzystaniu roślin do ochrony budynku przed nagrzewaniem jest wspólna dla różnych systemów roślinno-architektonicznych (tabela 3). Są to głównie warunki klimatyczne i mikroklimatyczne oraz czynniki wynikające ze wzrostu i cech gatunkowych zieleni. Istnieje też grupa ograniczeń związanych wyłącznie z danym sposobem introdukcji roślin w przestrzeń zurbanizowaną.

Tabela 3. Klasyfikacja ograniczeń w wykorzystaniu roślinności ze względu na charakter występowania

| Umiejscowienie roślin względem budynku | Ograniczenia niezależne od umiejscowienia roślin | Ograniczenia zależne od umiejscowienia roślin |
|--|---|---|
| Teren | <ul style="list-style-type: none"> warunki klimatyczne i mikroklimatyczne lokalizacji oddziaływanie środowiska miejskiego Pasożyty, szkodniki, choroby ograniczenia wzrostowe roślin | <ul style="list-style-type: none"> powierzchnia brak przestrzeni, kolizje z miejską infrastrukturą dostęp naturalnego oświetlenia do wnętrza budynku |
| Zielone elewacje | <ul style="list-style-type: none"> ograniczenia wynikające z cech gatunkowych roślin nieprzewidywalność efektów czas sceptycyzm w stosunku do rozwiązań wykorzystujących zieleni niewiedza w wykorzystaniu zieleni | <ul style="list-style-type: none"> zapewnienie odpowiednich warunków dla roślin w ciągu całego roku w klimacie umiarkowanym koszty wykonania decyzja o założeniu żyjącej ściany na etapie projektu budynku |

Źródło: jak w tabeli 1.

Niektóre przeszkody w wykorzystaniu zieleni mogą mieć różny okres trwania (tabela 4). Pośród nich przeważają czynniki o charakterze stałego oddziaływania, wpływające na limity wzrostowe i ekspansje roślin.

Tabela 4. Klasyfikacja ograniczeń ze względu na czas trwania

| | |
|---|--|
| Ograniczenia o charakterze stałym | <ul style="list-style-type: none"> ograniczenia wynikające z cech gatunkowych roślin ograniczenia wzrostowe roślin warunki klimatyczne oddziaływanie środowiska miejskiego nieprzewidywalność efektów czas |
| Ograniczenia o charakterze przejściowym | <ul style="list-style-type: none"> niewiedza i sceptycyzm odnośnie do wykorzystania zieleni Pasożyty, szkodniki, choroby warunki mikroklimatyczne |

Źródło: jak w tabeli 1.

Podsumowanie

Skuteczność zieleni w obniżaniu temperatury powierzchni elewacji w czasie intensywnej ekspozycji słonecznej jest potwierdzona licznymi badaniami. Potencjał roślin nie wynika wyłącznie z wpływu zacieniania i transpiracji, ale również z dużej możliwości jej wielorakiego zastosowania. Mnogość rozwiązań, wykorzystująca różne rodzaje i gatunki roślin wespół z wielorakimi sposobami ich wprowadzenia stwarza duże możliwości jej zastosowania, nawet w tak niesprzyjających warunkach, jak środowisko miejskie. W zależności od wybranych opcji oraz warunków pogodowych rozbieżność w efektywności zieleni może być znaczna, powodując redukcję temperatury o 6°C (Cuce 2016) do 20°C (Pérez i in. 2014 za: Mazzali i in. 2013).

Tabela 5. Czynniki i warunki wpływające na możliwości i ograniczenia wykorzystanie zieleni

| Możliwości wykorzystania zieleni | Ograniczenia wykorzystania zieleni |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • różne formy kształtowania zieleni i systemów roślinno-architektonicznych • różnorodność sposobów introdukcji roślinności do przestrzeni zabudowanej • możliwość wielu rozwiązań w ramach konkretnej lokalizacji • zastosowanie na budynkach o różnej wysokości, zarówno niskich, jak i wysokościowcach • wybór spośród wielu rodzajów i gatunków roślin | <ul style="list-style-type: none"> • czynniki klimatyczne i mikroklimatyczne • ograniczenia wzrostowe roślin • niewiedza, sceptycyzm odnośnie do rozwiązań z zielenią • oddziaływanie środowiska miejskiego • brak wystarczającej powierzchni • nieprzewidywalność efektów • pasożyty, szkodniki, choroby • ograniczenia wynikające z cech gatunkowych roślin • czas • brak przestrzeni, kolizje z miejską infrastrukturą • dostęp naturalnego oświetlenia do wnętrza budynku • zapewnienie odpowiednich warunków dla roślin w systemie żyjącej ściany w ciągu całego roku w klimacie umiarkowanym • koszty wykonania żyjącej ściany • decyzja o założeniu żyjącej ściany na etapie projektu budynku |

Źródło: jak w tabeli 1.

Z przeprowadzonej analizy podsumowanej w tabeli numer 5 wynika, że potencjał roślinności wystawiony jest na próbę licznych ograniczeń. Czynniki je wywołujące mogą mieć różny charakter oraz czas trwania. O ile możliwości wykorzystania roślin wynikają głównie z ich cech gatunkowych oraz sposobu wykorzystania, to ograniczające je warunki są rozmaite i dotyczą zarówno zieleni, czynników klimatycznych, jak i wkładu człowieka itp. Ilość utrudnień na drodze rozwiązań z zielenią może wzbudzać wątpliwość odnośnie do ich stosowania. Jednak szeroki wachlarz możliwości wykorzystania zieleni oraz

wymierne efekty oddziaływania roślin na temperaturę powierzchni elewacji zachęcają do sięgania po tego rodzaju rozwiązania. Ponadto większość ograniczeń tylko w znikomych przypadkach uniemożliwia wykorzystanie potencjału zieleni. Zazwyczaj zawężają one jedynie możliwy wachlarz rozwiązań lub obniżają ich skuteczność, często tylko przez pewien czas. Co więcej, piętrzące się ograniczenia mogą wyrzucić także pozytywny wpływ, prowadząc do odkrycia całkiem nowych możliwości zastosowania zieleni jako ochrony powierzchni obudowy budynku przed nagrzewaniem. Tym bardziej że z pomocą przychodzi rozwój technologii, coraz dokładniejsze badania, a także rosnąca świadomość o konieczności zwrotu ku pasywnym sposobom ograniczania zużycia energii.

Bibliografia

- Arabi R., Shahidan M., Kamai M., Fakri M., Rakhshandehroo M. (2015), *Mitigating Urban Heat Island Through Green Roofs*, "Current World Environment", Vol. 10, Iss. 1.
- Cuce E. (2017), *Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation*, "Applied Energy", Vol. 134.
- Heisler G.M. (1977), *Trees modify metropolitan climate and noise*, "Journal of Arboriculture", Vol. 3, No. 11.
- Hoelscher M.T., Nehls T., Jänicke B., Wessolek G. (2016), *Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation*, "Energy and Buildings", Vol. 114.
- Mazzali U., Peron F., Romagnoni P., Pulselli R.M., Bastianoni S. (2013), *Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in temperate climate*, "Building and Environment", Vol. 64.
- Perini K., Ottel  M., Haas E.M., Raiteri R. (2011), *Greening the building envelope, facade greening and living wall systems*, "Open Journal of Ecology", Vol. 1.
- P rez G., Rinc n L., Vila A., Gonz les J.M., Cabeza L.F. (2011), *Behaviour of Green Facades in Mediterranean Continental Climate*, "Energy Conversion and Management", Vol. 52, Iss. 4.
- P rez G., Coma J., Martorell I., Cabeza L.F. (2014), *Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews", Vol. 39.
- Plumley H.J. (1975), *Design of outdoor urban spaces for thermal comfort*, materia  z konferencji "Metropolitan Physical Environment", 25-29 sierpnia, Nowy Jork.
- Safikhani T., Abdullah A.M., Ossen D.R., Baharvand M. (2014), *Thermal Impacts of Vertical Greenery Systems*, "Environmental and Climate Technologies", Vol. 14, Iss. 1.
- Sheweka S.M., Mohamed N.M. (2012), *Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change*, "Energy Procedia", Vol. 18.

Sternberg T., Viles H., Cathersides A. (2011), *Evaluating The Role of Ivy (Hedera helix) in Moderating Wall Surface Microclimates and Contributing to the Bioprotection of Historic Buildings*, "Building and Environment", Vol. 46, Iss. 2.

Susorava I., Angulo M., Bahrami P., Stephens B. (2013), *A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance*, "Building and Environment", Vol. 67.

Wong N.H., Kwang Tan A.Y., Chen Y., Sekar K., Tan P.Y., Chan D., Chiang K., Wong N.C. (2010), *Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls*, "Building and Environment", Vol. 45, Iss. 3.

Possibilities and limitations of the use of plants in reducing the surface temperature of building's facade

Summary

The article presents the possibilities and limitations in the effective use of vegetation as a tool in the fight against high surface temperatures on elevations, especially during sunny days. This work describes and classifies various factors that influence the effectiveness of the use of greenery as a passive tool in the sun protection of a building. The study indicated the large possibilities of using plants in reducing the surface temperature of the building envelope resulting mainly from the diverse and wide selection of both plants and the way they are shaped and introduced into the urban space. The analysis also revealed some limitations that may result from the chosen plant and architectural systems, selected forms or species of plants and climatic and microclimatic factors of a given location. Despite various limitations, a wide range of greenery possibilities combined with measurable effects of plant's influence on the surface temperature of the façade encourage to reach for these kind of solutions.

Key words: surface temperature of building's facade, green facades, greenery, heating of buildings.

Artykuł zaakceptowany do druku w marcu 2019 r.

Afiliacja:
mgr inż. arch. Justyna Janiak
Politechnika Warszawska
Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii
ul. Łukasiewicza 17
09-400 Płock
e-mail: Justyna.Janiak@pw.edu.pl