

Adaptacja hydroponicznego systemu ogrodów wertykalnych do warunków Polskich

Jacek Mojski¹, Hazem Kalaji^{1,2}, Tatiana Swoczyna³,
Małgorzata Milecka⁴, Ewelina Widelska⁴

¹ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach

² Katedra Fizjologii Roślin, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

³ Katedra Ochrony Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

⁴ Katedra Projektowania i Konserwacji Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

* Autor do korespondencji: jacekmojski@gmail.com

STRESZCZENIE

Tereny zielone w miastach stopniowo kurczą się z powodu rozwoju cywilizacyjnego. Tak zwane „ogrody wertykalne” mogą stać się alternatywą dla płaskich obszarów trawników lub klombów w gęsto zabudowanych obszarach, zapewniając poprawę jakości powietrza, korzyści dla lokalnego mikroklimatu, wartości estetycznych oraz ludzkiego zdrowia i dobrego samopoczucia. Stworzenie nowej konstrukcji pionowego ogrodu na ścianie istniejącego budynku wymaga szczególnej uwagi: pionowa konstrukcja ogrodu powinna być stabilna, solidna, lekka i łatwa w montażu. W naszej pracy przedstawiamy konstrukcję do ogrodu pionowego przystosowaną do upraw hydroponicznych ozdobnych roślin zielnych. Budowa została zbudowana na ścianach południowych i północnych na budynku uniwersytetu w Lublinie. W ciągu trzech kolejnych lat monitorowano konstrukcję ogrodu wertykalnego, systemu dostarczania składników odżywczych oraz rośliny. Wyniki wykazały, że zastosowana konstrukcja i system hydroponiczny działały dobrze i były odporne na warunki klimatyczne przez cały rok.

Słowa kluczowe: ogród wertykalny, zielona ściana, zieleń miejska

The adaptation of a hydroponic system in vertical gardens adapted to a Polish climate

ABSTRACT

Green areas in cities are gradually shrinking due to the civilization development. So-called ‘vertical gardens’ may become an alternative for flat areas of lawns or flower beds in densely built-up areas, providing air quality improvement, benefits for local microclimate and aesthetic value for human health and well-being. The establishment of a new construction for the vertical garden on a wall of an existing building needs a specific approach: the vertical garden construction should be stable, robust, lightweight and easy to assembly. In our work, we present the construction for vertical garden adjusted to hydroponic cultivation of ornamental herbaceous plants. The construction was established on both the southern and northern walls on a building in university in Lublin, Poland. During three consecutive years, the construction of a vertical garden, the hydroponic water-and-nutrient supplying system and the plants were monitored. The results showed that the applied construction and hydroponic system worked well and was resistant to climatic conditions throughout the year.

Keywords: vertical garden, green wall, urban greenery

WSTĘP

Tereny miejskie są narażone na emisję zanieczyszczeń związanych z szeroko pojętym rozwojem gospodarczym, komunikacyjnym, mieszka-

niowo-usługowym i przemysłowym [Harrison et al. 2004, Charlesworth et al. 2010]. Źródła emisji i stopień toksyczności zanieczyszczeń mogą drastycznie wpływać na zdrowie i samopoczucie mieszkańców, jak również wszystkich orga-

nizmów żywych występujących w środowisku miejskim [Harrison and Jianxin 2000, Sieghardt et al. 2005]. Tendencja „kurczenia” się terenów zieleni na rzecz nowej zabudowy miejskiej, dróg i parkingów, wpływa również negatywnie na środowisko miejskie, zaburza procesy hydrologiczne i klimatyczne [Arnfield 2003, Hart and Sailor 2009]. Główną przyczyną niekorzystnych zmian w środowisku miejskim jest eliminacja powierzchni i materiałów retencjonujących wodę i oddających ją do środowiska w okresach suchych w wyniku ewaporacji bądź transpiracji [Unkašević et al. 2001]. Dotyczy to wzrostu powierzchni nieprzepuszczających wody, tzn. nawierzchni pieszych i jezdni oraz zabudowy, z których woda opadowa odprowadzana jest do kanalizacji [Sieghardt et al. 2005], a tym samym bezpowrotnie tracona. Ponadto następuje zmniejszanie powierzchni trawników oraz liczby drzew i krzewów, które dzięki transpiracji nawilżają atmosferę [Gillner et al. 2015]. Proces transpiracji zmniejsza dobowe wahania temperatury i poprawia komfort cieplny w otoczeniu [Shashua-Bar and Hoffman 2000, Doick et al. 2014]. Dodatkowo roślinność wykazuje zdolność absorpcji zanieczyszczeń osadzających się na powierzchni liści lub pochłanianych przez aparaty szparkowe (gazy) [Dzierżanowski et al. 2011]. Jednakże postępujące zmniejszanie się terenów zieleni jest nieuniknionym procesem cywilizacyjnym [Mądry and Słysz 2011]. Stąd poszukiwania innowacyjnych rozwiązań, które w przestrzeni zurbanizowanej pozwolą na zwiększenie powierzchni biologicznie czynnych. Od kilkadziesiąt lat promuje się zielone dachy jako alternatywę dla tradycyjnych form zieleni w mieście [Mentens et al. 2006, Yang et al. 2008]. Rozwiązania te mają jednak częściowe znaczenie dla ogółu mieszkańców miasta, gdyż zielone dachy lokalizowane są na wysokościach niedostępnych dla większości użytkowników ulic i placów.

Innym ważnym aspektem obecności roślin w otoczeniu człowieka jest ich wpływ na psychiczny komfort, możliwości regeneracji i zmniejszenie stresu poprzez sam kontakt wzrokowy z roślinnością [Kaplan 2001, White 2011]. Wreszcie wartości estetyczne, jakich dostarcza kompozycja roślinna w dużej skali, nadają prestiż takiej realizacji i mogą stać się elementem autopromocji inwestora [Weber-Siwirska i Skarżyński 2009]. Nowe możliwości realizacji takich kompozycji dają zastosowanie nowoczesnych technologii do stworzenia ogrodu wertykalnego.

W 2015 roku Katedra Projektowania i Konserwacji Krajobrazu z Wydziału Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie brała udział w projekcie badawczym, finansowanym w ramach programu „Wsparcie w ramach Dużego Bonu”, polegającym na opracowaniu konstrukcji „ogrodu wertykalnego do zastosowania zewnętrznego” i pozostałych elementów składowych, w tym doboru materiałów utrzymujących rośliny w układzie wertykalnym. Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz zaprojektowano optymalny system do ogrodów wertykalnych wykonany w systemie hydroponicznym.

ZAŁOŻENIA DO PROJEKTU

Konstrukcja ogrodu wertykalnego przeznaczona będzie do użytku zewnętrznego na elewacjach o dowolnej wystawie, w tym także północnej. Powinna zapewniać sztywność i trwałość całego układu, charakteryzować się niewielką masą (maksimum 25 kg/m²) oraz prostotą w wykonaniu. Powinna opierać się na sprawdzonej technologii. Przewidywane rozmiary konstrukcji na elewacji północnej: 590 cm szerokości, 160,5 cm wysokości oraz na elewacji południowej 580 cm szerokości, 320 cm wysokości.

Rośliny będą uprawiane w systemie hydroponicznym, w którym rośliny są posadzone i uprawiane bezglebowo. W przeciwieństwie do upraw ogrodniczych, rośliny te podlegają złożonym warunkom środowiskowym. Należy również uwzględnić oscylacje temperatury, światła i wilgotności. W warunkach klimatycznych panujących na terenie Polski potencjalnie zwiększa to zagrożenie przemarzania i wypadania zastosowanych roślin. Konstrukcja systemów hydroponicznych musi zostać dostosowana do warunków.

Konstrukcja będzie wyposażona w system nawadniania pracujący całorocznie. System sterowania będzie wyposażony dodatkowo w system automatycznego zapisu danych pomiarowych, które umożliwią określenie parametrów zewnętrznych i reakcji roślin na zmiany temperatury, uwilgotnienia, czy ewentualnego nasłonecznienia.

Konstrukcje ogrodu wertykalnego oparto na się już na sprawdzonej technologii, w której elementem składowym jest sztywna płyta z tworzywa sztucznego, do której przymocowana jest mata tworząca tzw. kieszenie.

Z uwagi na trudne warunki atmosferyczne panujące na terenie Polski oraz wymóg zastosowania opracowywanej konstrukcji na elewacjach o wszystkich wystawach szczególną uwagę poświęcono do opracowania i przebadania elementów ogrodu wertykalnego znajdujących się na zewnątrz budynku (elementy konstrukcyjne ogrodu wertykalnego). Za główne cele postawiono sobie stworzenie odpowiedniej konstrukcji do wykonania ogrodu wertykalnego do zastosowania zewnętrznego przeznaczonego m.in. północne elewacje budynków, który pomimo zwiększonego stopnia izolacyjności (co wiąże się z większą masą) charakteryzował by się niewielką wagą (max 25 kg/m²) oraz prostotą w wykonaniu.

ZAKRES PRAC

Zakres prac zawierał następujące działania:

1. Opracowanie projektowe systemu do wykonywania ogrodów wertykalnych do zastosowania zewnętrznego, przeznaczonego elewacje Polskich budynków włącznie z opracowaniem systemu podlewania i nawożenia ogrodu.
2. Wykonanie testów i badań opracowywanego ogrodu wertykalnego do zastosowania zewnętrznego w warunkach Polskich, w tym m.in.:
 - określenie parametrów konstrukcyjnych,
 - wstępny dobór roślin do zastosowania w wertykalnym ogrodzie,
 - badanie kondycji zastosowanych roślin,
 - badanie wpływu nawożenia na rozwój roślin.

OPIS TECHNOLOGII

Na północnej elewacji zaprojektowano i wykonano ogród wertykalny o wymiarach: 590 cm szerokości oraz 160,5 cm wysokości. Ogród składa się z 220 szt. kieszeni. Na południowej elewacji zaprojektowano i wykonano ogród wertykalny o wymiarach: 580 cm szerokości oraz 320 cm wysokości. Ogród składa się z 462 szt. kieszeni.

Główny szkielet konstrukcji wykonano z profilu kapeluszowego. Profil przymocowano do ściany za pomocą ocynkowanych wkrętów montowanych w kołkach Ø8,0 mm. Profil z blachy stalowej ocynkowanej DX51D o grubości 0,5 mm.

Stelaż z blachy stalowej ocynkowanej zapewnił utrzymanie szczeliny dylatacyjnej między ścianą budynku, a tylną ścianą konstrukcji ogrodu wertykalnego. Szczelina zapewnia strefę

izolacyjną oraz cyrkulację powietrza która jest bardzo ważna z uwagi na systematyczne nawadnianie ogrodu wertykalnego.

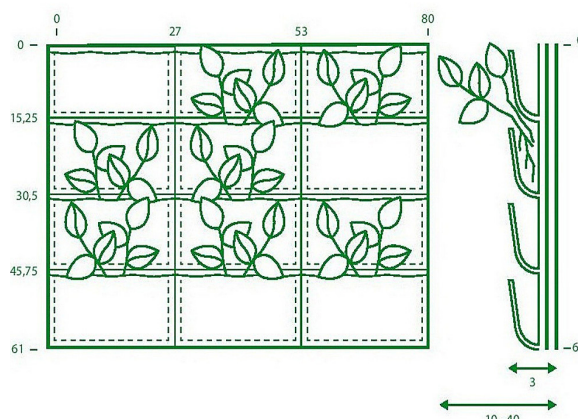
Jako dodatkową izolację (hydroizolację) zastosowano płytę polipropylenową koloru czarnego o grubości 3 mm. charakteryzująca się niewielką wagą (500 g na m²). Gwarantuje to małe obciążenia dla stelaża i konstrukcji ściany budynku, na której jest zainstalowany ogród wertykalny.

Kieszenie utrzymujące rośliny wykonano na płycie polipropylenowej o grubości 10 mm (2000 g na m²), do której przymocowano filc w formie kieszeni. Zastosowano materiał z włókien poliestrowych o masie powierzchniowej: 1000±10% g/m² oraz grubość 12 mm. Wielkość poszczególnych kieszeni to 27 cm szerokości oraz 15,25 cm wysokości (rys. 1).

Na podstawie przeprowadzonych prób stwierdzono, iż jest to optymalna wielkość wykonania kieszeni do utrzymywania roślin w uprawie wertykalnej. Pozwala na swobodne umieszczenie rośliny w jej wnętrzu oraz stabilnie utrzymuje roślinę.

W celu zabezpieczenia korzeni zastosowano filc włókien poliestrowych, o masie powierzchniowej: od 700±10% g/m² oraz grubości od 5-7 mm. Materiał utrzymuje bryłę korzeniową w całości, zapobiega rozpadaniu się korzeni w przygotowanych kieszeniach oraz działa jako izolacja termiczna dla korzeni rośliny.

Ogród wertykalny wyposażono w systemem sterowania nawadniania, który utrzymuje stałą wilgotność przez cały sezon, również w okresie spoczynku roślin, podczas którego szczególnie niebezpieczne może okazać się zjawisko tzw. suszy fizjologicznej.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia kieszeni na jednym panelu zastosowanym do stworzenia ogrodu wertykalnego

Fig. 1. The layout of pockets of a panel used to create a vertical garden

Sterownik nawadniania podłączono do prądu 230 V. Ponadto połączono go z ruterem WI-FI za pomocą którego łączy się z komputerem w celu ustawienia czasów nawadniania oraz czytania danych. Sterownik ma ustawienie sekundowe, co zmniejsza straty wody. Można w nim ustawić dowolny czas nawadniania.

W sezonie letnim ogrody wertykalne podlewano dwa razy dziennie minimum po 30 min. W sezonie zimowym system przestawiano na jednokrotne podlewanie o godz. 12 w południe. Co roku system sterowania przestawiano na podlewanie zimowe gdy pojawiało się zagrożenie wystąpienia przymrozków. Gdy nie występowało zagrożenie ciągłych przymrozków, w końcowych dniach kwietnia, sterownik przestawiano na podlewanie w systemie letnim. Do sterownika podłączono czujnik wilgotność gleby rośliny wskaźnikowej oraz stację pogodową monitorującą temperaturę powietrza. Roślina wskaźnikowa w której jest zamontowany czujnik umieszczono w górnej części ogrodu wertykalnego.

Gdy w sezonie zimowym temperatura powietrza osiągała 2 °C oraz czujnik wilgotności gleby wykazywał wynik niższy od średniego, system uruchamiał się. Aby zapobiec zamarznięciu rur oraz użytych kroplowników zastosowano sprężarkę do oczyszczania systemu z wody. Po zakończeniu podlewania sterownik uruchamiał podłączoną do sterownika sprężarkę która sprężonym powietrzem w ciągu ok 30 s czyściła system (rys. 2).

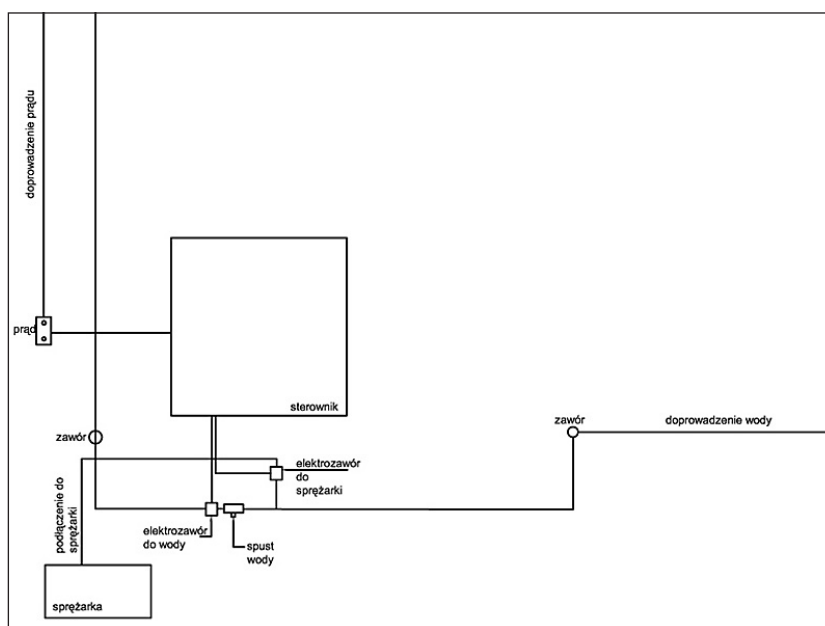
Aby w przypadku nagłej zmiany temperatury zapobiec zamarznięciu ryny zbiorczej, do ryny podłączono przewód ogrzewający. W okresie letnim przewód grzewczy oraz sprężarkę odłączano.

Elementy które zastosowano do zmontowania systemu sterowania podlewania ogrodu wertykalnego to:

- centrala automatyki Fibaro Home Center z dwoma modułami wejść/wyjść;
- zasilacz impulsowy 12V, 60W, dwa przekaźniki w podstawkach na szynę DIN;
- elektrozawory 2N15 1/2 cala 0-16bar 12V NC;
- kabel grzewczy ZG260 podwójnie izolowany, z dwoma żyłami grzejącymi, moc 260 W, długość 17 m;
- kompresor bezolejowy 8 bar 1100 W.

Zastosowano czujnik gleby i materiałów sypkich - LB-797 - z wyjściem analogowym 0-10 V. Czujniki temperatury DS18B20. W stacji pogodowej zastosowano czujnik temperatury i wilgotności DHT 22 montowany w obudowie radiacyjnej. Czujnik mierzy temperaturę z zakresu -40 °C do 125 °C oraz wilgotność powietrza od 0% do 100%RH. Błąd pomiarowy mieści się w zakresie ± 0.5 °C dla temperatury oraz $\pm 5\%$ RH dla wilgotności.

Na ścianie o wystawie południowej do systemu sterowania przed i za ogrodem wertykalnym podłączono czujniki temperatury. W okresie 3 lat rejestrowano pomiary temperatury na zewnątrz ogrodu wertykalnego oraz w przestrzeni powietrza pomiędzy ogrodem wertykalnym a ścianą na której został powieszony ogród.



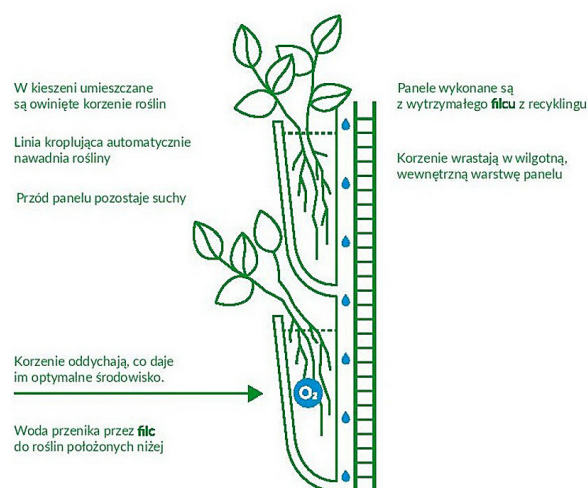
Rys. 2. Schemat systemu sterowania
Fig. 2. Diagram of the control system

Ponadto na obu ścianach rejestrowano dane pomiarowe wilgotności powietrza oraz wilgotności gleby. Pomiary rejestrowano z częstotliwością 5 sekund.

Do doprowadzenia wody na szczyt ogrodu wertykalnego oraz do rozprowadzania wody pomiędzy kroploownikami zastosowano rurę o przekroju $\varnothing 16$ mm.

W górnym rzędzie kieszeni, w każdej z nich umieszczono po jednym kroplowniku z kompensacją ciśnienia o wydajności 4 litry na godzinę. W sumie na każdym ogrodzie zastosowano po 22 emitery o łącznej wydajności 88 litrów/godzinę/ścianę. W trakcie nawadniania oraz po jego zakończeniu woda spływa z górnych poziomów wzdłuż ogrodu wertykalnego do rynny zbiorczej nawadniając całą ścianę (rys. 3).

Dłuższy i krótszy czas nawadniania pozwala na dozowanie odpowiednich ilości wody. Ciężkie robocze przy którym otwierają się kroploowniki to 0,5 at. W celu zebrania nadmiaru wody i od-



Rys. 3. Przekrój poprzeczny ogrodu wertykalnego
Fig. 3. Cross-section of a vertical garden

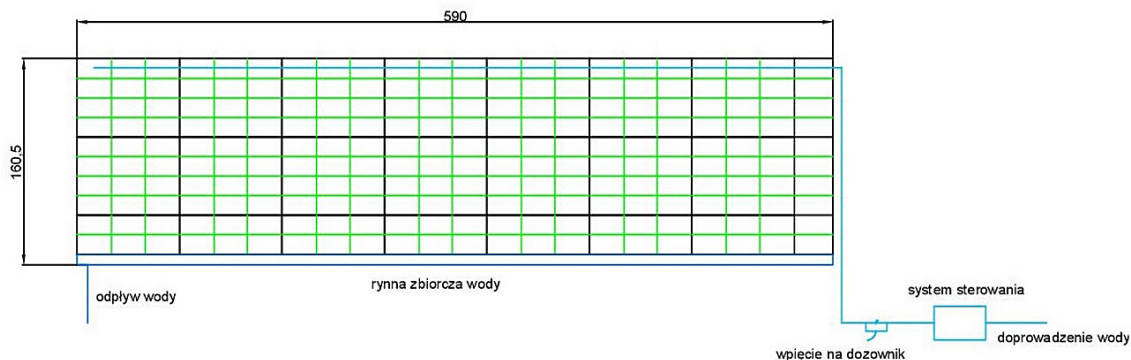
prowadzenia go do kanalizacji na dole ogrodów wertykalnych zastosowano rynny zbiorcze wykonane ze stali nierdzewnej. Wymiar rynny w przekroju poprzecznym to: $5 \times 5 \times 8$ cm (szerokość \times głębokość \times wysokość). Rynny podłączono bezpośrednio do studzienki kanalizacyjnej. Ogrody wertykalne podłączono do bieżącej wody pochodzącej z ujęcia miejskiego (rys. 4).

Na linii doprowadzającej wodę zostały wyposażone w dozownik inżektorowy do dozowania nawozów do fertygacji. Na badanym obiekcie zastosowano 3 typy nawożenia: nawożenie dolistne, nawożenie doglebowe za pomocą nawozów długo-działających podawanych za pomocą tabletek oraz nawożenie doglebowe podawane za pomocą dozownika z zastosowaniem nawozów do fertygacji.

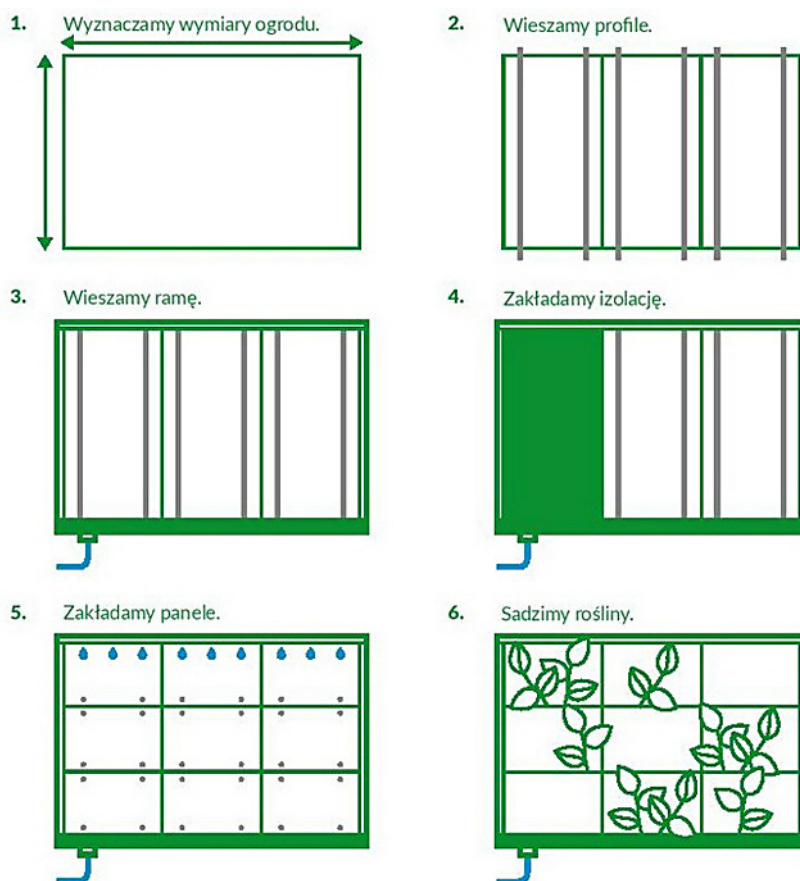
Poszczególne elementy ogrodów montowano w odpowiedniej kolejności (rys. 5):

- 1) Wyznaczono obszary, które mają zająć zielone ściany: elewacja północna 590 cm szerokości i 160,5 cm wysokości, elewacja południowa 580 cm szerokości i 320 cm wysokości.
- 2) Rozmierzono i powieszono profile które następnie wykorzystano do powieszenia ogrodów wertykalnych.
- 3) Zamontowano rynny zbiorcze ze stali nierdzewnej i zainstalowano w niej kabel grzejny ZG260.
- 4) Wykonano izolację zabezpieczającą ściany na której wisi konstrukcja ogrodu.
- 5) Zamontowano system kieszeni będących nośnikami dla roślin oraz podłączono system nawadniania.
- 6) Przygotowanymi wcześniej roślinami obsadzono ogrody wertykalne (rys. 6).

Do przygotowania roślin wykorzystano filc z włókien poliestrowych, o masie powierzchniowej od $700 \pm 10\%$ g/m² oraz grubości od 5-7



Rys. 4. Schemat zasilania ogrodu wertykalnego
Fig. 4. Plan of a verticle garden's power supply



Rys. 5. Schemat montażu poszczególnych elementów składowych ogrodu wertykalnego
 Fig. 5. Diagram of the assembly of individual components of a vertical garden



Rys. 6. Roślina gotowa do obsadzenia ogrodu wertykalnego Koeleria glauca
 Fig. 6. A prepared plant for a verticle garden (Koele-
 ria glauca)

mm. o rozmiarze 30×30 cm. Przy przygotowaniu rośliny do gleby dodano domieszkę perlitu (0% perlit, 50% gleba) do zaprawienia korzeni roślin.

Materiały potrzebne do zbudowania zewnętrznego ogrodu wertykalnego po zamontowaniu i podlaniu roślin nie przekraczały masy 25 kg/1 m².

WYNIKI TRZYLETNIEJ ELSPLOATACJI

W trakcie trzyletniej eksploatacji elementy konstrukcji nie uległy zniszczeniu. System pomiarowy rejestrował wszystkie przewidziane parametry. System nawadniania działał bez awarii. Eksploatacja ogrodów wertykalnych nie spowodowała zmian w wyglądzie i stanie technicznym elewacji. Zanotowano zróżnicowanie wzrostu poszczególnych gatunków roślin w trakcie każdego okresu wegetacyjnego (artykuł w przygotowaniu). Okresy zimowe skutkowały eliminacją niektórych gatunków wskutek niskich temperatur (artykuł w przygotowaniu). Nie stwierdzono uszkodzeń roślin związanych z dysfunkcjami układu nawadniania lub pozycją roślin na konstrukcji.

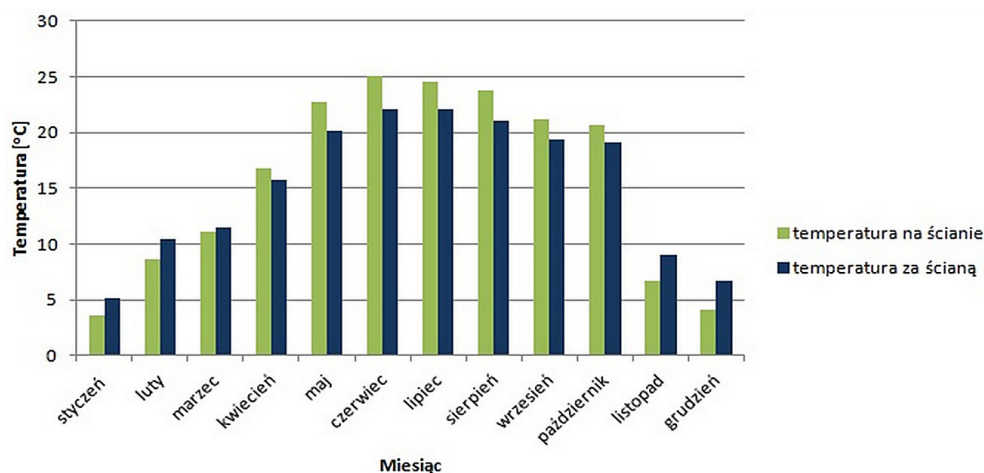
Na podstawie pomiarów kamerą termowizyjną oraz zarejestrowanych pomiarów temperatury powietrza rejestrowanej przed ogrodem werty-

kalnym oraz za jego powierzchnią stwierdzono, że konstrukcja ogrodu oraz roślinność posadzona na jego powierzchni pozytywnie wpływa na elewację budynku.

Stwierdzono, że wykonana konstrukcja w miesiącach letnich zmniejsza nagrzewanie się elewacji a w miesiącach zimowych hamuje jej wychładzanie (rys. 7). W miesiącu z najniższą średnią temperaturą powietrza (styczeń 2016 r.) różnica pomiędzy temperaturą za i przed ścianą wynosiła w dzień średnio 0,69 °C natomiast w nocy 2,09 °C. Zarówno w dzień jak i w nocy wyższa temperatura była za ogrodem wertykalnym. Skutkowało to wolniejszym wychładzaniem się budynku (rys. 8).

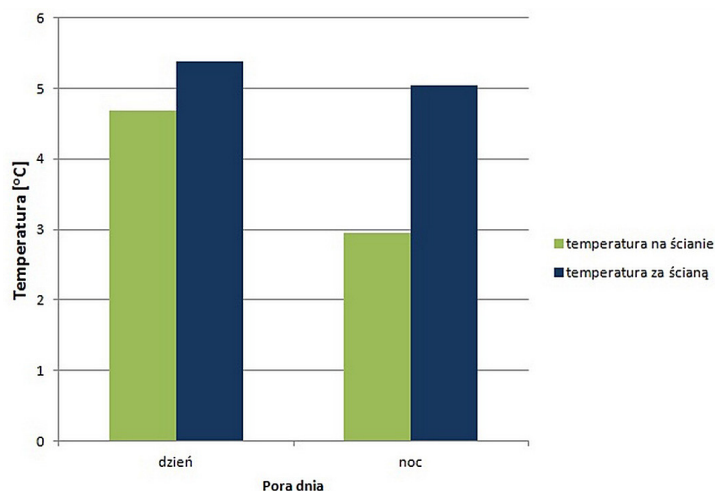
W miesiącu z najwyższą średnią temperaturą powietrza (czerwiec 2016 r.) różnica pomiędzy temperaturą za i przed ścianą wynosiła w dzień średnio 4,68 °C i była niższa za zieloną ścianą. Powodowało to wolniejsze nagrzewanie się budynku oraz mogło skutkować mniejszym nakładem energii wykorzystanym do schłodzenia wnętrza budynku. W nocy różnica wyniosła średnio 1,82 °C i była niższa przed ogrodem wertykalnym. Świadczy to o wolniejszym wychładzaniu się budynku a co za tym idzie o mniejszych amplitudach temperatur na elewacji (rys. 9).

Konstrukcja z roślinami wpływa również na zmniejszenie różnic temperatur pomiędzy



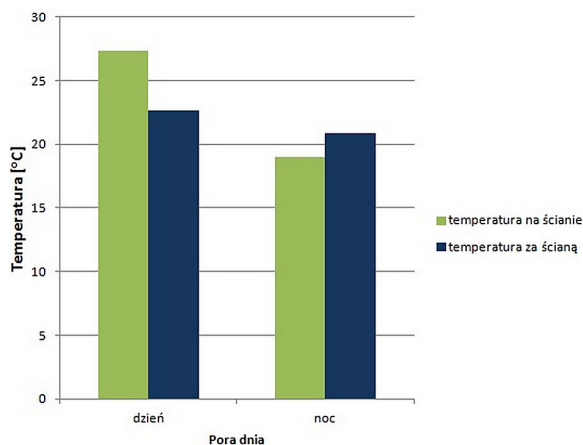
Rys. 7. Średnie temperatury w dzień i w nocy za i przed ścianą w poszczególnych miesiącach roku w okresie 12 miesięcy - elewacja południowa (2016 r.)

Fig. 7. Average temperature on a south facing vertical garden during the day and night both behind and in front the wall over 12 month period (2016)

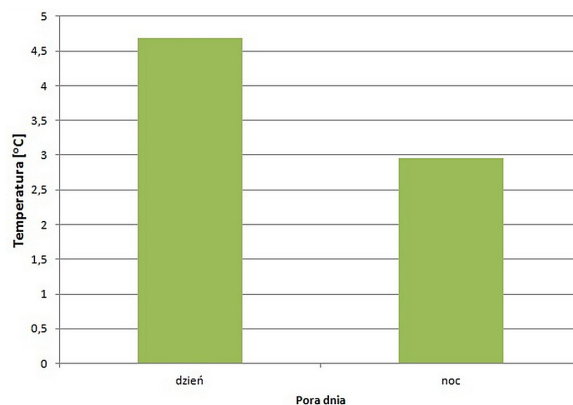


Rys. 8. Średnie temperatury w dzień i w nocy za i przed ścianą w okresie miesiąca z średnią najniższą temperaturą w roku - elewacja południowa (styczeń 2016 r.)

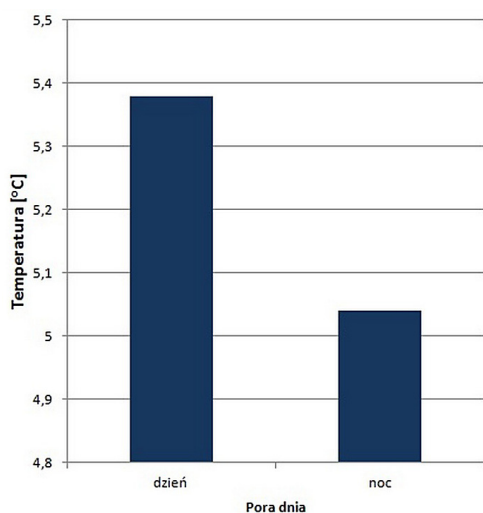
Fig. 8. Average temperature during the day and night in front of and behind the wall during the month with the lowest average temperature of the year - South facing (January 2016)



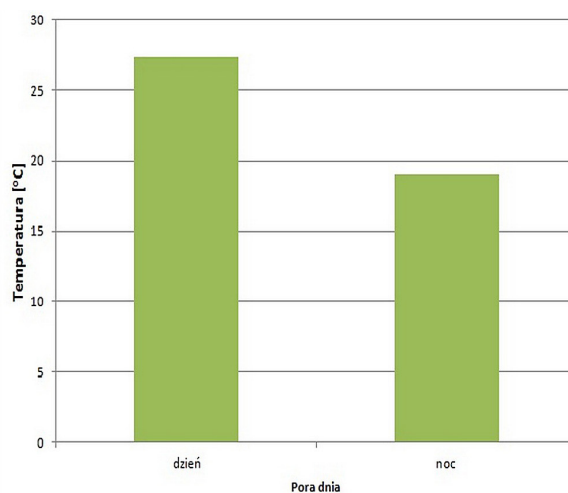
Rys. 9. Średnie temperatury w dzień i w nocy za i przed ścianą w okresie miesiąca z średnią najwyższą temperaturą w roku - elewacja południowa (czerwiec 2016 r.)
Fig. 9. Average temperature during the day and night in front of and behind the wall during the month with the highest average temperature of the year - South facing (January 2016)



Rys. 10. Średnie temperatury w dzień i w nocy przed ogrodem werdykalnym w okresie miesiąca z średnią najniższą temperaturą w roku - elewacja południowa (styczeń 2016 r.)
Fig. 10. Average temperature during the day and night on the vertical garden during the month with the average lowest temperature of the year - south facing (January 2016)



Rys. 11. Średnie temperatury w dzień i w nocy za ogrodem werdykalnym w okresie miesiąca z średnią najniższą temperaturą w roku - elewacja południowa (styczeń 2016 r.)
Fig. 11. Average day and night temperature behind the vertical garden in the month with the average lowest temperature of the year - south facing (January 2016)

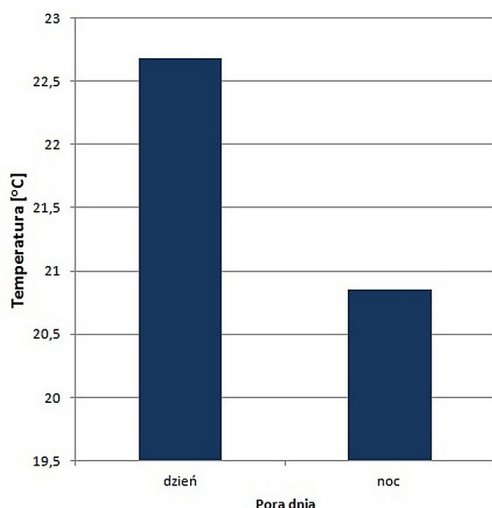


Rys. 12. Średnie temperatury w dzień i w nocy przed ogrodem werdykalnym w okresie miesiąca z średnią najwyższą temperaturą w roku - elewacja południowa (czerwiec 2016 r.)
Fig. 12. Average temperature during the day and night on the vertical garden in the month with the average highest temperature of the year - south facing (June 2016)

dniem i nocą na elewacji budynku. Amplituda temperatur pomiędzy dniem i nocą w miesiącu styczniu 2016 r. wynosiła na ścianie średnio 1,74 °C a za ścianą tylko 0,34 °C (rys. 10 i 11). Natomiast amplituda temperatur pomiędzy dniem i nocą w miesiącu czerwcu 2016 r. wynosiła na ścianie średnio 8,33 °C a za ścianą 1,83 °C (rys. 12 i 13).

PODSUMOWANIE

Podczas obserwacji prowadzonych w czasie opracowania stwierdzono, że przyjęta technologia umożliwia określenie wymagań produkcyjnych dla tego typu rozwiązania. Badania wykazały znaczną przydatność zastosowanej konstrukcji jak i niezawodność systemu sterowania



Rys. 13. Średnie temperatury w dzień i w nocy za ogrodem wertykalnym w okresie miesiąca z średnią najwyższą temperaturą w roku - elewacja południowa (czerwiec 2016 r.)

Fig. 13. Average temperature during the day and night behind the vertical garden in the month with the average highest temperature of the year - south facing (June 2016)

zastosowanego dla utrzymania stałej wilgotności w okresie wzrostu roślin. Stworzony system posiada o dobre parametry izolacyjne dla roślin, zintegrowany system dozowania nawozów oraz niezawodny system podlewania działający cały rok. Wyciągnięto wnioski w stosunku co do możliwości zastąpienia dozownika inżektorowego tradycyjnymi metodami nawożenia (dozowanie dolistne, bezpośrednio do kieszeni nawozami Osmocote). Pomimo iż struktura oraz gęstość zastosowanych materiałów wykorzystanych do stworzenia ogrodu wertykalnego do zastosowania m.in na północne elewacje zwiększyły się to założona końcowa waga ogrodu wertykalnego po podlaniu nie przekroczyła 25 kg/m².

System stworzony jest w taki sposób że możliwe jest eksperymentowanie i sprawdzanie coraz to innych, nowych gatunków roślin. System, w porównaniu z innymi rozwiązaniami spotykanymi w Polsce wyróżnia się niską wagą, przepuszczalnością powietrza oraz większą możliwością rozwoju korzeni roślin. System pozytywnie wpływa na elewację budynku skutecznie zmniejszając wahania temperatur w miesiącach zimowych i letnich. W zimie hamuje wychładzanie budynku a w lecie powstrzymuje nadmierne nagrzewanie się elewacji co w rezultacie wiąże się z oszczędnością energii zużytej do ogrzewania w zimie lub ochładzania w lecie budynku. Dzięki

ograniczeniu wahanom temperatury pomiędzy dniem i nocą pozytywnie oddziałuje na eksploatację materiałów budowlanych wykorzystanych do budowy budynku. Ponadto konstrukcja sama w sobie jest naturalną barierą chroniącą budynek przed działaniem warunków klimatycznych m.in. deszczu, śniegu lub wiatru.

BIBLIOGRAFIA

1. Arnfield A.J., 2003. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology* 23, 1-26.
2. Charlesworth S., De Miguel E., Ordóñez A., 2010. A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to consideration of risk. *Environmental Geochemistry and Health*. 21 ss. Wersja on-line First 14th June 2010. DOI 10.1007/s10653-010-9325-7.
3. Doick K.J., Peace A., Hutchings T.R., 2014. The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of Total Environment* 493, 662-671.
4. Dzierżanowski K., Popek R., Gawrońska H., Sæbø A., Gawroński S.W., 2011. Deposition of Particulate Matter of Different Size Fractions on Leaf Surfaces and in Waxes of Urban Forest Species. *International Journal of Phytoremediation* 13 (10), 1037-1046.
5. Gillner S., Korn S., Roloff A., 2015. Leaf-gas exchange of five tree species at urban street sites. *Arboriculture & Urban Forestry* 41(3), 113-124.
6. Harrison R.M., Jones A.M., Lawrence R.G., 2004. Major component composition of PM₁₀ and PM_{2.5} from roadside and urban background sites. *Atmospheric Environment* 38, 4531-4538.
7. Harrison R.M., Jianxin Y., 2000. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *The Science of Total Environment* 249, 85-101.
8. Hart M.A., Sailor D.J., 2009. Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology* 95, 397-406.
9. Kaplan R., 2001. The nature of the view from home: Psychological benefits. *Environment and Behavior* 33, 507-542. DOI: 10.1177/00139160121973115.
10. Mądry T., Słysz K., 2011. Biologically Active Surfaces in Urban Planning (in Polish). *Urban Development*, Iss. III-IV, 93-104.
11. Mentens J., Raes D., Hermy M., 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Ur-*

- ban Planning 77, 217–226.
12. Shashua-Bar L., Hoffman M.E., 2000. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings* 31, 221-235.
 13. Sieghardt M., Mursch-Radlgruber E., Paoletti E., Couenberg E., Dimitrakopoulos A., Rego F., Hatzistathis A., Randrup T.B., 2005. The abiotic urban environment: impact of urban growing conditions on urban vegetation. W: Konijnendijk C.C., Nilsson K., Randrup T.B., Schipperijn J., (Red.), *Urban Forests and Trees*. Springer, Berlin, 281-323.
 14. Unkašević M., Jovanović O., Popović T., 2001. Urban-suburban/rural vapour pressure and relative humidity differences at fixed hours over the area of Belgrade city. *Theoretical and Applied Climatology* 68, 67-73.
 15. Weber-Siwirska M., Skarżyński D., 2009. Pionowe ogrody jako potencjalna atrakcja turystyczna. *Nauka Przyroda Technologie* 3, 1, #42.
 16. White E.V., 2011. Greenery on residential buildings: does it affect preferences and perceptions of beauty? *Journal of Environmental Psychology* 31, 89-98.
 17. Yang J., Yu Q, Gong P., 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment* 42, 7266–7273.