

Kinga Zinowiec-Cieplik
Politechnika Warszawska

POTENCJAŁ INTEGRACJI FORM ROŚLINNYCH Z ARCHITEKTURĄ – ŚRODOWISKO I TECHNIKA

Streszczenie

Współczesne poszukiwania zrównoważonego i trwałego miejskiego środowiska są bardzo intensywnie. Zieleni staje się jednym z ważniejszych obiektów badawczych. Integralna rola natury w kształtowaniu warunków zdrowego życia jest niepodważalna. Historia współczesnej idei zielonej architektury, w tym integracji form roślinnych z budynkami, sięga XX-wiecznych idei modernistycznych przefiltrowanych przez ruch ekologiczny lat 60. Potencjał hybryd roślinno-architektonicznych wzrasta, zwłaszcza w przestrzeniach intensywnej śródmiejskiej zabudowy.

Słowa kluczowe: zielona architektura, zielone dachy, zielone elewacje, ogrody wertykalne, funkcje i potencjał zieleni.

Wstęp

Poszukiwania zrównoważonego i trwałego środowiska miejskiego współcześnie są bardzo intensywnie. Zieleni staje się jednym z ważniejszych obiektów badawczych. Integralna rola środowiska przyrodniczego w kształtowaniu warunków zdrowego życia jest niepodważalna. Różnorodność funkcji roślinności jest coraz lepiej rozpoznana, m.in.: środowiskowych, społecznych, kulturowych i technicznych. Bez powiązań rozwiązań środowiskowych z technicznymi współczesna integracja form roślinnych z architekturą byłaby niemożliwa. Projektowane systemy zieleni na budynkach pełnią m.in. role:

1. środowiskowe (Szumacher 2005)
 - klimatyczne (Szczepanowska 2001; Borowski 2013; Baryła i in. 2015),
 - biotyczne (Philips 2013),
 - hydrologiczne (Schmitd 2015; Wolski 2013),
 - fitoremediacyjne (Gawroński i in. 2000; Singh, Ma 2007),
 - ekologiczne gleb (Durán, Rodríguez 2008);
2. techniczne – wpierające/symbiotyczne z architekturą
 - izolacja termiczna elewacji oraz stropów (Arpon 2016; Wong i in. 2003; Pisello i in. 2015),
 - izolacja ogniowa elewacji oraz stropów,

- zabezpieczenie pokryć dachowych i elewacji przed uszkodzeniami (Celadyn 1992),
- zabezpieczenie przed wilgocią,
- izolacja akustyczna (Azkora i in. 2015).

Badania prowadzone od blisko 50 lat są współcześnie intensyfikowane w kontekście zagrożeń płynących m.in. ze zmian klimatycznych, zanieczyszczenia i degradacji środowiska. Świat roślinny, w nowoczesnej formie, zaczął przenikać architekturę, która poszukuje nowego prośrodowiskowego języka. Historia współczesnej idei integracji form roślinnych z budynkami sięga XX-wiecznych modernistycznych programów przefiltrowanych przez ruch ekologiczny lat 60. (Celadyn 1992; Wines 2000; Zinowiec-Cieplik 2016).

Antropocen – nowoczesne środowisko

W 2016 roku w Oslo odbyło się spotkanie Grupy Roboczej Antropocenu (Anthropocene Working Group), którego efektem było zgłoszenie terminu „antropocenu” jako nowej epoki geologicznej do zatwierdzenia przez Międzynarodową Unię Geologiczną. Antropocen został wprowadzony do szerszego dyskursu naukowego w 2000 roku (Crutzen, Stoermer 2000) jako określenie dla epoki geologicznej, charakteryzującej się ogromnymi, nieodwracalnymi skutkami spowodowanymi działalnością człowieka, m.in.: erozja osadów związana z procesami antropogenicznymi (np. rolnictwo, urbanizacja), pociąga za sobą nieodwracalne zmiany siedliskowe (*Anthropocene Defined*). Nadal otwartą kwestią pozostaje ustalenie początku ery antropocenu, natomiast nie sam fakt, że żyjemy już w jego okresie, czego dowodem są m.in. studia w zakresie zmian siedliskowych ekosystemów miejskich.

Badania nad powstającymi współcześnie tzw. nowoczesnymi ekosystemami (Hobbs 2006; Morse i in. 2014), miejskimi siedliskami 4 natury (Kowarik 2005) oraz kosmopolitycznymi roślinami (Tredici 2010; 2014) udowadniają tezę o epoce antropocenu, pokazują rangę tych nowoczesnych zbiorowisk w przestrzeni miasta. Do nowoczesnych ekosystemów należy podchodzić z rezerwą w myśl zasady: „Chroń naturalne. Akceptuj/zarządzaj nowoczesnymi. Bądź stale w gotowości: pytaj, monitoruj, myśl, ucz się i adaptuj” (Jordan 2013). Stają się one jednak coraz ważniejsze z racji ich przystosowania i potencjalnej trwałości w zmienionym przez człowieka środowisku. Jest to odpowiedź świata przyrody na zmianę zainicjowaną rozwojem gospodarczym. Do takich zbiorowisk można zaliczyć także roślinność porastającą architekturę (Obendorfer i in. 2007; Lundholm 2015): zielone dachy, zielone elewacje oraz ogrody wertykalne.

Najlepiej rozpoznane są formy zielonych dachów (Köhler 2006; Szajda-Binfeld i in. 2012; Burszta-Adamiak 2015), dużo mniej pokryte pnączami elewacje (Borowski 1996; Mazzali i in. 2012; Schmidt 2015) oraz ogrody wertykalne

(Obendorfer i in. 2007; Perini, Ottel  2012) to domena badań XXI wieku. Do najnowszych roslinnych form elewacyjnych nalezy zaliczy  bioreaktory algowe, ktore dopiero toruja sobie droge do szerszego zastosowania poprzez realizacje prototypowe (ecoLogicStudio) czy budynek BIG (Splitterwerk Architects and Arup) otwarty 2014 roku.

Mimo iz badania poszczegolnych elementow roslinnych pokrywajacych architekture sa na rozny stopniu zaawansowania to funkcjonalnosc poszczegolnych form roslinnych coraz bardziej jest udowodniana, a powiazane z nimi korzysci moga dac argumenty za ich szerszym wykorzystywaniem.

Funkcje srodowiskowe

Funkcje klimatyczne

Podstawowymi zadaniami roslinnosci jest pochlanianie CO₂ i wydalanie O₂ do atmosfery w procesie fotosyntezy. Dlatego kazde zwiekszenie powierzchni roslinnych zwlaszcza w scislym centrum miast bedzie sukcesem. Wiele badań wskazuje na skutecznosc zintegrowanej roslinnosci z architekture w obnizaniu temperatury czyli w walce z miejska wyspa ciepla (Obendorfer i in. 2007). Schladzanie powietrza nad zielonym dachem w stosunku do dachu konwencjonalnego w dni upalne moze wynosic nawet 30 C (Wong i in. 2003). Badania wskazuja srednia roznicz dla dachow 7 C (Baryl i in. 2015) oraz 14 C dla elewacji porytych pnaczami (Coma i in. 2013) – moga one redukowac temperature nawet o 10 C (Carpenter 2008). Przy zalozeniu, ze blisko 30% dachow w miescie (Frazer 2005) stanowia dachy plaskie (latwe do pokrycia zielenia) moga okazac sie bardzo istotne w budowaniu zrownowazonego srodowiska miejskiego. Takze wertykalne ogrody pelnia podobne funkcje i moga obnizac temperature o 10 C (Perini, Ottel  2012). Roslinne formy powiazane z architekture, dzieki procesom transpiracji i ewaporacji, podnosza wilgotnosc powietrza schladzaja najblizsze otoczenie, zapobiegaja ruchom wstepujacym powietrza, unoszenia sie kurzu i innych zanieczyszczen (Szajda-Brinfeld i in. 2012). Slabo rozpoznany jest wplyw zielonych form zintegrowanych z budynkiem na przeplyw wiatrow (np. ograniczanie i redukcja silnych wiatrow) oraz przewietrzanie. Choć funkcja ta zostala wyszczegolniona przez prof. Wacława Celadyna (1992), to wieksznosc badaczy skupionych na ruchach powietrza w miescie rozpatruje je w kontekscie pochlaniania zanieczyszczen przez rosliny badz wplywu wiatru na schladzanie/ocieplanie klimatu w tym roli wiatru w przemieszczaniu cieplych i/lub schlodzonych przez rosliny mas powietrza.

Funkcje biotyczne

Roślinne elewacje, jak i zielone dachy zyskują na znaczeniu biocenotycznym. Wysiłki o zachowanie bioróżnorodności są ważnym aspektem projektowania pro środowiskowego. Miejskie przestrzenie śródmieść i centrów miast z racji zagęszczenia zabudowy są wybitnie narażone na zubożenie gatunkowe (Alberti i in. 2003). Dlatego zielen porastająca budynki w takich rejonach będzie zyskiwać funkcje siedlisk przyrodniczych. Zielone dachy oraz wertrykalne ogrody i pokryte pnączami elewacje są przez wielu badaczy traktowane jako formy ekosystemowe (Obendorfer i in. 2007). Stają się miejscem bytowania zagrożonych gatunków roślin, drobnych zwierząt – zwłaszcza ptaków i owadów (Kadas 2006; Lundholm 2006; Brenneisen 2006). Badania pokazały, że na zielonych dachach Bazylei zidentyfikowano 13 gatunków chrząszczy oraz 7 gatunków pająków z Czerwonej Księgi Gatunków Zagrożonych (Brenneisen 2006). Zielone dachy stają się nie tylko uzupełnieniem, ale ważną składową ochrony oraz restytucji zagrożonych organizmów. Postuluje się, aby zazieleniadne formy architektoniczne były postrzegane w kategoriach obiektów strategicznych w planowaniu i ochronie krajobrazu oraz jego zasobów przyrodniczych (Brenneisen 2006).

W XXI wieku nowa funkcja biotyczna pojawiła się dla zieleni zintegrowanej z architekturą – użytkowa. Zielone dachy i elewacje (Weinmaster 2009; Utami, Jayadi 2012) są wykorzystywane jako przestrzeń upraw użytkowych, tzw. *urban farming*, gdzie rosną zioła, warzywa, a na dachach również niewielkie drzewa owocowe (np. osiedle Sargfabrik w Wiedniu – ilustracja 1), gdzie można min. ustawiać ule (np. miejskie pszczoły na dachu Pałacu Kultury w Warszawie – ilustracja 2) a jakość miodu jest nierzadko lepsza niż z wiejskich pożytków (Dreisettl 2016). Natomiast elewacje bioreaktorów glonowych produkują biomasę, z której następnie powstaje biopaliwo (budynek BIG w Hamburgu 2013).

Ilustracja 1. Funkcja użytkowa zielonego dachu z początku lat 90. XX w. w osiedlu Sargfabrik w Wiedniu – spontaniczne uprawy użytkowe mieszkańców



Źródło: archiwum autora.

Ilustracja 2. Miejskie pszczoły na dachu Pałacu Kultury w Warszawie



Źródło: <http://www.um.warszawa.pl/aktualnosci/miejskie-pszczo-y-na-dachu-pa-acu-kultury-i-nauki> [dostęp: 15.09.2017].

Funkcje hydrologiczne

Od blisko 20 lat systemy dachów zielonych postrzegane są jako ważny element gospodarowania wodą, ograniczania spływu powierzchniowego powiązanego z retencją i oczyszczaniem (Getter i in. 2007). Najgłośniejszym założeniem, które współcześnie uważa się za ikonę takich rozwiązań jest berliński kompleks Placu Poczdamskiego, z powierzchnią 323 tys. m² zielonych dachów (ilustracja 3) co stanowi 64% wszystkich dachów kompleksu. System powiązany jest w zielono-błękitną infrastrukturę retencji i oczyszczania wody opadowej projektu pracowni Dreiseitl. Zieleń dachowa przechwytuje część wody opadowej, a resztę odprowadza się do podziemnych cystern, które dostarczają ją do ponadhektarowego (1,2 ha) systemu ozdobnych basenów (proj. Renzo Piano). Woda, zanim trafi do zbiorników, jest oczyszczana w naturalnych złożach filtracyjnych, a nadmiar wykorzystywany jest do spłukiwania toalet okolicznych budynków.

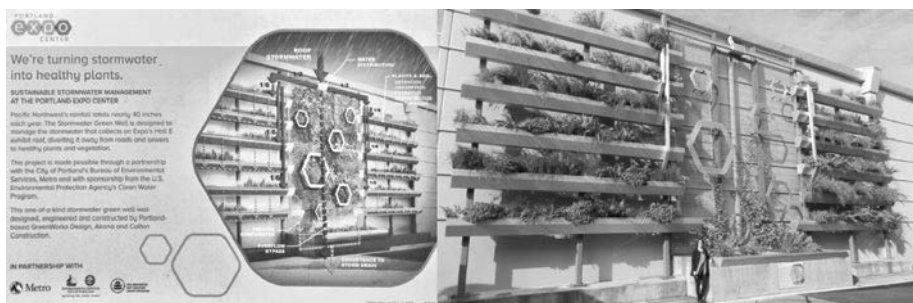
Ilustracja 3. Zielone dachy Placu Poczdamskiego



Źródło: jak w ilustracji 1.

Badania dowodzą, że 10 cm warstwa roślinna ma zdolność ograniczania nawet do 50% spływu z dachu w ciągu roku (Carpeneter 2008). Najbardziej pożądanym rozwiązaniem jest zachowanie/zagospodarowanie całej wody opadowej z możliwością jej przesączania do gruntu i dalej do warstw wodonośnych (np. osiedle Mokotów Park w Warszawie Solarek – Ryńska, Mirecka 2016). Zielone elewacje oraz ogrody wertykalne mają mniejsze zastosowanie w gospodarce wodnej. Mimo to wchodzą w układy błękitnej infrastruktury jako obiekty nawadniane szarymi ściekami, lub wodą opadową (np. Budynek Wydziału Fizyki Uniwersytetu Humbolta w kampusie Adlershof w Berlinie) oraz formy retencjonujące poprzez systemy substratowe ogrodów wertykalnych (Stav 2008). Mogą być również stosowane do oczyszczania wody przy wykorzystaniu złoża korzennych jak w przypadku Portland Expo Center Stormwater Green Wall (ilustracja 4).

Ilustracja 4. System retencji i oczyszczania wody zintegrowany z ogrodem wertykalnym – Portland Expo 2014)



Źródło: <https://www.portlandoregon.gov/bes/article/583804?archive=2016-07> [dostęp: 15.09.2017].

Funkcje fitoremediacyjne

Badania nad fitoremediacją wskazują wiele roślin przydatnych w wychwytywaniu różnorodnych zanieczyszczeń (Gawroński i in. 2000). Odpowiedni dobór gatunków o zdolnościach fitoremediacyjnych dla hybryd roślinno-architektonicznych (Francis, Lorimer 2011) może być skutecznym narzędziem w walce z zanieczyszczeniem powietrza centrów miast. W przypadku zielonych dachów oraz pokrytych roślinnością elewacji, duże znaczenie będzie miało wychwytywanie zanieczyszczeń pyłowych osadzających się na liściach. Badania nad zagadnieniem zastosowania roślin fitoremediacyjnych na elewacjach oraz dachach wymagają dalszych badań.

Funkcje ekologiczne

Podłoże, w którym sadzone są rośliny zintegrowane z architekturą jest bardzo silnie przetworzone, sztuczne oraz specjalnie przystosowane do specy-

ficznych warunków i wymagań, m.in. obciążenia i rozwiązań konstrukcyjnych. Firmy inwestujące w rozwój branży zielonych technologii dla budownictwa, patentują i chronią tajemnicą skład podłoży dla roślin. Natomiast badacze wskazują potrzebę większego przystosowania tych podłoży dla potrzeb roślin i bytujących w symbiozie z nimi pajęczaków oraz chrząszczy (Brenneisen 2006). Ciekawym przystosowaniem dla rozwoju stawonogów i łatwym w zastosowaniu może być pozostawianie w podłożu drewnianych próchniejących pieńków – miejsca bytowania larw owadów, jak np. na dachu Centrum Ekologicznego Ökowerk w Berlinie (ilustracja 5). Funkcja ekologiczna gleb pełniona przez rośliny sadzone na dachach i elewacjach jest bardzo mocno zredukowana lub zupełnie nie występuje, nie mniej jednak w przypadku spadzistych zielonych pokryć architektonicznych, roślinne funkcje zabezpieczania przed erozją będą bezsporne.

Ilustracja 5. Próchniejące pieńki jako miejsce dla rozwoju larw owadów na zielonym dachu w Ökowerk w Berlinie



Źródło: jak w ilustracji 1.

Funkcje techniczne – wspierające/symbiotyczne z architekturą

Funkcje izolacji termicznej elewacji oraz stropu.

W zakresie izolacji termicznych duże zainteresowanie budzą badania skupione na ocenie możliwości oszczędności energetycznej uzyskanych przy wykorzystaniu roślinnych pokryć budynku (elewacji i dachów). W zależności od rodzaju zielonego pokrycia (rodzaj roślin, podłoża w którym są one osadzone, rodzaju konstrukcji), jego zwarcia (gęstość pokrycia roślinnością), rodzaju ściany (materiału i izolacji), wielkości samej zielonej ściany w stosunku do kubatury budynku, oraz lokalizacji i położenia względem stron świata uzyskuje się różnorodne wyniki. Zespół badawczy z Uniwersytetu w Padwie uzyskał 66% oszczędność energetyczną dzięki funkcjom izolującym zielonej elewacji (pną-

czy) dla klimatu północnych Włoch (Mazzali i in. 2012). Inne badania wykazują możliwość oszczędności na poziomie 45-50% (Martínez-Rocamora i in. 2014). W Berlinie na budynku Wydziału Fizyki Uniwersytetu Humbolta prowadzone są badania izolacji pnąciami południowej szklanej fasady, która okazuje się bardzo efektywna i oszczędna w stosunku do tradycyjnych elektrycznie zasilanych rolet (Schmidt 2015). Roślinność staje się coraz istotniejszym materiałem izolacyjnym w budowaniu oszczędnej energetycznie architektury.

Funkcje izolacji ogniowej elewacji oraz stropów

Wykorzystywanie roślin jako izolacji przeciwpożarowej jest możliwe. Pierwszy zielony dach w Berlinie, założony przed II wojną światową na dachu budynku ujęcia wodnego na terenach dzisiejszego parku ekologicznego Ökowerk, został wybudowany z potrzeby zabezpieczenia przeciwpożarowego bitumicznego pokrycia. Zakładając, że systemy zieleni zintegrowanej z budynkiem są systemami wilgotnymi, można przyjąć ogólne założenie, że mogą pełnić rolę zabezpieczającą przed ogniem. Nie mogą jednak być przesuszane, ponieważ w takiej sytuacji uzyska się łatwopalny materiał organiczny. Testy przeciwpożarowe zielonych dachów wykonuje się od lat 90. XX wieku. Obecnie prowadzone są prace w zakresie ustalenia jednolitych zasad przeciwpożarowych dla zielonych dachów. Brakuje badań naukowych dotyczących możliwości izolacji przeciwpożarowej. Warto byłoby zweryfikować i dopracować możliwości wykorzystania roślinnych powłok architektonicznych w systemach przeciwpożarowych, ponieważ obecność wody z retencji deszczowej, oraz chłonność wodna roślin, stanowią ku temu spory potencjał.

Funkcje zabezpieczenia pokryć dachowych przed uszkodzeniami

Pokrycia roślinne z racji swojej specyfiki (wilgoć, penetracja korzeni) muszą być dobrze izolowane od struktur architektonicznych. Izolacja ta zabezpiecza konstrukcje budowlane przed nadmiernym nagrzewaniem się i schładzaniem minimalizując szkodliwe, wysokie amplitudy temperatur występujące w przypadku tradycyjnych pokryć. Złożona ilość warstw zielonych technologii oraz grubość substratu glebowego wraz z pokrywą roślinną skutecznie chronią powłoki architektoniczne przed uszkodzeniami mechanicznymi. Prof. Waław Celadyn (1992) dowodzi, że żywotność tak zabezpieczonych warstw dachu można przedłużyć nawet kilkunastokrotnie. Współcześnie, kiedy dąży się do budowy trwałego, odpornego na zmiany środowiska życia, także trwałość samych struktur budowlanych nie tylko naturalnych ekosystemów ma duże znaczenie w bilansie zysków i strat środowiskowych.

Funkcje zabezpieczenia przed wilgocią

Systemy roślinne pokrywające elewacje oraz stropy tworzą także izolację wilgotnościową. Jedną z podstawowych warstw takiej konstrukcji są warstwy izolacyjne. Jeśli system wykonany jest prawidłowo, to izolacja będzie pełnił swoje funkcje przez lata. Dodatkowo powierzchnia liści, zwłaszcza liści pnących ułożonych dachówkowo na elewacji, ogranicza przedostawanie się wilgoci do ściany w okresie wegetacji, w stanie ulistnionym (Dunnett, Kingsbury 2004; Valesan, Sattler 2008). Pnącza rosnące przy fasadach działają jak pompy dla wilgoci znajdującej się gruncie (Trzaskowska 2010). Winobluszcz pięciolistkowy (*Parthenocossus quinquefolia*) pokrywający ponad 500 m² powierzchnię transpiruje blisko 15 tys. litrów wody na dobę (Borowski 1996). Zabezpieczenie przed wilgocią struktur architektonicznych przez zintegrowane z nią formy roślinne rzadko jest podnoszone w badaniach. Warto je jednak rozwijać, ponieważ funkcje techniczne roślinności porastającej budynki są stale niedoceniane, raczej widziane w kontekście problemów, a nie zalet.

Funkcje izolacji akustycznej

Struktury zielonego dachu (Dunnett, Kingsbury 2004) oraz ogrody wertykalne (Azkora i in. 2015) i pnącza na elewacjach (Trzaskowska 2010) mogą wpływać na akustykę otoczenia. Szelest liści rozprasza dźwięki ulicy (Gawłowska 2004). Rośliny mogą obniżać poziom hałasu będąc dobrym izolatorem, jak Polska Zielona Ściana, której dźwiękochłonność, m.in. dzięki warstwom substratu, jest 1,6 razy skuteczniejsza niż typowy panel izolacyjny i w pomiarach wyniosła 13dB (Zinowiec-Cieplik, Guranowska, Dankiewicz 2015). Sama struktura roślinna w mieście średnio redukuje hałas o 8dB (Azkora i in. 2015). Ponadto, badania wykazują (Wong i in. 2010), że materiał roślinny lepiej pochłania dźwięki niż typowe i tradycyjne materiały budowlane. Stopień pochłaniania fal dźwiękowych przez rośliny uzależniony jest od wielu czynników, w tym od wielkości, ilości i rozkładu liści na powierzchni pochłaniającej (Horoshenkov i in. 2013). Ciekawe wyniki uzyskał zespół z Bilbao, badając efektywność roślin w pochłanianiu różnych częstotliwości fal. Okazuje się, że częstotliwość dźwięków mowy oscyluje w okolicach 60dB – największej wydajności pochłaniania przez system modularny ogrodu wertykalnego. Dlatego, tego typu rozwiązania najlepiej sprawdzą się w miejscach publicznych o licznej frekwencji (Azkora i in. 2015). Nie mniej jednak sami badacze wskazują na początkową fazę badań oraz potrzeby rozwoju tego sektora studiów.

Podsumowanie

Wraz z rozwojem zielonej i błękitnej infrastruktury oraz technologii ekologicznych, wzrasta znacznie i potencjał architektury zintegrowanej z roślinnością jako elementów wspierających formy architektoniczne, tzw. miejskie funkcje próśrodowskowe oraz techniczne – izolacja dająca oszczędności energetyczne.

Najbardziej zaawansowane są badania nad zielonymi dachami prowadzone od lat 70., a intensywne obserwacje od 80. (Köhler 2006). Studia nad zielenią elewacyjną rozpoczęto na przełomie lat 80. i 90., a studia nad ogrodami wertykalnymi – to dorobek XXI wieku. Zieleni i jej zbiorowiska są charakterystyczne dla danej lokalizacji (szerokości geograficznej) i lokalnego klimatu. Dlatego badania należy prowadzić indywidualnie dla każdego miejsca.

Spośród zaprezentowanych funkcji najlepiej rozpoznane są role oraz korzyści środowiskowe. Brak w zasadzie studiów i badań dotyczących kosztów, które należy ponieść podczas budowy i utrzymania systemów zieleni pokrywających architekturę – w tym kosztów środowiskowych w postaci m.in. śladu węglowego. Pionierskie badania w zakresie wertykalnego ogrodu na bazie geowłóknin oraz systemu hydroponicznego na południowej elewacji w klimacie śródziemnomorskim prowadził ośrodek na Uniwersytecie w Sienie (Pulselli i in. 2014). Symulacje komputerowe pokazały, iż stosunkowo duża powierzchnia ogrodu wertykalnego (98 m² przy kubaturze 1000 m³) pod względem śladu węglowego powinna zwrócić się po upływie 25 lat przy założeniu redukcji zużycia wody (wykorzystując retencję wody opadowej) oraz zastosowania roślin lokalnych producentów (redukcja kosztów transportu). Także stosunek poniesionych kosztów do uzyskanych korzyści liczony na bazie zużycia energetycznego w przedziale 25 lat powinien zostać zbalansowany – początkowe wykorzystanie zasobów naturalnych liczone w postaci zużycia energii do budowy jest rekompensowane przez oszczędności podczas funkcjonowania systemu, który również przez izolację obniża zużycie energii do schładzania budynku. Włoskie badania ukazały sensowność zastosowania hydroponicznego ogrodu wertykalnego w klimacie śródziemnomorskim w procesach modernizacji energetycznej budynków przy minimalnym przedziale czasowym 25 lat niezbędnym do zbalansowania przedsięwzięcia. Inwestycje w zieloną, pokrytą roślinnością architekturę wymagają czasu, aby były opłacalne środowiskowo.

W Polsce pod względem funkcji oraz korzyści środowiskowych najlepiej rozpoznana jest problematyka zielonych dachów dla klimatu Wrocławia. Bogate dane pochodzące także z innych ośrodków, a zwłaszcza z bliskich geograficznie Niemiec pozwalają na optymistyczne przewidywania co do szerokiego stosowania u nas zieleni dachowej. Odnośnie wertykalnych rozwiązań potrzebne są pogłębione badania Polskiej Zielonej Ściany oraz wertykalnego ogrodu na budynku Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, aby można było wstępnie prognozować sensowność środowiskową, energetyczną, ekonomiczną i lokalizacyjną

(np. obszary intensywnej zabudowy) oraz ewentualne wymierne korzyściach ogrodów wertykalnych w polskim klimacie, w tym zwłaszcza ostrzejszych stref ogrodowych 6 i 5. Zielone dachy oraz roślinne elewacje nabierają znaczenia zwłaszcza w strefach śródmiejskich, w których, z braku innych możliwości, mogą zastępować tradycyjne formy zieleni tworząc powiązania w zerwanych ogniwach Systemu Przyrodniczego Miasta stając się jednym z ważniejszych elementów zielonej infrastruktury. Badania europejskie dowodzą, iż powinny one stać się elementem planowania krajobrazu i ochrony oraz zarządzania jego zasobami przyrodniczymi.

Bibliografia

- Alberti M. i in. (2003), *Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems*, "BioScience", No. 53.
- Anthropocene Defined* (2017), <https://theanthropocene.org/anthropocene/> [dostęp: 15.09.2017].
- Arpon J. (2016), *Green roofs and vertical greenery systems as passive tools for energy efficiency in buildings*, Universitat de Lleida, Lleida.
- Azkorra Z. i in. (2015), *Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings*, "Applied Acoustics", Vol. 89.
- Baryła A. i in. (2015), *Zamiany temperatury różnych form użytkowania zielonego dachu*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich”, PAN Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, o/Kraków, Nr IV/1/2015, Kraków.
- Borowski J. (1996), *Czy pnąca niszczy elewację*, „Rocznik Dendrologiczny”, Vol. 44.
- Borowski J. (2013), *Dlaczego warto sadzić i pielęgnować drzewa?*, Stowarzyszenie na rzecz Ochrony Krajobrazu Kulturowego Mazur „Sadyba”, Ukta.
- Brenneisen S. (2006), *Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland*, "Urban Habitat, Green Roofs and Biodiversity", Vol. 4, No. 1.
- Burszta-Adamiak E. (2015), *Zielone dachy jako element zrównoważonych systemów odwadniających na terenach zurbanizowanych*, Wydawnictwo UP we Wrocławiu, Wrocław.
- Carpenter S. (2008), *Green Roofs and Vertical Gardens*, The Pratt Foundation/ISS Institute, Melburn.
- Celadyn W. (1992), *Architektura a systemy roślinne. Studium relacji między elementami architektonicznymi a roślinnymi*, Politechnika Krakowska, Kraków.
- Coma J. i in. (2014), *New green facades as passive systems for energy savings on buildings*, "Energy Procedia", Vol. 57.
- Crutzen P., Stoermer E. (2000), *The "Anthropocene"*, "IGBP's Global Change Newsletter", No. 41.
- Dreisettl H. (2016), *The Art to Integrate Blue-Green and Social Factors*, Interview with Prof. Herbert Dreiseitl, Director of Rambøll Liveable Cities Lab.

- Dunnett N., Kingsbury N. (2004), *Planting Green Roofs and Living Walls*, Timber Press, Portland.
- Duran R., Rodríguez C. (2008), *Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review*, "Agronomy for Sustainable Development", No. 28/1.
- Frazer L. (2005), *Paving paradise*, "Environmental Health Perspectives", Vol. 113/7.
- Francis R., Lorimer J. (2011), *Urban Reconciliation Ecology: The Potential of Living Roofs and Walls*, "Journal of Environmental Management", No. 92.
- Gawronski S.W. i in. (2000), *Drzewa, krzewy i rośliny zielne w procesie fitoremediacji w terenie zurbanizowanym*, III Forum Architektury Krajobrazu, Warszawa.
- Gawłowska A. (2004), *Biotyczne przestrzenie śródmieścia jako czynnik modyfikujący klimat i źródło ładu*, (w:) Rylke J. (red.), *Przyroda i miasto*, T. VI., SGGW, Warszawa.
- Getter, K. i in. (2007), *Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention*, "Ecological Engineering", Vol. 31, No. 4.
- Hobbs R.J. i in. (2006), *Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order*, "Global Ecology and Biogeography", No. 15.
- Horoshenkov K.V. i in. (2013), *Acoustic properties of low growing plants*, "The Journal of the Acoustical Society of America", No. 133.
- Jordan M. (2013), *Novel Ecosystems: Backyard to Landscape*, Society for Ecological Restoration, Mid-Atlantic Chapter, College Park, Maryland.
- Kadas G. (2006), *Rare Invertebrates Colonizing Green Roofs in London*, "Urban Habitat, Green Roofs and Biodiversity", Vol. 4, No. 1.
- Köhler M. (2006), *Long-Term Vegetation Research on Two Extensive Green Roofs in Berlin*, "Urban Habitat, Green Roofs and Biodiversity", Vol. 4.
- Kowarik I. (2005), *Wild Urban Woodlands: Towards a Conceptual Framework*, (w:) *Wild Urban Woodlands New Perspectives for Urban Forestry*, Springer, Berlin-Heidelberg.
- Lundholm J. (2015), *The ecology and evolution of constructed ecosystems as green infrastructure*, "Frontiers in Ecology and Evolution", 08 September.
- Mazzali U. i in. (2012), *Thermo-physical performances of living walls via field measurements and numerical analysis*, (in:) Brebia C.A. (Ed.), *Eco-Architecture IV*, WIT Press, Ashurst.
- Martínez-Rocamora A. i in. (2014), *Vertical Greenery Systems as sustainable solutions for building retrofitting: a case study*, "WIT Transactions on Ecology on The Built Environment", Vol. 142.
- Morse N. i in. (2014), *Novel ecosystems in the Anthropocene: a revision of the novel ecosystem concept for pragmatic applications*, "Ecology and Society", Vol. 19, No. 2.
- Obendorfer E. i in. (2007), *Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services*, "BioScience", November, Vol. 57, No. 10.
- Perini K., Ottelé M. (2012), *Vertical greening systems: contribution to thermal behaviour on the building envelope and environmental sustainability*, "WIT Transactions on Ecology and The Environment", Vol. 165.
- Philips A. (2013), *Designing Urban Agriculture: A Complete Guide to the Planning, Design, Construction, Maintenance and Management of Edible Landscapes*. Wiley.

- Pisello A.L. i in. (2015), *Thermal-physics and energy performance of an innovative green roof system: The Cool-Green Roof*, "Solar Energy", Vol. 116.
- Pulselli R. i in. (2014), *A comprehensive lifecycle evaluation of vertical greenery systems based on systemic indicators*, "Transactions on Ecology and The Environment", Vol. 191.
- Schmidt M. (2015), *Making the city compact more livable and resilient thanks to the greening*, Presentation 19th May on Hotel de ville de Paris.
- Singh N., Ma L/Q. (2007), Assessing Plants for Phytoremediation of Arsenic-Contaminated Soils, (in:) Willey N. (Ed.), *Methods in Biotechnology, Phytoremediation: Methods and Reviews*, Vol. 23, Humana Press Inc., Totowa, New Jersey.
- Solarek K., Rynska D., Mirecka M. (2016), *Urbanistyka i architektura w zintegrowanym gospodarowaniu wodami*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Stav Y. (2008), *Measuring Living Wall Performance*, (in:) Birkeland J. (Ed.), *Positive Development: From Vicious Circles to Virtuous Cycles Through Built Environment Design*, Earthscan, London.
- Szajda-Binfeld E., Pływaczyk A., Skarżyński D. (2012), *Zielone dachy Zrównoważona gospodarka wodna na terenach zurbanizowanych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław.
- Szczepanowska H.B. (2001), *Drzewa w mieście*, Hortpress, Warszawa.
- Szumacher I. (2005), *Funkcje ekologiczne parków miejskich*, „Prace i Studia Geograficzne”, Vol. 46.
- Tredici (del) P., 2010, *Spontaneous Urban Vegetation: Reflections of Change in a Globalized World*, "Nature and Culture", No. 5(3).
- Tredici (del) P. (2014), *The Flora of the Future. Celebrating the botanical diversity of cities*, "Places Journal", April.
- Trzaskowska E. (2010), *Wykorzystanie roślin w projektowaniu architektonicznym (pnącza, ogrody wertykalne)*, (w:) *Teka Komisji Architektury i Urbanistyki. Studia Krajobrazowe – Oddział PAN w Lublinie*, Lublin.
- Utami S.N.H., Jayadi R. (2012), *Vertical Gardening for Vegetables*, "Acta Horticulturae", No. 958.
- Weinmaster M. (2009), *Are Green Walls as 'Green' as they Look? An Introduction to the Various Technologies and Ecological Benefits of Green Walls*, "Journal of Green Building", Vol. 4.
- Wines J. (2000), *Green Architecture*, Taschen, Berlin.
- Wolski P. (2013), *Znaczenie okien hygrologicznych*, „Problemy Ekologii Krajobrazu”, Vol. 36.
- Wong N. i in. (2003), *Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment*, "Building and Environment", No. 38.
- Valesan M., Sattler M.A. (2008), *Green Walls and their Contribution to Environmental Comfort: Environmental Perception in a Residential Building*, PLEA 2008 – 25th

Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October.

Zinowiec-Cieplik K., Guranowska – Gruszecka K., Dankiewicz B. (2015), *Polish Green Wall -research program*, Innotech-K1/I1/40/159571/NCBR/12 – poster for 1st European Urban Green Infrastructure Conference 2015, Vienna City Hall, 23-24 November.

Zinowiec-Cieplik K. (2016), *Początki idei zielonej architektury*, „Kwartalnik Naukowy Uczelni Vistula”, nr 3(49).

Potential of Plant Integration with Architecture – Environment and Technology

Summary

The contemporary research for a sustainable and resilient urban environment is developing very rapidly. Greenery is one of the most important objects of study. The integral role of nature in shaping the conditions of a healthy life is unquestionable. The history of modern green architecture, including plants' integration with buildings, dates back to the twentieth-century modernist ideas filtered by the ecological movement of the 1960s. The potential of architectural-plant hybrid forms is increasing, especially in the areas of intensive urban development in city centres.

Key words: green architecture, green roof, green façade, vertical garden, greenery potential and functions.

Artykuł nadesłany do redakcji w październiku 2017 roku.

© All rights reserved

Afiliacja:
dr inż. arch. kraj. Kinga Zinowiec-Cieplik
Politechnika Warszawska
Wydział Architektury
ul. Koszykowa 55
00-659 Warszawa
e-mail: ckinga@wp.pl