

# Specyfika światła i oświetlenia w miejskich farmach pionowych ukierunkowanych na produkcję roślinną

## The Specifics of Light and Lighting in Urban Vertical Farms Oriented Towards Plant Production

### Streszczenie

Systemy upraw stosowane w części istniejących miejskich farm pionowych wykorzystują wyłącznie albo głównie światło naturalne. Występują technologie oparte na użyciu światła naturalnego i sztucznego oraz bez dostępu światła słonecznego, wykorzystujące do wzrostu roślin tylko sztuczne źródła światła. Stosowane są lampy LED, kompaktowe lampy fluorescencyjne, metalohalogenkowe i świetlówki. Prowadzi się badania dotyczące wpływu różnych barw światła lamp LED na jakość i tempo wzrostu roślin. Ich wyniki pozwalają stwierdzić, że przy użyciu niektórych systemów upraw z zastosowaniem oświetlenia lampami LED w miejskich farmach pionowych uzyskuje się plony kilkukrotnie większe niż w tradycyjnym gospodarstwie o porównywalnym areale. Zjawiskiem towarzyszącym stosowaniu światła sztucznego jest możliwość wystąpienia efektu zanieczyszczenia światłem.

### Abstract

The cultivation systems used in some of the existing urban vertical farms utilize exclusively or mostly natural light. There are technologies based on the use of both natural and artificial light, and ones without access to sunlight, using only artificial light sources for the plant growth. The technologies used here include LED lamps, compact fluorescent lamps, metal halide lamps and fluorescent bulbs. Studies are conducted on the effects that different colors of light from LED lamps have on the quality and growth rate of plants. Their results allow us to conclude that certain crop growing systems utilizing lighting from LED lamps in urban vertical farms provide yields several times greater than in traditional farm with a comparable cultivation area. One phenomenon accompanying the use of artificial light is the possible occurrence of the light pollution effect.

Słowa kluczowe: miejska farma pionowa, światło naturalne, światło sztuczne

Keywords: vertical urban farm, natural light, artificial light

### 1. Rolnictwo pionowe i miejska farma pionowa

Szukając prapoczątków zamysłu pionowego rolnictwa można przywołać legendarne wiszące ogrody Semiramidy. Uprawy prowadzone na piętrzących się tarasach od wieków stanowią nieodłączny element krajobrazu Ameryki Południowej, Azji Południowej i Wschodniej czy też krajów basenu Morza Śródziemnego. Termin „rolnictwo pionowe” utworzył w 1915 r. G.E. Bailey, który zaproponował zastosowanie materiałów wybuchowych do powiększania posiadanego przez rolników areалу przez tworzenie lejów powybuchowych i wykorzystywanie powierzchni powstałych ścian na uprawy [Bailey 1915].

### 1. Vertical farming and vertical urban farm

In the search for the pre-origins of the idea of vertical farming, we could bring up the legendary hanging gardens of Babylon (also known as the Hanging Gardens of Semiramis). Crops cultivated on piled up terraces have been an integral part of the landscape of South America, South and East Asia or the Mediterranean Basin for centuries. The term “vertical farming” was created in 1915 by G.E. Bailey, who proposed utilizing explosives to enlarge the planting areas possessed by the farmers by creating post-explosion craters and using the surfaces of the formed walls for crops [Bailey 1915].

\* Dr hab. inż. arch. Małgorzata Drożdż-Szczybura, Zakład Architektury i Planowania Wsi, Instytut Projektowania Miast i Regionów, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska / D.Sc. Ph.D. Arch. Małgorzata Drożdż-Szczybura, Section of Rural Architecture and Planning, Institute of City and Regional Planning, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology

Nie jest też nowością rolnictwo miejskie. W miastach i bezpośrednim ich sąsiedztwie rolnictwo istniało od czasów najdawniejszych. Na skutek zmieniających się od końca XX w., w tempie dotychczas niespotykanym, warunków gospodarczych i środowiskowych oraz wzrastającej liczby ludności produkcja żywności w miastach może okazać się koniecznością. Konieczna może być realizacja elementów dzisiejszego rolnictwa miejskiego, a w tym miejskich farm pionowych. Współczesna miejska farma pionowa, to wielopoziomowa lub powyżej poziomu terenu uprawa roślin lub chów zwierząt przy użyciu nowoczesnych technologii, komputeryzacji procesów produkcyjnych i wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii. Wznoszona jest w mieście i na obszarach podmiejskich.

W wielu krajach opracowywane były i nadal są teoretyczne projekty miejskich farm pionowych, które realizują strategię efektywnego wykorzystania przestrzeni i obszarów nierolniczych w celu produkcji żywności. Prace nad kierunkami rozwoju rolnictwa pionowego, a zatem i rozwiązaniami farm pionowych znacznie wzmogły się pod koniec XX w. Wdrażane są praktyczne rozwiązania współczesnych miejskich farm pionowych ukierunkowanych na produkcję roślinną. Pozwalają one realizować ideę samowystarczalności miast, zgodnie z którą powinny być one zdolne do tego, by same zaopatrywały swych mieszkańców w podstawowe produkty rolno-spożywcze. Wśród istniejących miejskich farm pionowych rozróżniamy farmy otwarte i zamknięte oraz nowo wzniesione i znajdujące się w obiektach, które wcześniej pełniły inne funkcje. Istniejące realizacje to w zdecydowanej większości pionowe farmy miejskie, w których prowadzona jest wyłącznie produkcja roślinna. W pierwszych współczesnych koncepcyjnych opracowaniach przyjmowano towarzyszenie produkcji roślinnej chowu drobiu, jednakże w istniejących doświadczalnych i komercyjnych obiektach prowadzona jest niekiedy hodowla ryb, co wynika ze stosowania akwaponicznych lub mieszanych systemów upraw. Z uwagi na rodzaj stosowanego oświetlenia wyróżniamy miejskie farmy pionowe wykorzystujące wyłącznie albo głównie światło naturalne, światło naturalne i sztuczne oraz takie, w których stosuje się wyłącznie światło sztuczne.

## 2. Światło naturalne w miejskich farmach pionowych

Wzrost roślin z przewagą dostępu światła słonecznego ma miejsce w tych farmach pionowych, w których przyjęto zapewnienie naturalnych warunków środowiskowych lub maksymalnie zbliżonych do naturalnych. W celu zapewnienia roślinom optymalnego dostępu światła dziennego stosuje się ruchome układy półek, które poprzez zastosowanie odpowiednich systemów sterowania przyjmują zmienne położenie. Taką technologię zastosowano w doświadczalnym obiekcie w Ogrodzie Zoologicznym w Paignton. Pierwszej farmie pionowej zrealizowanej w XXI w. zgodnie z zasadami współczesnego miejskiego rolnictwa, ukończonej w 2009 r.<sup>1</sup> Poprzez ich umieszczenie na ruchomych półkach, równomierny dostęp światła słonecznego zapewnia roślinom, technologia użyta w wzniesionym w 2012 r. w Singapurze komercyjnym gospodarstwie rolnym (il. 1). Zastosowane tutaj systemy

Urban agriculture is also not a novelty. Agriculture existed in cities and their immediate vicinity from the ancient times. As a result of changes in economic and environmental conditions, which have been taking place at an unprecedented rate since the end of the 20th century, and the increasing human population, food production in urban areas may turn out to be a necessity. It may be necessary to implement the elements of today's urban farming, including urban vertical farms. The contemporary urban vertical farm, is the multilevel or above ground cultivation of plants or livestock production with the use of modern technology, computerization of production processes and utilization of renewable sources of energy. It is established in the cities and in the suburban areas.

Many countries have previously developed and continue to work on theoretical projects of urban vertical farms, implementing the strategy of efficient use of space and non-agricultural areas for the production of food. Works on the guidelines for the development of vertical agriculture, and therefore also vertical farming solutions, significantly intensified at the end of the 20th century. Practical solutions of modern urban vertical farms oriented towards plant production are now implemented. They enable the realization of the idea of self-sufficiency of cities, according to which they should be able to independently provide basic agricultural and food products for their inhabitants. Among the existing urban vertical farms we distinguish open farms and enclosed farms as well as newly built farms and farms located in premises which previously served other purposes. The vast majority of the existing implementations are vertical urban farms, where only plant production is carried out. The initial modern conceptual studies envisaged that plant production would be accompanied by poultry farming, however, in the existing experimental and commercial objects fish farming is occasionally carried out, which is based on the use of aquaponic or mixed growing systems. Due to the type of lighting we distinguish urban vertical farms using exclusively or mainly natural light, those using both natural and artificial light, and ones in which only artificial light is used.

## 2. Natural light in urban vertical farms

Growth of plants with a predominance of access to natural sunlight occurs in those vertical farms which have been adapted to ensure natural environmental conditions or conditions as close as possible to the natural conditions. In order to ensure the plants' optimal access to daylight, systems of mobile shelves are used, shifted to various positions using appropriate control systems. Such a technology has been utilized in the experimental facility in the Paignton Zoo Environmental Park, the first vertical farm implemented in the 21st century in accordance with the principles of modern urban agriculture, and completed in 2009<sup>1</sup>. The technology used in a commercial farm established in 2012 in Singapore provides the plants with even access to sunlight by placing them on mobile shelves (il. 1). The hydraulic systems applied in this case



il. 1. Miejska farma pionowa w Singapurze. Źródło: <http://kuow.org/>, <https://aedesign.wordpress.com/>, dostęp 21-02-2017 / City vertical farm in Singapore. Source: <http://kuow.org/>, <https://aedesign.wordpress.com/>, access 21-02-2017

napędu hydraulicznego pozwalają na obrót całej struktury upraw, pojedynczej wieży – farmy pionowej<sup>2</sup>.

Światło słoneczne uzupełniane cyklicznym doświetlaniem światłem sztucznym ma udział we wzroście roślin uprawianych w farmach pionowych z cieplarniami wznoszonymi na dachach budynków. W ostatnim dziesięcioleciu zauważalny jest w niektórych krajach (m.in. Stany Zjednoczone, Kanada i Japonia) wzrost zainteresowania zarówno inwestorów, jak i samorządów wspieranych przez władze centralne, technologiami miejskich upraw na dachach.

Szklarnie na dachach zużywają mniej ciepła niż konwencjonalne, ponieważ absorbują ciepło z niższych kondygnacji budynku. W celu ograniczenia strat ciepła stosuje się różne typy kurtyn, w tym powietrzne, cieniujące i słoneczne oraz różne systemy wentylacji. Muszą jednak być uzupełniane w nich braki światła. Efektywność wykorzystania światła naturalnego zwiększa się przez zastosowanie w konstrukcji ścian cieplarni materiałów o żądanej przejrzystości – szkła szklarniowego lub ETFE, możliwie najcieńszych elementów konstrukcyjnych i uzyskiwanie odpowiedniego, zmiennego kąta nachylenia ścian względem kierunku padania światła naturalnego.

Znaczące takie realizacje znajdują się m. in. w Montrealu, położonym w jego obszarze metropolitalnym Laval i Nowym Jorku. W miastach o dużym zapotrzebowaniu na świeże warzywa położonych na terenach o stosunkowo krótkim okresie naturalnej wegetacji roślin i dużej odległości pomiędzy konsumentem a producentem stosującym tradycyjne praktyki rolnicze. Znajdująca się w nowojorskim Płd. Brooklynie realizacja stanowi jedno z nielicznych rozwiązań, w których produkcja i dystrybucja żywności odbywają się w jednym obiekcie złożonym z dwu połączonych struktur o różnej funkcji, formie i konstrukcji (il. 2). Część zbieranych tutaj roślin sprzedawana jest na miejscu, w supermarkecie, a zatem odległość czasowa i przestrzenna dystrybucji jest minimalna. Pozostała produkcja rozprowadzana jest do odbiorców zlokalizowanych w odległości nie większej niż 7 mil, co również przekłada się na niewielką odległość czasową i przestrzenną dystrybucji<sup>3</sup>. W miejskich farmach pionowych tworzących struktury złożone z budynków z urządzeniami na ich dachach szklarniami światło naturalne i sztuczne naprzemiennie ma dostęp do

enable the rotation of the entire structure of the crops, a single tower – the vertical farm<sup>2</sup>.

Sunlight, supplemented with cyclical additional lighting with artificial light, participates in the growth of plants cultivated in vertical farms with greenhouses erected on the roofs of buildings. In the last decade in some countries (i.a. in the United States, Canada and Japan) both investors and the local governments supported by the central authorities have shown noticeably increased interest in the technologies of urban farms built on roofs of buildings.

Greenhouses on roofs consume less heat than conventional greenhouses because they absorb heat from the lower floors of the building. In order to reduce heat losses various types of curtains are used, including air, shading and sunlight curtains, as well as various ventilation systems. However, it is necessary to supplement the light deficiencies existing in such systems. The efficiency of utilization of natural light is increased by using materials with the desired transparency in the construction of the greenhouse walls – greenhouse glazing or ETFE, the thinnest structural elements possible, and obtaining a suitable, varying angle of inclination of the walls in relation to the direction of incidence of natural light.

Significant implementations of this type are found i.a. in Montreal, in Laval which is located in Montreal's metropolitan area, and in New York. These are cities with a high demand for fresh vegetables, located in areas with a relatively short period of natural vegetation of plants and a long distance between the consumers and the producer utilizing traditional agricultural practices. One implementation located in New York City's South Brooklyn constitutes one of the few solutions where the production and distribution of food takes place in a single facility consisting of two connected structures with a different function, form and structure (il. 2). Some of the plants harvested here are sold on the site, in a supermarket, which means that the temporal and spacial distribution distance is minimal. The remaining production output is distributed to consumers located within a distance of no more than 7 miles, which also translates into





il. 2. Miejska farma pionowa w nowojorskim Brooklynie. Źródło: <https://media.licdn.com/>, <http://inhabitat.com/>, dostęp 29-01-2017 / City vertical farm in New York Brooklyn. Source: <https://media.licdn.com/>, <http://inhabitat.com/>, access 29-01-2017

tego samego obszaru upraw. Istnieją również obiekty, w których rośliny uprawiane na ich elewacjach wzrastają wyłącznie w świetle naturalnym, a w ich wnętrzach w świetle sztucznym. Bez dostępu lub z bardzo ograniczonym dostępem światła naturalnego. W tej grupie znajdują się dwa biurowce. Menara Mesiniaga w Subang Jaya, oddana do użytku w 1992 r. siedziba koncernu informatycznego oraz poddany przebudowie ponad pięćdziesięcioletni budynek w Tokio. Użytkowana w obecnej formie od 2010 r. siedziba korporacji rekrutacyjnej. Menara Mesiniaga jest bioklimatyczną otwartą farmą pionową. Całą 15-kondygnacyjną fasadę wieżowca oplatają, zintegrowane z zewnętrznymi tarasami i balkonami, dwie zielone spirale ogrodów przenikających budynek [Yeang 1996, Powell 1999, Hart 2011]. W tokijskiej farmie pionowej uprawy prowadzone są w świetle naturalnym na zielonych ścianach i dachu. We wnętrzach rośliny wzrastają w sztucznym świetle lamp LED, metalohalogenkowych lub świetlówek (il. 3)<sup>4</sup>. W obu obiektach zastosowano inteligentne systemy kontroli klimatu oraz zarządzania zarówno mediami, jak i stosowanymi tech-

a small temporal and spatial distribution distance<sup>3</sup>. In urban vertical farms forming structures composed of buildings with greenhouses built on their roofs, natural light and artificial light has access to the same crop area alternately. There are also objects where the plants grown on their facades are only cultivated in natural light, and the plants grown in their interiors are cultivated in artificial light, without access or with very limited access to natural light. This group includes two office buildings: Menara Mesiniaga in Subang Jaya, the headquarters of an IT company completed in 1992, and a reconstructed over fifty-year old building in Tokyo, used in its current form since 2010 as the headquarters of a recruitment corporation. Menara Mesiniaga is a bioclimatic open vertical farm. The 15-storey facade of the skyscraper is entwined by two green spirals of gardens permeating the building, integrated with outer terraces and balconies [Yeang 1996, Powell 1999, Hart 2011]. In the vertical farm in Tokyo, the crops are cultivated in natural light on the green walls and on the roof.

nologiami upraw, a w tym elektroniczne systemy kontrolujące ich wewnętrzne, sztuczne oświetlenie.

### 3. Miejskie farmy pionowe – oświetlanie/naświetlanie upraw wyłącznie światłem sztucznym

U podstaw współczesnych realizacji zamkniętych farm pionowych, w których prowadzona jest komercyjna uprawa roślin przy sztucznym oświetleniu, leżą badania nad umożliwieniem dostępu do pełnowartościowych świeżych warzyw i owoców załogom promów, stacji i przyszłych osad kosmicznych [Waterford 2015, Koga 2016]. Zakłada się, że również na Ziemi, w świetle zmian, które zaszły w środowisku naturalnym i prognozowego przyrostu ludności na świecie uprawa roślin przy sztucznym oświetleniu w zamkniętym środowisku może stać się obecnie nie tylko ekonomicznie opłacalna, ale i konieczna. Najnowsze technologie upraw roślin na skalę przemysłową w zamkniętych farmach pionowych opierają się głównie na lampach LED, w miejsce wcześniej powszechnie stosowanych i nadal używanych lamp sodowych i fluorescencyjnych. W porównaniu z tradycyjnymi systemami oświetlenia lampy LED charakteryzują się dłuższym okresem eksploatacji i oddają mniej ciepła do otoczenia. Określone przez producentów środowisko pracy dla lamp LED przeznaczonych do stosowania w farmach pionowych wynosi od -20°C do 55°C przy wilgotności powietrza od 5% do 95%. Są energooszczędne, co przekłada się na niskie koszty ich eksploatacji. Podawane przez właścicieli farm wielkości zmniejszenia zużycia energii po zastąpieniu oświetlenia tradycyjnego lampami LED mieszczą się w przedziale od 40 do nawet 70%<sup>5</sup>. Lampy LED mogą być stosowane we wszystkich fazach wzrostu roślin, jak również przy ich klonowaniu. Przeznaczone do stosowania w miejskich farmach pionowych emitują światło o żądanych długościach fal i kolorze. Dla większości roślin uprawianych w miejskich farmach pionowych wymagane podstawowe barwy światła to niebieski konieczny podczas wegetatywnej fazy wzrostu i czerwony, który przyspiesza kiełkowanie oraz wspiera pąki i rozkwit roślin. Jako dopełnienie

In the interiors the plants grow under the artificial light of LED lamps, metal halide lamps or fluorescent bulbs (il. 3)<sup>4</sup>. Both facilities utilize intelligent climate control systems and systems for the management of media as well as the applied cultivation technologies, including electronic systems controlling their internal artificial lighting.

### 3. Urban vertical farms – lighting/irradiation of crops only with artificial light

Modern implementations of enclosed vertical farms where commercial cultivation of plants under artificial lighting is carried out, are based on research concerning the possibility of providing access to wholesome fresh fruits and vegetables to the crews of space shuttles, space stations and future space settlements [Waterford 2015, Koga 2016]. In light of the changes that have taken place in the natural environment and the projected growth of the world population, it is assumed, that the cultivation of plants under artificial lighting in a closed environment may now become not only economically viable but also necessary on Earth as well. The latest technologies of industrial-scale plant cultivation in enclosed vertical farms rely primarily on LED lamps, instead of the previously dominant and still commonly used sodium lamps and fluorescent bulbs. Compared to traditional lighting systems, the LED lamps have a longer operating life and release less heat to the environment. The operating environment of LED lamps designed for use in vertical farms, specified by their manufacturers, is between -20°C and 55°C, with air humidity between 5% and 95%. They are energy-efficient, which translates into lower operating costs. Farmers report decreases in energy consumption ranging from 40 to 70% following the replacement of conventional lighting with LED lamps<sup>5</sup>. LED lamps can be used in all phases of plant growth as well as during cloning. Lamps intended for use in urban vertical farms emit light of the desired wavelength and color. For most crops grown in urban vertical farms, the required basic light col-

il. 3. Budynek i wnętrza miejskiej farmy pionowej, siedziby korporacji rekrutacyjnej w Tokio. Źródło: <https://upload.wikimedia.org/>, <https://cdn0.vox-cdn.com/uploads/>, <https://kristaninapan.files.wordpress.com/>, dostęp 02-03-2017 / The building and interior of the urban vertical farm, the headquarters of the recruiting corporation in Tokyo. Source: <https://upload.wikimedia.org/>, <https://cdn0.vox-cdn.com/uploads/>, <https://kristaninapan.files.wordpress.com/>, access 02-03-2017





niebieskiego stosowany jest ultrafioletowy, który promuje pigmentację, pogrubia liście i zapobiega działalności szkodliwych owadów, podczerwony jako dopełnienie czerwonego w okresie kwitnienia i zielony w celu uzyskania obrazu rzeczywistego wyglądu roślin<sup>6</sup>. W efekcie uprawy skąpane są w różowo-fioletowej poświacie, którą dają dominujące czerwone i niebieskie lampy LED. Z uwagi na dominujący kolor światła takie miejskie farmy pionowe nazywane są niekiedy różowymi domami (Pink Houses). Odpowiednio zaprojektowane, m.in. w zakresie intensywności, częstotliwości i długości fal, systemy sztucznego oświetlenia procesu wzrostu roślin pozwala zaplanować i kontrolować przyrost ich wagi, kształt, kolor a nawet smak.

Najbardziej zaawansowane prace prowadzone nad zastosowaniem światła sztucznego do upraw roślin dotyczą systemów odpowiednich dla warzyw liściowych. Prowadzone są również doświadczenia nad uzyskaniem technologii sztucznego oświetlenia możliwych do efektywnego zastosowania w uprawie warzyw psiankowatych, ziół a nawet owoców<sup>7</sup>.

Współczesne tendencje i kierunki produkcji i badań nad systemami upraw warzyw w sztucznym świetle w miejskich zamkniętych farmach pionowych bardzo dobrze ilustrują japońskie farmy w Tohoku i Yokosuka. Obie należą do producentów elektroniki użytkowej i zostały założone w fabrycznych halach, w których zaprzestano podstawowej dla firm produkcji.

Spółka będąca właścicielem „fabryki roślin” w Tohoku w 2013 r. rozpoczęła bezglebową, hydroponiczną uprawę sałaty. Praktyczne wdrożenie zastosowanej technologii upraw ma zaprezentować sposób na przeciwdziałanie powszechnym w Japonii obawom o spadek podaży krajowych warzyw i uzależnienie kraju od ich importu poprzez udowodnienie, że warzywa mogą być produkowane w prawie każdym miejscu. Gospodarstwo dostarcza 10 000 główek sałaty dziennie. Dojrzewają one na osiemnastu piętnastopoziomowych regałach tworzących w sumie ok. 2320 m<sup>2</sup> powierzchni upraw. W oświetlanym automatycznie sterowanymi lampami LED zamkniętym, wolnym od bakterii i pestycydów środowisku wzrostu, rośliny dojrzewają około 2,5 raza szybciej niż w tradycyjnych gospodarstwach (il. 4). Producent zastosowanego w Tohoku systemu oświetlenia upraw twierdzi, że zmniejsza on zużycie energii o 40% w porównaniu z oświetleniem jarzeniowym, co zwiększa wydajność zbiorów o 50%<sup>8</sup>.

W zakładzie w Yokosuka od 2014 r. na skalę przemysłową prowadzone są bezglebowe hydroponiczne uprawy różnych warzyw liściowych (il. 5). Dzięki stosowanym pożywkom dla roślin oraz odpowiednim próżniowym opakowaniom warzywa mają przedłużony okres przydatności do spożycia. Rośliny

ors are blue, required during the vegetative growth phase, and red, which accelerates germination and supports budding and plant flowering. The blue color is supplemented by ultraviolet, which promotes pigmentation, thickens the leaves and prevents harmful insect activity, whereas the infrared acts as a supplementation of the red color during flowering, and the green color is used to obtain an image of the actual appearance of the plants<sup>6</sup>. As a result the crops are bathed in a pink-violet glow created by the dominant red and blue LED lamps. Due to the predominant light color, such urban vertical farms are sometimes referred to as pink houses. The systems for the artificial lighting of the plant growth process, appropriately designed i.a. in terms of the intensity, frequency and wavelength of the light, allow us to plan and control the plant's weight gain, shape, color and even taste.

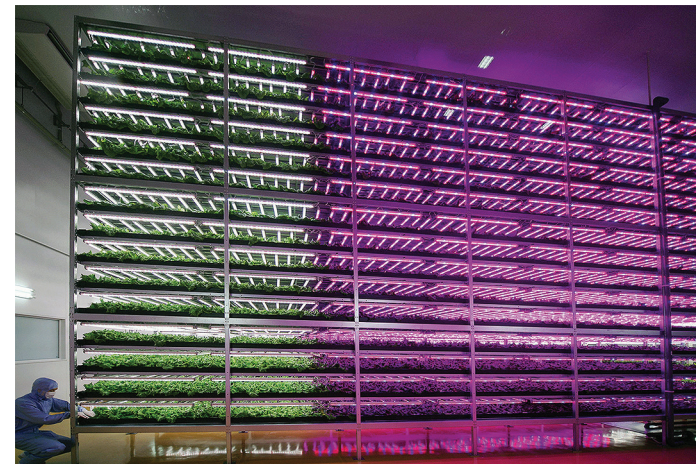
The most advanced works carried out on the utilization of artificial lighting for plant crops concern systems suitable for leaf vegetables. Experiments are also conducted in order to obtain artificial lighting technologies that could be effectively used in the cultivation of nightshades, herbs and even fruits<sup>7</sup>.

Contemporary trends and directions in the production and research on systems for the cultivation of vegetables under artificial light in urban enclosed vertical farms are very well illustrated by the Japanese farms in Tohoku and Yokosuka. Both belong to manufacturers of consumer electronics and have been set up in factory halls, where the basic production activities of these companies were stopped.

In 2013 the company that owns the “plant factory” in Tohoku launched the soilless, hydroponic cultivation of lettuce. The practical implementation of the applied cultivation technology is supposed to present a way to counter Japan's widespread concern regarding the decline in the supply of domestic vegetables and the country's dependence on their imports, by proving that vegetables can be produced in almost every place. The farm supplies 10 000 lettuce heads per day. They grow on eighteen fifteen-storey racks forming a total cultivation area of about 2320 m<sup>2</sup>. In this closed growth environment, lit by automatically controlled LED lamps, free of bacteria and pesticides, the plants mature about 2.5 times faster than on traditional farms (il. 4). The manufacturer of the crop lighting system used in Tohoku claims, that it reduced energy consumption by 40% compared to fluorescent bulbs, which increases harvest efficiency by 50%<sup>8</sup>.

At the Yokosuka plant, soilless hydroponic cultivation of various leafy vegetables has been carried out on an industrial scale since 2014 (il. 5). Thanks to the

il. 4. „Fabryka roślin” w Tohoku. Źródło: <http://news.nationalgeographic.com/>, dostęp 12-04-2017 / „Plants factory” in Tohoku. Source: <http://news.nationalgeographic.com/>, access 12-04-2017



il. 5. Sterylne pomieszczenia miejskiej farmy pionowej w Yokosuka. Źródło: <https://offsource.wordpress.com/>, <http://mms.businesswire.com/>, dostęp 12-04-2017 / Clean rooms in the vertical farm in Yokosuka. Source: <https://offsource.wordpress.com/>, <http://mms.businesswire.com/>, access 12-04-2017



il. 6. Fabryka żywności w Kameoka, Japonia. Sałata uprawiana hydroponicznie przy użyciu cyklicznego oświetlania lampami LED. Źródło: <http://www.japantimes.co.jp/>, <http://static4.businessinsider.com/>, dostęp 22-04-2017 / Food factory in Kameoka, Japan. Lettuce is grown hydroponically using timed doses of LED light. Source: <http://www.japantimes.co.jp/>, <http://static4.businessinsider.com/>, access 22-04-2017

umieszczone na półkach-tacach dziewięciopoziomowych regałów docelowo mają dawać plony w wysokości 3 mln sztuk warzyw rocznie z ok. 1 950 m<sup>2</sup> powierzchni upraw. Większość półek oświetlana jest świetłówkami. Część upraw poddawana jest badaniom dotyczącym wpływu różnych barw światła lamp LED na ich jakość i tempo wzrostu<sup>9</sup>.

Zarówno w Tohoku, jak i w Yokosuka warzywa dojrzewają bez dostępu światła słonecznego, w sterylnym środowisku monitorowanym przez systemy regulujące wilgotność, temperaturę i ciśnienie, bez użycia chemicznych środków ochrony roślin. Przebywanie w halach produkcyjnych możliwe jest tylko w ochronnych kombinezonach i maskach, które mają przeciwdziałać przenoszeniu zewnętrznych zanieczyszczeń (il. 5).

#### 4. Podsumowanie

Uprawa roślin użytkowych w miejskich farmach pionowych pozwala na optymalnie dużą produkcję żywności na stosunkowo niewielkiej powierzchni i zminimalizowanie kosztów

utilized plant nutrients and the appropriate vacuum packaging, the vegetables have an extended shelf-life. Plants placed on the shelves of nine-storey racks are eventually supposed to yield 3 million pieces of vegetables per year from a cultivation area of about 1 950 m<sup>2</sup>. The majority of shelves are lit by fluorescent bulbs. Parts of the crops are subjected to studies on the effect of various colors of LED lamps on the plant quality and growth rate<sup>9</sup>. Both in Tohoku and in Yokosuka the vegetables ripen without the access of sunlight, in a sterile environment monitored by systems regulating humidity, temperature and pressure, without the use of chemical plant protection agents. The personnel may only stay in the production halls wearing protective suits and masks, which are designed to prevent the transfer of external pollution (il. 5).

#### 4. Summary

The cultivation of useful plants in urban vertical farms allows us to produce optimally large



transportu. Ponadto takie farmy wytwarzają znacznie mniej odpadów niż uprawy tradycyjne, nie powodują zjawiska spływu z terenów uprawowych oraz generują minimalne ilości gazów cieplarnianych. Ich powstawanie pozwala na efektywną rewitalizację obiektów i terenów postindustrialnych.

Coraz powszechniej miejska farma pionowa przyjmuje postać „fabryki warzyw”, w której w warunkach laboratoryjnych sadzonki w sztucznym świetle rosną na półkach ustawianych jak w magazynach – od podłogi po sufit (il. 4, 5, 6). Zarówno światło, jak i nawodnienie, parametry powietrza, podłoże i dostarczane roślinom składniki odżywcze są na bieżąco monitorowane przez sterowane komputerowo systemy. Systemy takie znajdują również zastosowanie w farmach pionowych – wznoszonych na dachach oraz szklarniach wieżowcach, w których wzrost roślin odbywa się z udziałem światła naturalnego [il. 1, 2, 3]. Podstawowym problem dla ich wznoszenia stanowi utrudniony w mieście dostęp do upraw światła naturalnego. W wielu krajach dynamiczny rozwój wysokiej architektury miejskiej powoduje, że światło naturalne jest coraz trudniej dostępne. Trudności ze znalezieniem odpowiedniej lokalizacji mieli m. in. inwestorzy wznoszący wcześniej przywołaną w tekście farmę pionową w Singapurze (il. 1), gdzie większość terenów jest zacieniona przez przeważającą intensywną, wysoką zabudowę<sup>10</sup>.

Zaawansowane systemy sztucznego oświetlenia mogą poprawić jakość i zwiększyć ilość upraw, zapewniając przy tym oszczędność energii. Chociaż diody LED koncentrujące się na konkretnych pasmach fal nie są jeszcze opłacalne w celach komercyjnych, przewiduje się, że efektem prowadzonych nad nimi intensywnych badań będzie uzyskanie niedrogich systemów oświetleń dla innowacyjnych technologii rolniczych upraw w pomieszczeniach, a zatem i w zamkniętych miejskich farmach pionowych. Prowadzone obecnie na świecie badania nad wzrostem roślin w świetle lamp LED skupiają się głównie nad dobraniem odpowiednich długości fal dla poszczególnych faz ich wzrostu, skróceniem okresu wegetacji, jak i dostosowaniem rodzaju światła sztucznego do różnych odmian roślin.

Krytyka farm pionowych o wymienionych rodzajach oświetlenia upraw odnosi się przede wszystkim ich opłacalności ekonomicznej i braku opracowań porównawczych. Z uwagi na nieliczne współczesne realizacje, stosunkowo krótki okres ich działalności i różne formy współfinansowania trudno analizować i porównywać ekonomiczną opłacalność produkcji w miejskich farmach pionowych. Niesprecyzowane są też koszty zużycia energii potrzebnej do sztucznego oświetlenia, ogrzewania i innych procesów związanych z pionową działalnością rolniczą w mieście. Niekorzystnym zjawiskiem jest występowanie efektu „zanieczyszczenia światłem”, charakterystycznego dla farm-szklarni. Otwarte pozostaje zagadnienie wpływu roślin wzrastających w sztucznym świetle, zwłaszcza w świetle lamp LED, na organizm konsumenta. Stosunkowo krótki okres stosowania tego typu oświetlenia nie pozwala na uzyskanie wiarygodnych wyników ewentualnych badań.

Miasta zajmują jedynie 2–3% powierzchni lądów, ale rozwijają się niezwykle szybko i już wykorzystują 75% zasobów Ziemi.

quantities of food on a relatively small area and to minimize the transportation costs. In addition, such farms produce much less waste than traditional cultivation, do not cause agricultural runoff from the cultivation area, and generate minimal quantities of greenhouse gases. The creation of such farms allows for the effective revitalization of postindustrial objects and areas.

The increasingly popular urban vertical farm takes the form of a “vegetable factory”, where in laboratory conditions plants grow under artificial light on shelves set up like in warehouses – from the floor to the ceiling (il. 4, 5, 6). The lighting, the hydration, the air parameters, the substrate and the nutrients supplied to the plants are monitored on an ongoing basis by computer-controlled systems. Such systems are also used in vertical farms – erected on roofs and in greenhouse skyscrapers, where the plant growth occurs in the presence of natural light (il. 1, 2, 3). The basic problem for their establishment is the access of the crops to natural light, which is very difficult in the city. In many countries the dynamic development of tall urban architecture makes natural light increasingly difficult to access. Difficulties in finding an appropriate location were encountered among others by the investors erecting the previously mentioned vertical farm in Singapore (il. 1), where the majority of available land is shaded by the dominating, intensive and tall building developments<sup>10</sup>.

The advanced systems of artificial lighting could improve quality and increase crop yields, while simultaneously providing energy savings. Although LED diodes focusing on specific wavelengths are not yet commercially viable, it is projected that the intensive research conducted on them will result in the emergence of affordable illumination systems for innovative technologies of indoor agricultural cultivation, and thus also for enclosed urban vertical farms. The currently conducted research on the growth of plants under the light of LED lamps is mainly focused on selecting the appropriate wavelengths for each phase of their growth, shortening of the vegetation period, and adjusting the type of artificial light to the individual plant varieties.

The criticism of vertical farms with the aforementioned types of lighting of crops primarily refers to their economic viability and the lack of comparative studies. Due to the small number of contemporary implementations, the relatively short period of their activity and the various forms of co-financing, it is difficult to analyze and compare the economic profitability of production in urban vertical farms. It is difficult to determine the cost of the consumption of energy required for the artificial lighting, heating and other processes associated with the vertical agricultural activity in the city. One unfavorable phenomenon is the occurrence of the effect of “light pollution”, typical for greenhouse farms. The question of the impact of plants grown under artificial light, and especially under light from LED lamps, on the body of the consumers also remains open. The relatively short period of use of this type of lighting does not yet allow us to obtain reliable research results. Cities only occupy 2–3 percent of the Earth’s land surface, but are developing very quickly and already use 75% of the Earth’s resources. Their

Ich powierzchnia zwiększa się dużo wolniej niż gęstość zaludnienia co oznacza, że na coraz mniejszym obszarze mieszka coraz więcej ludzi, którzy nie produkują, ale potrzebują żywności. Miejskie farmy pionowe mogą być sposobem na zaspokojenie rosnącego zapotrzebowania na bezpieczną, świeżą żywność, zwłaszcza w krajach wysoko zurbanizowanych, gdzie przestrzeń jest na wagę złota.

#### PRZYPISY:

- <sup>1</sup> D. Graham-Rowe, *Are vertical farms the future of urban food?* <http://www.guardian.co.uk/>; S. Grover, *Vertical Farm at UK Zoo: 20-Fold Increase in Yield Per Acre*, <http://www.treehugger.com/>, dostęp 21-02-2017.
- <sup>2</sup> L. Zimmer, *The World’s First Commercial Vertical Farm Opens in Singapore*, <http://inhabitat.com/>; L. Chow, *World’s First Hydraulic-Driven Vertical Farm Produces 1 Ton of Vegetables Every Other Day*, <http://www.ecowatch.com/>, dostęp 21-02-2017.
- <sup>3</sup> *Agriculture reaches for the skies in New York’s pioneering commercial greenhouse atop a supermarket*, <http://gothamgreens.com/>; D. Willmott, *Urban Farming Hits The Roof*, <http://www.huffingtonpost.com/>, dostęp 29-01-2017.
- <sup>4</sup> B. Meinhold, *Pasona HQ is an Urban Farm That Grows Food For Its Employees in Tokyo*, <http://inhabitat.com/>; *Pasona Urban Farm by Kono Designs*, <http://www.dezeen.com/>, dostęp 02-03-2017.
- <sup>5</sup> B. Mitchell, *The World’s Largest Indoor Farm Produces 10,000 Heads of Lettuce a Day in Japan*, <http://inhabitat.com/>; L. Reiley, *For Farmer Dave and indoor farming, things are looking up*, Tampa Bay Times, <http://www.tampabay.com/>, dostęp 07-04-2017.
- <sup>6</sup> <https://vibrosho.wordpress.com/tag/temperatura-barwowa/> i <https://www.neoled.com.pl/>, dostęp 30-03-2017.
- <sup>7</sup> C. DiStasio, *Futuristic Japanese indoor vertical farm produces 12,000 heads of lettuce a day with LED lighting*, <http://inhabitat.com/>; H. Koga, *How a Japanese Vertical Farm is Growing Strawberries using LED for the First Time*, <https://agfundernews.com/>, dostęp 10-04-2017.
- <sup>8</sup> N. Culzac, *Japanese plant experts produce 10,000 lettuce heads a day in LED-lit indoor farm*, <http://www.independent.co.uk/>; G. Dickie, *Q&A: Inside the World’s Largest Indoor Farm*, National Geographic, <http://news.nationalgeographic.com/>, dostęp 12-04-2017.
- <sup>9</sup> C. Payne, *Toshiba’s ‘Clean’ Factory Farm Produces 3 Million Bags of Lettuce a Year Without Sunlight or Soil*, <http://inhabitat.com/>; L. Luterio, *Toshiba Factory Converted into High-Tech Vegetable Farm*, <http://www.psfk.com/>, dostęp 12-04-2017.
- <sup>10</sup> L. Zimmer, *The World’s First Commercial Vertical Farm Opens in Singapore*, <http://inhabitat.com/>; L. Chow, *World’s First Hydraulic-Driven Vertical Farm Produces 1 Ton of Vegetables Every Other Day*, <http://www.ecowatch.com/>, dostęp 21-03-2017.

#### LITERATURA:

- [1] Bailey G.E., *Vertical Farming*, Wilmington 1915.
- [2] Hart S., *Ecoarchitecture: The Work of Ken Yeang*, John Wiley & Sons Ltd., London 2011.
- [3] Hix J., *The Glass House*, MIT Press, Cambridge 1974.
- [4] Khoo H.M., *Sky Urban Solutions. Vertical Farming – An Urban Agriculture Solution*, Nanyang TU, Singapore 2016.
- [5] Koga H., *How a Japanese Vertical Farm is Growing Strawberries using LED for the First Time*, <https://agfundernews.com/>, dostęp 04-03-2017.
- [6] Powell R., *Rethinking the Skyscraper: The Complete Architecture of Ken Yeang*, Whitney Library of Design, New York 1999.
- [7] Sholto J.D., *Hydroponics: The Bengal system: with notes on other methods of soilless cultivation*, Oxford University Press, 1970.
- [8] Waterford D., *21st Century Homestead: Urban Agriculture*, Lulu.com, 2015.
- [9] Yeang K., *The Skyscraper Bioclimatically Considered: A Design Primer*, Academy Group Ltd., London 1996.

surface area is increasing much more slowly than their population density, which means that increasingly small areas are inhabited by more and more people who do not produce, but need food. Urban vertical farms may become a way of meeting the growing demand for safe, fresh food, especially in highly urbanized countries, where free space is scarcely available.

#### ENDNOTES:

- <sup>1</sup> D. Graham-Rowe, *Are vertical farms the future of urban food?*, <http://www.guardian.co.uk/>; S. Grover, *Vertical Farm at UK Zoo: 20-Fold Increase in Yield Per Acre*, <http://www.treehugger.com/>, access 21-02-2017.
- <sup>2</sup> L. Zimmer, *The World’s First Commercial Vertical Farm Opens in Singapore*, <http://inhabitat.com/>; L. Chow, *World’s First Hydraulic-Driven Vertical Farm Produces 1 Ton of Vegetables Every Other Day*, <http://www.ecowatch.com/>, access 21-02-2017.
- <sup>3</sup> *Agriculture reaches for the skies in New York’s pioneering commercial greenhouse atop a supermarket*, <http://gothamgreens.com/>; D. Willmott, *Urban Farming Hits The Roof*, <http://www.huffingtonpost.com/>, access 29-01-2017.
- <sup>4</sup> B. Meinhold, *Pasona HQ is an Urban Farm That Grows Food For Its Employees in Tokyo*, <http://inhabitat.com/>; *Pasona Urban Farm by Kono Designs*, <http://www.dezeen.com/>, access 02-03-2017.
- <sup>5</sup> B. Mitchell, *The World’s Largest Indoor Farm Produces 10,000 Heads of Lettuce a Day in Japan*, <http://inhabitat.com/>; L. Reiley, *For Farmer Dave and indoor farming, things are looking up*, Tampa Bay Times, <http://www.tampabay.com/>, access 07-04-2017.
- <sup>6</sup> <https://vibrosho.wordpress.com/tag/temperatura-barwowa/> and <https://www.neoled.com.pl/>, access 30-03-2017.
- <sup>7</sup> C. DiStasio, *Futuristic Japanese indoor vertical farm produces 12,000 heads of lettuce a day with LED lighting*, <http://inhabitat.com/>; H. Koga, *How a Japanese Vertical Farm is Growing Strawberries using LED for the First Time*, <https://agfundernews.com/>, access 10-04-2017.
- <sup>8</sup> N. Culzac, *Japanese plant experts produce 10,000 lettuce heads a day in LED-lit indoor farm*, <http://www.independent.co.uk/>; G. Dickie, *Q&A: Inside the World’s Largest Indoor Farm*, National Geographic, <http://news.nationalgeographic.com/>, access 12-04-2017.
- <sup>9</sup> C. Payne, *Toshiba’s ‘Clean’ Factory Farm Produces 3 Million Bags of Lettuce a Year Without Sunlight or Soil*, <http://inhabitat.com/>; L. Luterio, *Toshiba Factory Converted into High-Tech Vegetable Farm*, <http://www.psfk.com/>, access 12-04-2017.
- <sup>10</sup> L. Zimmer, *The World’s First Commercial Vertical Farm Opens in Singapore*, <http://inhabitat.com/>; L. Chow, *World’s First Hydraulic-Driven Vertical Farm Produces 1 Ton of Vegetables Every Other Day*, <http://www.ecowatch.com/>, access 21-03-2017.

#### BIBLIOGRAPHY:

- [1] Bailey G.E., *Vertical Farming*, Wilmington 1915.
- [2] Hart S., *Ecoarchitecture: The Work of Ken Yeang*, John Wiley & Sons Ltd., London 2011.
- [3] Hix J., *The Glass House*, MIT Press, Cambridge 1974.
- [4] Khoo H.M., *Sky Urban Solutions. Vertical Farming – An Urban Agriculture Solution*, Nanyang TU, Singapore 2016.
- [5] Koga H., *How a Japanese Vertical Farm is Growing Strawberries using LED for the First Time*, <https://agfundernews.com/>, dostęp 04-03-2017.
- [6] Powell R., *Rethinking the Skyscraper: The Complete Architecture of Ken Yeang*, Whitney Library of Design, New York 1999.
- [7] Sholto J.D., *Hydroponics: The Bengal system: with notes on other methods of soilless cultivation*, Oxford University Press, 1970.
- [8] Waterford D., *21st Century Homestead: Urban Agriculture*, Lulu.com, 2015.
- [9] Yeang K., *The Skyscraper Bioclimatically Considered: A Design Primer*, Academy Group Ltd., London 1996.