

# Architektoniczne metody walki z zanieczyszczeniem powietrza

## Architectural methods of fighting air pollution

### Streszczenie

Jednym z największych zagrożeń dla dynamicznie rozwijających się na całym świecie miast jest skażenie powietrza. Powoduje ono wiele problemów, na czele z najpoważniejszymi, dotyczącymi zdrowia mieszkańców. Szacuje się, że w samej Europie dochodzi do ok. 600 tysięcy przedwczesnych zgonów spowodowanych smogiem. Przekłada się to na ok. 1,6 biliona dolarów straty dla europejskich gospodarek. Liczby te pokazują jak istotna jest walka z tym zagrożeniem. Poniższy artykuł w sposób przeglądowy pokazuje rozwiązania, które zostały wprowadzone przez architektów w ciągu ostatnich lat, aby wspomóc mieszkańców miast w zmaganiach z zanieczyszczonym powietrzem. Prezentuje też projekty będące w fazie eksperymentalnej, posiadające potencjał wdrożeniowy.

### Abstract

One of the greatest threats to cities that are dynamically developing all over the world is air pollution. It causes numerous problems, including the most severe ones, which concern the health of residents. It is estimated that there are around 600 thousand early deaths associated with smog in Europe. This leads to a loss of around 1,6 billion dollars for European economies. These numbers show just how significant the fight against this threat really is. The article below presents solutions that have been introduced by architects in order to aid the residents of cities in their struggle with polluted air over the past several years, in the form of a review. It also presents designs that are in their experimental stages and which show potential for application.

Słowa kluczowe: smog, zrównoważony rozwój, tlenek tytanu, zielona architektura

Keywords: smog, sustainable development, titanium oxide, green architecture

Wiele miast na świecie boryka się z problemem zanieczyszczenia powietrza. Nie jest to problem nowy. O zagrożeniach które, z niego wynikają przekonali się np. mieszkańcy Londynu w roku 1952. Pomiędzy 5 a 9 grudnia tego roku w stolicy Anglii utrzymywało się bardzo wysokie stężenie substancji szkodliwych w powietrzu. Szacuje się, że ilość ofiar które za sobą pociągnęły te wydarzenia wyniosła 12 tysięcy ludzi<sup>1</sup>. Jest to oczywiście przykład ekstremalny, jednak obrazuje idealnie jak niebezpieczne może być to zjawisko.

Obecnie najbardziej zanieczyszczone miasta znajdują się w Indiach. W pierwszej dziesiątce jest ośmiu przedstawicieli tego kraju. W tym stolica kraju Delhi (w skład którego wchodzi New Delhi – oficjalna stolica państwa) oraz światowy rekordzista w stężeniu smogu, którym jest Gwalijar (ważny ośrodek chemiczny i tekstylny)<sup>2</sup>.

Lepiej sytuacja przedstawia się w Europie, gdzie zanieczyszczenie powietrza jest znacznie niższe. Niestety w Unii Europejskiej dwa najbardziej zanieczyszczone państwa to Polska i Bułgaria. W naszym kraju problem przekraczania norm czystości powietrza ustalonych przez WHO (World Health Organization) dotyczy 72% miast, w Bułgarii jest to aż 83%. Sytuacja ta koniecznie musi ulec zmianie, gdyż rocznie w wyniku chorób spowodowanych przez smog umiera w Polsce 44 tysiące osób<sup>3</sup>.

Many cities around the world are struggling with the problem of air pollution. It is not a new problem. The residents of London came to know firsthand the threats that stem from it in 1952. Between the 5<sup>th</sup> and 9<sup>th</sup> of December of that year there was a very high concentration of harmful substances in the air of Great Britain's capital. It is estimated that the number of casualties this event entailed amounted to 12 thousand people<sup>1</sup>. This is, of course, an extreme example, but it nevertheless perfectly illustrates just how dangerous this phenomenon can be.

The most polluted cities are currently located in India. There are eight cities from this country in the global top ten. They include the country's capital, Delhi (which includes New Delhi—the official state capital), as well as the world-record holder in smog levels, which is Gwalijar (an important chemical and textile centre)<sup>2</sup>.

The situation presents itself better in Europe, where air pollution is much lower. Unfortunately, the two most polluted countries in the European Union are Poland and Bulgaria. In our country the problem of exceeding air quality standards established by the World Health Organisation affects 72 % of cities, while in Bulgaria it affects as much as 83 %. The situation must change, as 44 thousand people die in Poland as a result of health issues caused by smog each year<sup>3</sup>.

\* Mgr inż. arch. Piotr Broniewicz, Katedra Kształtowania Środowiska Mieszkaniowego, Instytut Projektowania Urbanistycznego, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska / mgr inż. arch. Piotr Broniewicz, Chair of the Shaping of the Housing Environment, Institute of Urban Design, Faculty of Architecture, Cracow University of Technology. piotrbroniewicz@hotmail.com

Godnym naśladowania jest przykład Chin, które jeszcze w 2013 roku okupowały listę najbardziej zanieczyszczonych miast, ze swoją stolicą na czele rankingu. Od tamtej pory, między innymi dzięki wprowadzeniu na masową skalę do miast pojazdów elektrycznych, czy zastosowanie mechanicznych filtrów powietrza, znacząco zredukowano poziom smogu tak, że w najnowszym raporcie WHO monitorującym stężenie zanieczyszczenia powietrza, pierwsze miasto z tego kraju pojawia się dopiero na 39 miejscu. Równie spektakularne dokonania można zauważyć w krajach Ameryki Środkowej i Południowej. W mieście Meksyk w latach 90-tych tylko 10 dni w ciągu roku było bez smogu, a obecnie występuje on „tylko” w ciągu 250 dni. W Limie w ciągu ostatniej dekady obniżono poziom smogu o 50%<sup>4</sup>. Niestety pomimo tak istotnej zmiany wciąż trzykrotnie są tu przekroczone normy WHO.

W Polsce dzięki staraniom obywateli, zrzeszonych wokół różnych instytucji pozarządowych takich jak Alarm Smogowy, zauważa się pewną poprawę stanu powietrza. Wpływ na to mają coraz bardziej restrykcyjne normy jakości paliw stałych oraz pieców służących do ogrzania domów. Programy takie jak dofinansowanie wymiany pieców w już istniejących budynkach. Kontrole straży miejskiej mające na celu wyłapanie mieszkańców palących śmieciami, w tym kontrole z wykorzystaniem dronów wyposażonych w aparaturę umożliwiającą analizę dymu unoszącego się z kominów. W wielu miastach pojawiły się też systemowe rozwiązania zachęcające do przesiadania się z samochodów do komunikacji miejskiej lub korzystania z sieci wypożyczalni rowerowych. Niewątpliwie czynnikiem, który przyspieszył te zmiany jest przegrany przez Polskę proces przed Trybunałem Sprawiedliwości UE, który 22 lutego 2018 orzekł, że Polska winna jest zaniedbań w latach 2007-2015, które powodowały stałe przekroczenie unijnych norm zawartych w dyrektywie dotyczącej jakości Europejskiego powietrza. Wyrok ten daje możliwość ukarania Polski przez Komisję Europejską grzywną w wysokości do 4 miliardów złotych<sup>5</sup>.

Także w środowisku architektów i urbanistów jest to często poruszany temat, który pobudza do eksperymentowania i szukania nowych rozwiązań. Wprowadzenie zero emisyjnych budynków lub takich, które dzięki różnego rodzaju nowoczesnym rozwiązaniom budowlanym zużywają minimalne ilości energii, to w niektórych gałęziach budownictwa już standard. Obecnie wprowadzane są budynki zaprojektowane, tak aby oczyszczać miejskie powietrze ze smogu. Różnych rozmiarów wieże anty-smogowe powstają na całym świecie na razie jako pokaz możliwości, ale w niedługim czasie może to być popularny sposób radzenia sobie z tym palącym problemem. Wprowadzane rozwiązania to nie tylko nowoczesne budynki ale również mała architektura, która zyskuje dodatkowe funkcje.

#### Mała architektura

Orężem w walce ze smogiem może okazać się mała architektura. Obecnie na rynku pojawia się coraz więcej gotowych projektów, które mają radzić sobie z zanieczyszczeniem powietrza. Jednym z ciekawszych jest pomysł niemieckiej firmy Green City Solutions. Ławka zbudowana wokół ściany z zamontowanymi panelami ze zmodyfikowanego genetycznie mchu. Praca została nagrodzona podczas Smogathonu

The example of China, which occupied the list of the most polluted cities as recently as 2013, with its capital taking first place, is worthy of following. Since that time, thanks to, among other things, the introduction of electric vehicles into cities on a massive scale or the implementation of mechanical air filters, smog levels have been reduced significantly enough that in the latest WHO report monitoring the concentration of air pollution, the top city from that country ranked as low as 39<sup>th</sup> place. Equally spectacular achievements could be observed in countries of Central and Southern America. In Mexico City in the 1990's there were only 10 days without smog per year, while currently smog is present during “only” 250 days. In Lima smog levels have been lowered by 50 % over the past decade<sup>4</sup>. Unfortunately, despite such significant change, WHO's standards are still exceeded threefold there.

In Poland, thanks to the efforts of citizens organised around various non-government institutions, such as Alarm Smogowy (Smoke Alert in English—transl. note), a certain improvement in air quality has been observed. This has been influenced by increasingly restrictive solid fuel quality standards, as well as those concerning furnaces used for domestic heating. Programmes such as the subsidising of the replacement of furnaces in already existing buildings, inspections by municipal guard officers meant to catch residents who use waste as fuel, including inspections performed using drones fitted with devices making it possible to analyse the smoke rising from chimneys. In many cities systemic solutions encouraging citizens to switch from cars to public transport or to use bicycle rental chains have appeared. Undoubtedly, one factor that has hastened these changes is the legal case that Poland lost in front of the Court of Justice of the European Union, which issued a verdict on the 22<sup>nd</sup> of February 2018 that Poland was guilty of neglect that caused a permanent exceeding of EU standards featured in the directive concerning European air quality during the years 2007–2015. This verdict makes it possible for the European Commission to punish Poland with a fine of up to 4 billion PLN<sup>5</sup>.

This subject is also often discussed among architects and urban planners, stimulating experimentation and the pursuit of new solutions. The introduction of zero-emission buildings or those that, thanks to various types of high-tech construction solutions use only a minimum amount of energy, in some branches of the construction sector it has already become a standard. Buildings designed with purifying the air of cities from smog in mind are currently being introduced. Anti-smog towers of various sizes are being built all over the world, so far mostly as a demonstration of their capabilities, but they can soon become a popular manner of dealing with this urgent problem. The solutions that are being introduced include not only modern buildings, but also street furniture, which is gaining new functions.

#### Street furniture

Street furniture can turn out to be a weapon in the fight against smog. More and more complete designs that are meant to deal with air pollution are appearing on the market. One of the more interesting ones is the idea by the Green City Solutions company from Germany. It is a bench built around a wall featuring panels from genetically modified moss. The work won first prize during the 2016

2016 roku pierwszym miejscem. Dzięki zastosowaniu modyfikacji genetycznych, zielona ściana o wymiarach 3x4 metra wchłania tyle samo pyłu co 275 drzew, zajmując przy tym 99% mniej powierzchni<sup>6</sup>. Według autorów, do poprawy stanu powietrza w całym Krakowie potrzebne byłoby około tysiąc tego rodzaju instalacji. Dlatego obecnie jest to bardziej element wspomagający niż realne rozwiązanie problemu niskiej jakości powietrza. Instalacje tego typu spotkać można w Paryżu, Brukseli, Oslo i wielu innych miastach.

Innym projektem, który ma zwracać uwagę na problem braku zieleni we współczesnych miastach, a co za tym idzie brak naturalnych reduktorów pyłów zawieszonych w powietrzu, to tzw. Bobbing Forest autorstwa Jeroen'a Everaert'a. Zakłada on wykorzystanie starych, wycofywanych z użycia boi morskich, przekształconych w taki sposób aby mogły na nich rosnąć drzewa. Tak przygotowane mogą pływać po miejskich stawach, jeziorach lub rzekach, wprowadzając zieleń tam gdzie jej zastosowanie w innych warunkach byłoby mocno utrudnione. Blisko 20 sztuk pływających donic można już oglądać w Rotterdamie<sup>7</sup>.

Niekonwencjonalnym pomysłem na walkę z zanieczyszczeniem powietrza, z pogranicza architektury i sztuki, jest pomysł zaprezentowany przez amerykański startup Arteoli<sup>8</sup>. Firma zaprezentowała panele mocowane do ściany które za pomocą specjalnie dostosowanej technologii mikroprzepływów uzdatniają powietrze w swoim najbliższym otoczeniu. Tym, co wyróżnia tą koncepcję jest ukrycie gotowego rozwiązania w formie obrazu lub grafiki, która dodatkowo ozdobi przestrzeń, w której zostanie zamontowana. Równie interesujące pod względem artystycznym jak i skuteczności działania są murale wykonywane przy pomocy farb z domieszką tlenu tytanu. Rozwiązanie takie można spotkać na przykład w Poznaniu.

Koncepcja jaką przedstawili naukowcy z UTEC w Limie, zakłada wykorzystanie plansz reklamowych do filtrowania powietrza w mieście. Eksperymentalny billboard stanął na placu budowy kilku budynków mieszkalnych w stolicy Peru. W jego wnętrzu umiejscowiono mechanizm przypominający ten wykorzystywany w domowych oczyszczaczach. Do uwalniania z zanieczyszczeń wykorzystano filtr wodny, przez który przepuszczane zostaje zassane powietrze. Całość pobiera około 2.5 kilowata energii na godzinę przy wydajności sięgającej 100 tysięcy metrów sześciennych dziennie. W wyniku działania urządzenia zostaje usuniętych 99% kurzu, drobin pyłu, drobnoustrojów i bakterii<sup>9</sup>.

#### Wieże antysmogowe

Odmiernym rodzajem formy architektonicznej która może przyczynić się do poprawy stanu powietrza, są wieże antysmogowe. Ich wydajność zależy od ich gabarytów i rodzaju filtrów zastosowanych wewnątrz. Część z nich jak na przykład Smog Free Tower autorstwa architekta Daana Roosegaarde'a z Rotterdamu wydaje się być bardziej chwytem marketingowym pobudzającym do dyskusji na temat zanieczyszczenia niż prawdziwym remedium na ten problem. Podczas kilkumiesięcznych prób wieży ustawionej w krakowskim parku Jordana, przeprowadzono badania jej skuteczności. Zespół naukowców z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie pokazał, że wieża

edition of Smogathon. Thanks to the implementation of genetic modifications, the green wall, 3x4 metres in size, absorbs the same amount of particulate matter as 275 trees, occupying 99 % less space<sup>6</sup>. According to the authors, around one thousand of such installations would be required to improve air quality in the entire city of Krakow. This is why it is currently more of a supporting element than an actual solution to the problem of low air quality. Installations of this type can be found in Paris, Brussels, Oslo and many other cities.

Another project that is meant to point our attention to the problem of the lack of greenery in contemporary cities and thus the lack of natural reducers of particulate matter suspended in the air is the so-called Bobbing Forest by Jeroen Everaert. It involves the use of old retired sea buoys transformed in such a manner as to make it possible for trees to grow inside them. When prepared in this manner, they can float around a city's lakes, ponds or rivers, introducing greenery where its introduction in other conditions would be otherwise very difficult. Close to 20 of such floating tree pots can already be observed in Rotterdam<sup>7</sup>.

One unconventional idea for combating air pollution from the border between architecture and the arts is the idea presented by the American start-up Arteoli<sup>8</sup>. The company has presented wall-mounted panels that, thanks to a specifically adapted micro-flow technology, purify the air in their immediate vicinity. The feature that sets this concept apart is that the finished solution can be hidden in the form of a painting or image, which can additionally decorate the space in which it is fitted. Equally interesting in artistic terms, as well as those of effectiveness, are murals made using paint with an addition of titanium oxide. This solution can be encountered in, for instance, Poznań.

This concept that has been presented by scientists from UTEC in Lima assumes the use of advertisement billboards to filter air in the city. An experimental billboard has been built at a construction site of a number of residential buildings in the capital of Peru. A mechanism similar to the one employed in household purifiers has been installed inside it. In order to reduce air pollution, a water filter through which the incoming air is let through has been used. The entire device consumes around 2,5 kilowatt of energy per hour with an efficiency reaching as much as 100 thousand cubic metres per day. The device removes 99 % of dust, particulate matter, microorganisms and bacteria<sup>9</sup> from the air.

#### Anti-smog towers

A different type of architectural form that can lead to the improvement of the condition of the air is the anti-smog tower. Their efficiency depends on their size and the type of filters that are used inside of them. Some of them, such as Smog Free Tower by the architect Daan Roosegaarde from Rotterdam, appear to be more of a marketing stunt meant to stimulate discussion on the subject of air pollution rather than an actual remedy to the problem. A study of its effectiveness was performed over several months of tests of a tower placed in Krakow's Park Jordana. A team of scientists from the AGH University of Technology proved that it reduces PM10 particulate matter concentrations by 12 % in a radius of 10 m from the purifier, while in a radius of 50 m its effects were not observable<sup>10</sup>.



Il. 1. Wieża antysmogowa stojąca w Parku Jordana w Krakowie, Foto. Autor  
 Ill. 1. The anti-smog tower standing in Park Jordana, Krakow, original photograph

redukuje stężenie pyłów PM10 o 12% w promieniu 10 m od oczyszczacza, natomiast w promieniu 50m jej wpływ jest już niedostrzegalny<sup>10</sup>. Również testy prowadzone w Chinach nie potwierdziły deklarowanej przez projektanta możliwości filtrowania przez urządzenie do 30 tysięcy m<sup>3</sup> powietrza na godzinę. Dużo większe nadzieje można wiązać z powstającą w Chinach eksperymentalną wieżą antysmogową o wysokości ponad 100 m. Przez swoich twórców określana jest jako model, mający sprawdzić zaproponowane rozwiązania przed wybudowaniem docelowego filtra powietrza o wysokości 500 m. Faza testów pokazała, że wybudowana w mieście Xian wieża jest w stanie zredukować o 15% stężenie pyłów na obszarze o powierzchni 10 km<sup>2</sup>. Według projektantów pełnowymiarowa wieża ma móc oczyścić powietrze w średniej wielkości mieście. Zasada działania opiera się na naturalnej cyrkulacji powietrza, które zasysane jest do ogrodu u podstawy wieży, przykrytego ogniwami fotowoltaicznymi. Następnie za pomocą energii uzyskanej z ogniw jest ono podgrzewane i kierowane do wnętrza wieży, w której zamontowane są filtry. Po przejściu tego procesu powietrze wyrzucane jest z powrotem na zewnątrz. Pomysłodawcy tego rozwiązanie przygotowali również wersję urządzenia do stosowania w centrach wielkich aglomeracji, gdzie techniczna strona urządzenia schowana jest pod wielkimi ekranami LED, na których można wyświetlać reklamy, co ma zredukować koszty użytkowania tego typu rozwiązania w mieście.

#### Budynki oczyszczające powietrze

Koncepcja z którą wiązane są największe nadzieje wydają się być budynki wyposażone w elewacje, które redukują poziom smogu w ich pobliżu. Najbardziej znany obiekt, w którym zastosowano taką technologię to wieżowiec Bosco Verticale zaprojektowany przez Boeri Studio w Mediolanie. Wyróżnia się posadzonymi na elewacji w formie pionowego lasu blisko dziewięćset drzewami. Na tarasach o powierzchni 9 tysięcy m<sup>2</sup> oprócz drzew zasadzono specjalnie wyselekcjonowane rośliny (11 tysięcy bylin i roślin okrywowych oraz 5 tysięcy

Testy performed in China also failed to confirm the capacity to filter up to 30 thousand m<sup>3</sup> of air per hour that had been declared by the designer. Much greater hopes can be associated with the 100 metre-tall experimental anti-smog tower that is currently being built in China. It has been described by its creators as a model that is meant to verify proposed solutions before the building of the final air filter with a height of 500 metres. The testing phase has demonstrated that the tower built in the city of Xian is capable of reducing particulate matter concentrations in an area of 10 km<sup>2</sup> by 15 %. According to the designers, the full-sized tower will be capable of purifying air in a medium-sized city. The principle of the tower's operation is based on natural air circulation, which is being sucked into a garden at the base of the tower that is covered by photovoltaic panels. Afterwards, using the energy supplied by the panels, it is heated and directed inside the tower, where filters are located. After going through this process the air is directed back outside. The originators of this solution also prepared a version of the device for implementation in the centres of large agglomerations, where the technical side of the device can be hidden underneath large LED screens that can be used to display advertisements, which can be employed to reduce the costs of using this type of solution within the city.

#### Air-purifying buildings

The concept with which the highest hopes are attached appear to be buildings featuring facades that reduce smog levels in their vicinity. The most well-known structure in which such a technology was used is the Bosco Verticale high-rise designed by Boeri Studio in Milan. It stands out through a vertical forest of almost nine hundred trees planted on the facade. Terraces with a surface area of 9 thousand m<sup>2</sup>, apart from trees, were planted with specifically selected plants (11 thousand perennial plants and 5 thousand bushes), which are meant to reduce the levels of urban smog. It is estimated that the towers are capable of converting 20 tons of carbon dioxide into oxygen per year<sup>11</sup>. The process of introducing such a great amount of greenery onto the facades of the

krzewów), które mają zredukować poziom miejskiego smogu. Szacuje się, że wieże są w stanie w ciągu roku przekształcić ok. 20 ton dwutlenku węgla w tlen<sup>11</sup>. Proces wprowadzenia tak dużej ilości zieleni na elewacje budynku wymagał współpracy pomiędzy ogrodnikami i botanikami z jednej strony, a architektami i konstruktorami z drugiej. Konieczne stało się nie tylko wzmocnienie betonowych płyt balkonowych za pomocą stalowych konstrukcji, ale także badanie zachowań poszczególnych gatunków roślin na działania wiatrów oraz warunków atmosferycznych na różnych wysokościach, w zależności od piętra. Poza funkcją filtracyjną zieleni elewacyjna pełni tu rolę swoistego regulatora temperatury wewnątrz obiektu. W uznaniu wprowadzonych nowatorskich rozwiązań w budownictwie wysokościowym budynek został wyróżniony w listopadzie 2014 roku nagrodą „International Highrise Award” jako najbardziej innowacyjny wieżowiec na świecie. Kolejnym budynkiem, który działa na tej samej zasadzie to Tao Zhu Yin Yuan Tower powstający obecnie w Tajpej na Tajwanie (planowana data ukończenia 2018 rok). Zaprojektowany został przez Vincent Callebaut Architectures z siedzibą w Paryżu. Projekt został wyłoniony w ramach międzynarodowego konkursu. Wieżowiec ma formę podwójnej helisy DNA, co ma symbolizować integrację ludzi z naturą. Według twórców budynek będzie zdolny do pochłonięcia 130 ton dwutlenku węgla rocznie. Na balkonach, tarasach i w najbliższym otoczeniu wieżowca planowane jest posadzenie 23 tysięcy drzew<sup>12</sup>. Budynek nie sprawi, że nagle powietrze wokół stanie się dużo czystsze, ale podobnie jak jego włoski odpowiednik stanowi o kierunku, w którym powinno podążać budownictwo w aglomeracjach miejskich cierpiących na brak terenów zielonych. Odmierna technologia stoi za rozwiązaniem, które zostało wdrożone między innymi w Meksyku. W mieście Meksyk szpital Manuel Gea Gonzalez podczas przebudowy został wykończony elewacją pokrytą dwutlenkiem tytanu, na której pod wpływem dziennego światła zachodzi reakcja chemiczna powodująca wytrącanie pyłów zawieszonych z powietrza. Zastosowano tu technikę używaną w elewacyjnych panelach samoczyszczących. Elewacja zaskakuje swoją formą przypominając strukturę koralowca. Jest to świadomy zabieg maksymalizujący powierzchnię wystawioną na działanie promieni słonecznych oraz intensyfikuje osadzanie na niej zanieczyszczeń, zwiększając przez to jej skuteczność działania. Według projektantów elewacji z berlińskiej pracowni Elegant Embellishments 2500 m<sup>2</sup> „zjadającej smog elewacji” wystarczy, aby każdego dnia zneutralizować zanieczyszczenia produkowane przez blisko 1000 samochodów<sup>13</sup>. Dodatkowo usuwa rodniki grzybów oraz brzydkie zapachy, co w miejscach takich jak szpital jest niezwykle użyteczne. Budynkiem wykorzystującym tę samą technologię, co szpital Manuel Gea Gonzalez jest Palazzo Italia zaprojektowane przez biuro Nemesi & Partners na Expo 2015 w Mediolanie. Pokryte specjalną elewacją o powierzchni 9000 m<sup>2</sup>, podobnie jak w Meksyku, zaprojektowaną przez Elegant Embellishments<sup>14</sup>, swoją formą nawiązuje do rosnących drzew, których korony wykonane zostały z materiału opatentowanego przez firmę Italcementi (TioCem®). 900 betonowych paneli składających się na całą elewację zawiera dwutlenek tytanu, który

building required cooperation between gardeners and botanists on the one hand, and architects and civil engineers on the other. It was necessary to not only reinforce the concrete balcony floor slabs using steel structural elements, but also to study the behaviour of the individual plant species in conditions featuring winds and atmospheric conditions at various altitudes, depending on the level. Apart from the function of filtration, the facades' greenery fulfils the role of a sort of regulator for the temperature inside the building. Acknowledging the innovative solutions in high-rise construction, the building was awarded the "International High-rise Award" as the most innovative tower building in the world in November 2014. Another building that operates using the same principle is Tao Zhu Yin Yuan Tower which is currently being built in Taipei, Taiwan (its completion is planned for 2018). It was designed by Vincent Callebaut Architecture, which is based in Paris. The design was selected through an international competition. The tower has the form of a DNA double helix, which is meant to symbolise the integration of people with nature. According to the designers, the building will be capable of absorbing 130 tons of carbon dioxide per year. The planting of 23 thousand trees is planned on its balconies, terraces and in the tower's immediate vicinity<sup>12</sup>. The building will not immediately cause the air around it to become cleaner, but, similarly to its Italian counterpart, it sets the direction in which construction should develop in urban agglomerations suffering from a lack of green areas. A different technology stands behind the solution that was implemented in, among other places, Mexico. In Mexico City the Manuel Gea Gonzalez hospital was, during its remodelling, given a facade finish covered with titanium oxide, on the surface of which, a reaction leading to the precipitation of suspended particulate matter from the air takes place under the influence of sunlight. A technique used in self-cleaning facade panels was used here. The facade surprises us with its form, resembling the structure of a coral. It is a deliberate measure that maximises the space exposed to sunlight and intensifies the sedimentation of pollutants on its surfaces, increasing its effectiveness. According to the facade's designers, the Berlin-based Elegant Embellishments studio, 2500 m<sup>2</sup> of the smog-eating facade is enough to neutralise pollution produced by up to 1000 cars each day<sup>13</sup>. It also removes fungal spores and bad smells, which is particularly useful in buildings such as hospitals. Palazzo Italia, designed by the Nemesi & Partners design office for the Expo 2015 in Milan, uses the same technology as the Manuel Gea Gonzalez hospital. Covered with a special facade with a surface area of 9000 m<sup>2</sup> designed by Elegant Embellishments<sup>14</sup>, similarly to the one in Mexico, it refers to growing trees with its form, whose crowns were made out of a material patented by the Italcementi company (TioCem®). 900 concrete panels that comprise the entire facade contain titanium dioxide, which, under the influence of sunlight, leads, by the means of photocatalysis, to the decay of, among others, various compounds of sulphur, turning them into neutral salts. As a result of studies performed by the manufacturer, a reduction in air pollution ranging from 20 to 70 % depending on the current atmospheric conditions was reported<sup>15</sup>.

pod wpływem światła słonecznego doprowadza do rozkładu, w wyniku fotokatalizy, między innymi różne związki siarki zmieniając je w sole obojętne. W wyniku przeprowadzonych przez producenta badań stwierdzono redukcję zanieczyszczenia powietrza w przedziale od 20 do 70% w zależności od panujących warunków atmosferycznych<sup>15</sup>.

Technologia elewacji „zjadających smog” staje się coraz bardziej popularna. Stosuje się ją w wielu nowych obiektach. Przykładem użycia tego materiału niech będzie kościół jubileuszowy w Rzymie pod wezwaniem Miłosiernego Boga Ojca, autorstwa Richarda Meiera w którym zastosowano samoczyszczące i „pochłaniające” smog elementy pokryte tlenkiem tytanu, w tym biały beton architektoniczny.

Nietypowy przykład zastosowania materiału, w którego skład wchodzi tlenek tytanu można zaobserwować we Włoszech, gdzie w miejscowości Cittanova zastosowano fotokatalityczną farbę cementową do prac konserwatorskich. Odrestaurowany przy jej użyciu kościół pod wezwaniem św. Hieronima ma dłużej zachować estetyczny wygląd, dzięki samoczyszczącej się powłoce. Dodatkowo budynek działa jak filtr powietrza neutralizując tlenki azotu NOx<sup>16</sup>.

### Drogi i trakty piesze

Rozwiązaniem które niesie ze sobą szanse na radykalne zmniejszenie zapylenia powietrza to nowoczesne materiały stosowane w drogownictwie. Podobnie jak w wypadku materiałów służących do budowy budynków, kluczowym składnikiem jest tutaj tlenek tytanu. W wyniku eksperymentu prowadzonego przez naukowców z Uniwersytetu Technicznego w Eindhoven z wykorzystaniem asfaltu z domieszką tlenku tytanu, stwierdzono redukcję niebezpiecznych substancji zawieszonych w powietrzu od 19% do 45%. Podobne rozwiązanie zastosowano w Chicago, gdzie użyto fotokatalicznego asfaltu. Tutaj wyniki okazały się jeszcze lepsze. Redukcja zanieczyszczeń sięgnęła od 20% do 70% w zależności od warunków atmosferycznych i klasy danej drogi<sup>17</sup>. Wdrożenie tego rozwiązania w USA pokazało też jego słabe strony. Rozwiązanie to dużo lepiej sprawdza się na lokalnych drogach, o niskim natężeniu ruchu niż na ruchliwych autostradach, gdzie poruszające się samochody utrudniają osadzanie się pyłów na powierzchni asfaltu, a co za tym idzie uniemożliwiają proces fotokatalizy. Rozwiązaniem tego problemu mogą okazać się ekrany akustyczne wykonane z fotokatalicznego betonu, który dzięki oddaleniu łatwiej zbiera zanieczyszczenia oraz jest w stanie posiadać bardziej skomplikowaną strukturę powierzchni niż asfalt, co sprzyja fotokatalizie. Coraz częściej spotykanym rozwiązaniem bazującym na tej samej technologii jest kostka brukowa, z której wykonuje się smogochłonne chodniki i ścieżki rowerowe. Z rozwiązaniami tego typu można spotkać się na całym świecie, np. w Chicago w USA, w Bergamo we Włoszech czy Nowej Soli w Polsce. Ciągi komunikacyjne wykonane z takiego materiału oczyszczają powietrze do wysokości 2-2,5 m, przy czym efekt maleje wraz z odległością<sup>18</sup>.

### Wizje przyszłości

Problem czystości powietrza w ostatnich latach istotnie zaczął wpływać na sposób kreowania architektury. Nagły wzrost

The “smog-eating” facade technology is becoming increasingly popular. It is being used in numerous new structures. One example of the use of this material is the Jubilee Church in Rome by Richard Meier, in which self-cleaning and smog-absorbing elements covered in titanium oxide were used, including white decorative concrete.

An atypical example of the use of the material whose composition includes titanium oxide can be observed in Italy, where in the locality of Cittanova a photocatalytic cement paint was used to perform conservation work. The S. Hieronymus Church restored with its use is meant to maintain an aesthetic appearance for a longer time thanks to a self-cleaning film. In addition, the building acts as an air filter neutralising nitrogen oxides—NOx<sup>16</sup>.

### Roads and pedestrian paths

The solution that brings with it chances of radically lowering the amount of particulate matter in the air are modern materials used in road construction. Similarly as in the case of materials used in building construction, the key component is titanium oxide. As a result of an experiment carried out by the scientists of the Technical University in Eindhoven, a reduction in harmful substances suspended in the air ranging from 19 to 45 % was observed when using asphalt with an admixture of titanium oxide. A similar solution was used in Chicago, where photocatalytic asphalt was used. Here the results turned out to be even better. The reduction in pollution reached as much as between 20 to 70 % depending on atmospheric conditions and the class of a given road<sup>17</sup>. The implementation of this solution in the USA also demonstrated its weak sides. The solution works much better on local roads with low traffic intensity than on high-traffic highways, where moving vehicles make it difficult for particulate matter to settle on the asphalt surface and thus making the process of photocatalysis impossible. The solution to this problem can come in the form of acoustic screens made out of photocatalytic concrete, which, thanks to being set back, accumulates pollution easier and can feature a more complicated surface structure than asphalt, one that is conducive to photocatalysis. One solution that is more and more often encountered and that is based on the same technology is paving used in the construction of smog-consuming pavements and bicycle lanes. Solutions of this type can be encountered all over the world, e.g. in Chicago in the United States or in Bergamo, Italy as well as in Nowa Sól in Poland. Circulation paths built using this material purify the air up to a height of 2-2,5 m, with the effect becoming weaker with distance<sup>18</sup>.

### Visions of the future

The problem of air purity has started to significantly affect the manner of designing architecture in recent years. The sudden increase in public awareness in this field gives us an opportunity to introduce actual solutions making it possible for people to breathe clean air. This requires numerous programmes conducted in parallel, which only when combined will have an actual chance of having an impact on the space that surrounds us. When looking at a part of completed architectural projects and those which are presented as visions of the future, we can observe a tendency for the creation of increasingly environmentally-friendly buildings that can positively affect our immediate surroundings.

świadomości społecznej w tym względzie daje szanse na wprowadzenie realnych rozwiązań pozwalających ludziom oddychać świeżym powietrzem. Potrzeba do tego wielu równoległych prowadzonych programów, które dopiero zsumowane mają realną szansę wpłynąć na otaczającą nas przestrzeń. Patrząc na część realizowanych projektów architektonicznych oraz tych, które przedstawiane są jako wizje przyszłości, można zauważyć tendencję do kreowania coraz bardziej ekologicznych budynków, które w sposób pozytywny mają wpływać na najbliższe otoczenie.

Wartymi obserwowania są nowe projekty twórców Bosco Verticale którzy swoje nowe zielone wieże wznoszą w Nanjing w Chinach. Nanjing Towers mają być dwa razy wyższe niż ich włoski odpowiednik. Wyższa wieża liczyć będzie 200 m, a niższa 108 m. Pokrywać będzie je las złożony z 1100 drzew oraz z licznych krzewów pochłaniających pył i zanieczyszczenia. Wieżowce mają produkować 16,8 tys. m tlenu w skali roku. Kolejne projekty biura Stefano Boeri Architetti mają być realizowane w Guizhou w Chinach, gdzie na zlecenie firmy hotelarskiej z Hongkongu powstanie hotel w kształcie zielonej góry, oraz w Utrechcie w Holandii gdzie powstaje zielona wieża mieszkalna<sup>19</sup>.

Równie interesująco prezentują się wizje przedstawiane przez Vincenta Callebaut’a. Szczególnie warta uwagi wydaje się być ta dotycząca kształtu Paryża w 2050 roku. Architekt prezentuje miasto utopione w zieleni, gdzie zabudowa składająca się z tradycyjnych budynków uzupełniona została o zielone wieże mające pozytywny ekologiczny wpływ na ich otoczenie. Koncepcja została wykonana na zlecenie władz Paryża<sup>20</sup>.

Konkurem, który od roku 2006 stale porusza problemy współczesnych miast i wieżowców, które w nich powstają jest eVolo SKYSCRAPER COMPETITION<sup>21</sup>. Wiele projektów przesyłanych w jego ramach dotyczy problemu degradacji środowiska naturalnego i sposobów radzenia sobie z nimi. Także kwestia smogu zrodziła wiele interesujących koncepcji. Mimo iż, wiele z nich pozostanie w sferze teoretycznej, to jednak pokazuje jak wiele możliwości mają architekci, żeby pomóc w walce z tak palącym problemem.

New projects by the designers of Bosco Verticale, who are erecting their new green towers in Nanjing in China, are worthy of further observation. The Nanjing Towers are meant to be twice as high as their Italian counterpart. The taller tower will have a height of 200 metres, while the lower one—108 metres. They will be covered by a forest composed of 1100 trees and numerous bushes meant to absorb particulate matter and air pollutants. The towers are meant to produce 16,8 thousand m<sup>3</sup> of oxygen over the course of a year. Additional designs by Stefano Boeri Architetti are meant to be built in Guizhou in China, where a hotel in the shape of a green mountain is to be built for a hotel company from Hong Kong, while a green residential tower is to be built in Utrecht, the Netherlands<sup>19</sup>.

Visions presented by Vincent Callebaut presented themselves as equally interesting. The one concerning the shape of Paris in the year 2050 appears to be particularly noteworthy. The architect presented a city drowned in greenery, where the built environment composed of traditional buildings has been supplemented with green towers that are meant to have an environmentally-friendly influence on their surroundings. The conceptual design was commissioned by the government of Paris<sup>20</sup>.

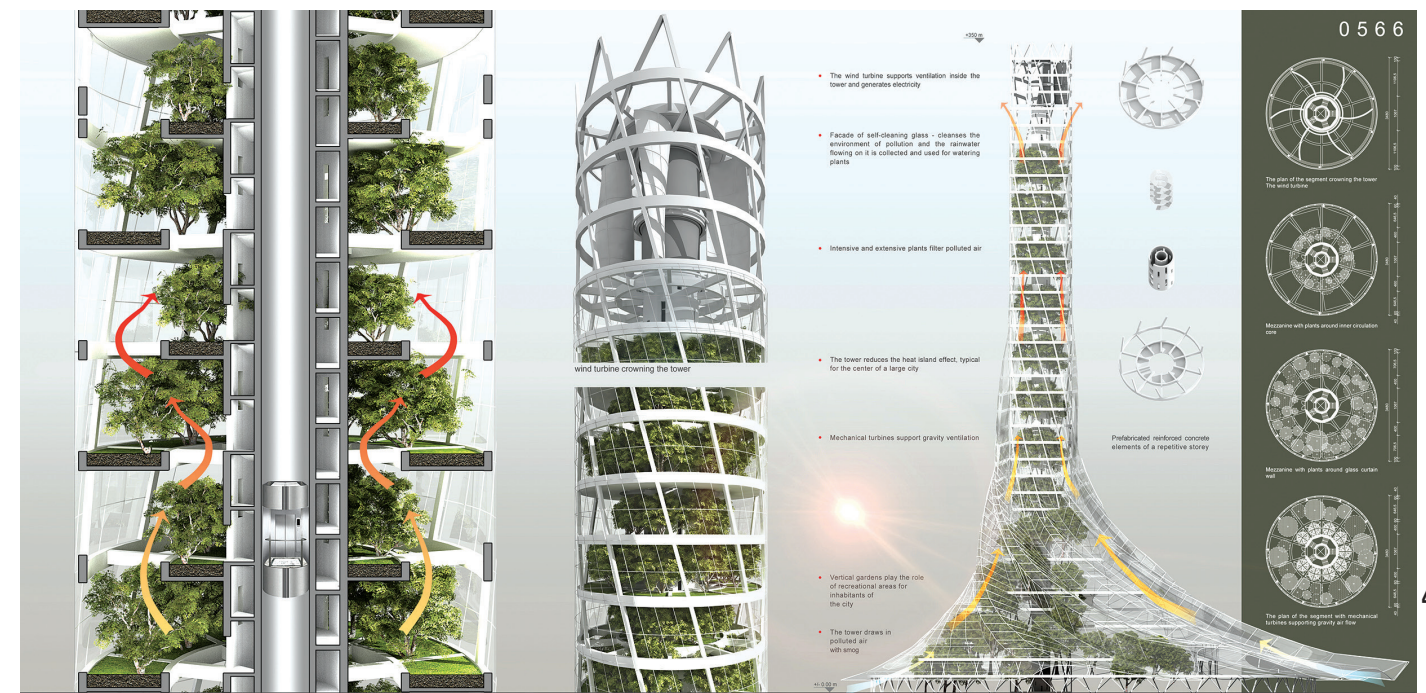
The eVolo SKYSCRAPER COMPETITION constantly takes up problems of contemporary cities and high-rises that are being built within them<sup>21</sup>. Many of its design entrees pertain to the problem of the degradation of the natural environment and the manners of addressing it. The problem of smog has also produced numerous interesting conceptual designs. Despite the fact that many of them will remain theoretical, they show just how many possibilities are at the disposal of architects in helping in the fight against such an urgent problem.

### ENDNOTES

<sup>1</sup> 4 thousand people died in the days between the 5th and 9th of December 1952 due to London’s Great Smog, while another 8 thousand died in the weeks following the event. After: pl.wikipedia.org/wiki/Wielki\_smog\_londyński

<sup>2</sup> WHO report concerning the condition of air in cities in 2017. Myllyvirta L.; Howard E., “Five things we learned from the world’s biggest air pollution database.”

II. 2. Wieża antysmogowa projekt konkursowy eVolo 2017, Foto. P. Bigaj, P. Mika, P. Broniewicz  
III. 2 Anti-smog tower, eVolo 2017 competition entry, photograph by. P. Bigaj, P. Mika, P. Broniewicz



## PRZYPISY

- <sup>1</sup> W wyniku Wielkiego smogu londyńskiego zmarło 4 tysiące osób w dniach 5-9 grudnia 1952 i dalszych 8 tysięcy w ciągu kolejnych tygodniach po tym wydarzeniu. Za pl.wikipedia.org/wiki/Wielki\_smog\_londyński
- <sup>2</sup> Raport WHO dotyczący stanu powietrza w miastach w roku 2017. Myllyvirta L.; Howard E., "Five things we learned from the world's biggest air pollution database."
- <sup>3</sup> Za komisarzem UE ds. środowiska, gospodarki morskiej i rybołówstwa Kamenu Vellą. Wypowiedź z 23 stycznia 2016. Żylińska J., „W Polsce ok. 44 tys. osób przedwcześnie umiera z powodu zanieczyszczenia powietrza.”
- <sup>4</sup> Stan na rok 2012. Peckham M., "This Billboard Sucks Pollution from the Sky and Returns Purified Air."
- <sup>5</sup> Wyrok który zapadł w lutym 2018 roku był wynikiem skargi złożonej w czerwcu 2016 roku przez Komisję Europejską. Dotyczyła notorycznego przekroczenia dobowej normy zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 w Polsce oraz braku informacji wskazujących na to, że sytuacja ta ulegnie poprawie. Gajos-Kaniewska D., „ Europejski Trybunał o polskim smogu: Polska zapłaci za naruszenie unijnych norm?”
- <sup>6</sup> Dane deklarowane przez firmę Green City Solutions dotyczące projektu CityTree.
- <sup>7</sup> Drzewa „posadzono” 16 marca 2016 roku. Gelmers W., "A Floating Forest For Rotterdam."
- <sup>8</sup> Zwycięzca Smogathonu 2017. Lewczuk M., „Artveoli – obrazy oczyszczające powietrze.”
- <sup>9</sup> Inżynierowie z UTEC stworzyli również bilbordy które odzyskiwały wodę z powietrza. Proces ten pozwalał na pozyskanie około 3 tysięcy litrów wody miesięcznie. Peckham M., "This Billboard Sucks Pollution from the Sky and Returns Purified Air."
- <sup>10</sup> Badania przeprowadzone przez portal Smoglab.pl oraz naukowców z Akademii Górniczo-Hutniczej dr inż. Jakub Bartyzel, dr inż. Michał Gałkowski oraz dr inż. Łukasz Chmura w dniu 5 marca 2018 roku.
- <sup>11</sup> Dane za www.greenroofs.com
- <sup>12</sup> Dane za www.vincent.callebaut.org
- <sup>13</sup> Dane za www.elegantembellishments.net
- <sup>14</sup> Ibidem
- <sup>15</sup> Dane za www.tiocem.pl
- <sup>16</sup> Ibidem
- <sup>17</sup> Dane za www.archdaily.com; Chicago, "First U.S. City to Line Streets with Smog-Eating Cement"
- <sup>18</sup> Dane za www.tiocem.pl
- <sup>19</sup> Strona biura architektonicznego www.stefanoerichitetti.net
- <sup>20</sup> Strona biura architektonicznego www.vincent.callebaut.org
- <sup>21</sup> Strona konkurs www.evolu.us

## LITERATURA

- [1] Gropius W., *Pelnia architektury*, Wydawnictwo Karaker, Kraków 2014.
- [2] Biskup K., *Inteligentna Architektura w Środowisku Mieszaniowym*, Rozprawa doktorska WA PK, Promotor: prof. Waclaw Seruga, Kraków 2018.
- [3] Wachnicki M., *Te budynki same „zjadają” smog. Oto cudowna broń w walce z zanieczyszczeniem powietrza*, www.wyborcza.pl, dostęp 7. 07. 2018.
- [4] Tomkowska E., *W Polsce ponad 40 tys. osób rocznie umiera z powodu smogu*, www.wyborcza.pl, dostęp 5. 07. 2018.
- [5] Żylińska J., *W Polsce ok. 44 tys. osób przedwcześnie umiera z powodu zanieczyszczenia powietrza*, www.pap.pl, dostęp 5. 07. 2018.
- [6] Myllyvirta L.; Howard E., *Five things we learned from the world's biggest air pollution database*, www. unearthed.greenpeace.org, dostęp 6. 07. 2018.
- [7] Stanisławski P., *Rozwiązano tajemnicę zabójczej londyńskiej mgły z 1952 roku*, www.crazynauka.pl, dostęp 6. 07. 2018.
- [8] Peckham M., *This Billboard Sucks Pollution from the Sky and Returns Purified Air*, www.time.com, dostęp 6. 07. 2018.
- [9] Gajos-Kaniewska D., *„Europejski Trybunał o polskim smogu: Polska zapłaci za naruszenie unijnych norm?”*, www.rp.pl, dostęp 6. 07. 2018.
- [10] Bellon M., *Mech, który zjada smog. Oto zwycięzca Smogathonu*, www.businessinsider.com.pl, retrieved on 7. 07. 2018.
- [11] Gelmers W., *A Floating Forest For Rotterdam*, www. popupcity.net, dostęp 8. 07. 2018.
- [12] Lewczuk M., *Artveoli – obrazy oczyszczające powietrze*, www.startupmag.pl, dostęp 7. 07. 2018.
- [13] Maciejowski A., *Zrobili badania. Wieża antysmogowa w Parku Jordana mało skutecznie oczyszcza powietrze*, www.dziennikpolski24.pl, dostęp 9. 07. 2018.
- [14] Liu C., *China Builds "World's Biggest Air Purifier" (and Didn't Bother to Tell Anyone)*, www.thebeijinger.com, dostęp 9. 07. 2018.
- [15] Boeri Studio, *Bosco Verticale*, www.archdaily.com, dostęp 10. 07. 2018.
- [16] Lynch P., *Vincent Callebaut Architectures' Double Helix Eco-Tower Takes Shape in Taiwan*, www.archdaily.com, dostęp 10. 07. 2018.
- [17] Zimmer L., *Mexico City's Manuel Gea Gonzalez Hospital Has an Ornate Double Skin that Filters Air Pollution*, www. inhabitat.com, dostęp 10. 07. 2018.
- [18] Matus M., *Dutch Scientists Invent Smog-Eating Pavement to Help Clean the Air*, www. inhabitat.com, dostęp 10. 07. 2018.

- <sup>3</sup> After the EU Commissioner on the Environment, Maritime Affairs and Fisheries Kamenu Vella. Statement from the 23<sup>rd</sup> of January 2016. Żylińska J., «W Polsce ok. 44 tys. osób przedwcześnie umiera z powodu zanieczyszczenia powietrza.» (In Poland around 44 thousand people suffer early deaths because of air pollution)
- <sup>4</sup> State for the year 2012. Peckham M., "This Billboard Sucks Pollution from the Sky and Returns Purified Air."
- <sup>5</sup> The verdict issued in February 2018 was the result of a complaint filed in June 2016 by the European Commission. It concerned the constant exceeding of the daily PM10 air pollution standard in Poland, as well as the lack of information indicating that the situation was going to improve. Gajos-Kaniewska D., „ Europejski Trybunał o polskim smogu: Polska zapłaci za naruszenie unijnych norm?”
- <sup>6</sup> Data declared by the Green City Solutions company concerning the CityTree project.
- <sup>7</sup> The tree was "planted" on the 16<sup>th</sup> of March 2016. Gelmers W., "A Floating Forest For Rotterdam."
- <sup>8</sup> The winner of Smogathon 2017. Lewczuk M., „Artveoli – obrazy oczyszczające powietrze.”
- <sup>9</sup> Engineers from UTEC have also created billboards which reclaimed water from air. The process makes it possible to obtain around 3 thousand litres of water per month. Peckham M., "This Billboard Sucks Pollution from the Sky and Returns Purified Air."
- <sup>10</sup> The study was performed by the Smoglab.pl website along with scientists from the AGH University of Technology: dr inż. Jakub Bartyzel, dr inż. Michał Gałkowski and dr inż. Łukasz Chmura on the 5<sup>th</sup> of March 2018.
- <sup>11</sup> Data provided by www.greenroofs.com
- <sup>12</sup> Data provided by: www.vincent.callebaut.org
- <sup>13</sup> Data provided by: www.elegantembellishments.net
- <sup>14</sup> Ibidem
- <sup>15</sup> Data provided by: www.tiocem.pl
- <sup>16</sup> Ibidem
- <sup>17</sup> Data provided by: www.archdaily.com; Chicago, "First U.S. City to Line Streets with Smog-Eating Cement"
- <sup>18</sup> Data provided by: www.tiocem.pl
- <sup>19</sup> Website of the architectural design office: www.stefanoerichitetti.net
- <sup>20</sup> Website of the architectural design office: www.vincent.callebaut.org
- <sup>21</sup> Competition website www.evolu.us

## BIBLIOGRAPHY

- [1] Gropius W., *Pelnia architektury*, Wydawnictwo Karaker, Kraków 2014.
- [2] Biskup K., *Inteligentna Architektura w Środowisku Mieszaniowym*, Rozprawa doktorska WA PK, Promotor: prof. Waclaw Seruga, Kraków 2018.
- [3] Wachnicki M., *Te budynki same „zjadają” smog. Oto cudowna broń w walce z zanieczyszczeniem powietrza*, www.wyborcza.pl, retrieved on 7. 07. 2018.
- [4] Tomkowska E., *W Polsce ponad 40 tys. osób rocznie umiera z powodu smogu*, www.wyborcza.pl, retrieved on 5. 07. 2018.
- [5] Żylińska J., *W Polsce ok. 44 tys. osób przedwcześnie umiera z powodu zanieczyszczenia powietrza*, www.pap.pl, retrieved on 5. 07. 2018.
- [6] Myllyvirta L.; Howard E., *Five things we learned from the world's biggest air pollution database*, www. unearthed.greenpeace.org, retrieved on 6. 07. 2018.
- [7] Stanisławski P., *Rozwiązano tajemnicę zabójczej londyńskiej mgły z 1952 roku*, www.crazynauka.pl, retrieved on 6. 07. 2018.
- [8] Peckham M., *This Billboard Sucks Pollution from the Sky and Returns Purified Air*, www.time.com, retrieved on 6. 07. 2018.
- [9] Gajos-Kaniewska D., *„Europejski Trybunał o polskim smogu: Polska zapłaci za naruszenie unijnych norm?”*, www.rp.pl, retrieved on 6. 07. 2018.
- [10] Bellon M., *Mech, który zjada smog. Oto zwycięzca Smogathonu*, www.businessinsider.com.pl, retrieved on 7. 07. 2018.
- [11] Gelmers W., *A Floating Forest For Rotterdam*, www. popupcity.net, retrieved on 8. 07. 2018.
- [12] Lewczuk M., *Artveoli – obrazy oczyszczające powietrze*, www.startupmag.pl, retrieved on 7. 07. 2018.
- [13] Maciejowski A., *Zrobili badania. Wieża antysmogowa w Parku Jordana mało skutecznie oczyszcza powietrze*, www.dziennikpolski24.pl, retrieved on 9. 07. 2018.
- [14] Liu C., *China Builds "World's Biggest Air Purifier" (and Didn't Bother to Tell Anyone)*, www.thebeijinger.com, retrieved on 9. 07. 2018.
- [15] Boeri Studio., *Bosco Verticale*, www.archdaily.com, retrieved on 10. 07. 2018.
- [16] Lynch P., *Vincent Callebaut Architectures' Double Helix Eco-Tower Takes Shape in Taiwan*, www.archdaily.com, retrieved on 10. 07. 2018.
- [17] Zimmer L., *Mexico City's Manuel Gea Gonzalez Hospital Has an Ornate Double Skin that Filters Air Pollution*, www. inhabitat.com, retrieved on 10. 07. 2018.
- [18] Matus M., *Dutch Scientists Invent Smog-Eating Pavement to Help Clean the Air*, www. inhabitat.com, retrieved on 10. 07. 2018.