

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329587990>

System kontroli i biofiltracji powietrza wewnętrznego

Article · November 2018

CITATIONS

0

READS

48

7 authors, including:



Mirosław Maziejuk

Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii

22 PUBLICATIONS 45 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Wiesław Lisowski

Wojskowy Insytut Chemii i Radiometrii

9 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Tomasz Sikora

Military Institute of Chemistry and Radiometry

25 PUBLICATIONS 218 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Lukasz Osuchowski

Military Institute Chemistry and Radiometry

13 PUBLICATIONS 81 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



STEP - Thermomodernisation of public buildings conducted in accordance with the conditions of sustainable development [View project](#)



BIOMADE [View project](#)

System kontroli i biofiltracji powietrza wewnętrznego

System for controlling and bio filtration of indoor air

MIROŚLAW MAZIEJUK, WIESŁAW LISOWSKI, TOMASZ SIKORA, ŁUKASZ OSUCHOWSKI,
JERZY SOWA, JACEK HENDIGER, HALINA KAMIŃSKA

Wiele badań potwierdza pozytywny wpływ roślin na samopoczucie ludzi i wydajność ich pracy. Działanie to opiera się nie tylko na oddziaływaniu psychologicznym, ale także na efekcie fotosyntezy oraz zdolności roślin do biofiltracji zanieczyszczeń. W artykule przedstawiono innowacyjny system kontroli powietrza wewnętrznego dedykowany do współpracy z biologicznym filtrem powietrza. Omawiany system umożliwia efektywną integrację naturalnych (rośliny) i technicznych (wentylacja) metod poprawy jakości powietrza wewnętrznego. Synergia obu aspektów miała na celu wytworzenie systemu, który będzie spełniał rolę filtratora przy równoczesnym zachowaniu walorów estetycznych.

Słowa kluczowe: biofiltracja, jakość powietrza wewnętrznego, system kontroli, budynki inteligentne, absorpcja BTX

Many studies confirm the positive impact of plants on the well-being of people and their individual productivity. This effect is based not only on psychological impact but also on the effect of photosynthesis and the ability of plants to remove pollutants. The article presents an innovative control system of indoor air dedicated for cooperation with a biological air filter. It enables effective integration of natural (plants) and technical (ventilation) methods of improving indoor air quality. The synergy of both aspects was aimed at creating a system that will act as a filtrator while maintaining aesthetic values.

Key words: biofiltration, quality of air, system control, intelligent buildings, absorption of BTX,

Wprowadzenie

Zanieczyszczenie powietrza to niezwykle istotny problem cywilizacji. W Polsce oraz w krajach o zbliżonym klimacie w pomieszczeniach – w mieszkaniu, pracy, w urzędach spędzamy ponad 80% swojego życia. Łatwo więc zrozumieć, że optymalne warunki wewnątrz zamkniętych pomieszczeń mają często dużo większy wpływ na kondycję ludzkiego organizmu niż środowisko zewnętrzne. Ksenobiotyki to substancje szkodliwe, obecne w najbliższym otoczeniu człowieka, które niekiedy muszą powodować natychmiastowe objawy zatrucia. Jednakże, przy dłuższym narażeniu lub dużej koncentracji mogą być przyczyną poważnych problemów zdrowotnych [1]. Lotne związki organiczne (LZO) znane także jako VOC (ang. *Volatile Organic Compounds*), wydzielane są z farb, lakierów, klejów oraz licznych tworzyw sztucznych. Często są przyczyną podrażnień oczu i skóry, zaburzeń układu oddechowego (astma), a nawet zmian nowotworowych. Większość produkowanych przez człowieka w procesach technologicznych produktów emituje LZO [2]. Co

ciekawe, tego typu związki są również emitowane z żywicznego drewna np. aldehydy czy terpeny. Charakteryzują się one specyficznym zapachem, szczególnie wyczuwalnym w przypadku drzew iglastych. Cztery główne związki zaliczane do LZO to benzen, toluen, etylobenzen oraz ksylen (BTEX), zwane „brudną czwórka” [3]. Nawet krótka ekspozycja na ich obecność może prowadzić do zawrotów głowy, mdłości, problemów z koncentracją i oddychaniem. Permanentny kontakt nawet z jednym ze wspomnianych związków może skutkować chorobą układu oddechowego i efektem teratogennym, [4,5,6], a w środowisku są dość powszechne, ponieważ ich powstawanie jest powiązane z produkcją benzyny [7].

1. Najpowszechniej rozprzestrzenionymi ksenobiotykami w współczesnym środowisku pobytu człowieka są: **Formaldehyd (HCHO)** – związek powszechnie emitowany przez meble, składnik kosmetyków (lakierów do włosów, lakierów do paznokci czy dezodorantów). Nawet w małych stężeniach, nieco przekraczających dopuszczalne, wywołuje łzawienie oczu, zaczerwie-

nienie spojówek; w większych (ok. 15 g/m³) – kaszel, ból głowy, uczucie duszności, kołatanie serca. Może nawet być przyczyną wystąpienia skurczu oskrzeli.

2. **Ksylene (C₆H₄(CH₃)₂)** – najczęściej występują w lakierach, impregnatkach i innych substancjach konserwujących lub spajających drewno. Opary działają drażniąco na błony śluzowe układu oddechowego. Powodują bóle i zawroty głowy, pobudzenie, nudności, wymioty.
3. **Benzen (C₆H₆)** – jeden z najbardziej szkodliwych związków znajdujących się w klejach i lakierach. Benzen jest substancją toksyczną, uszkadza układ krwiotwórczy; działa narkotycznie, miejscowo drażniąco. Dowiedzono, że jest substancją rakotwórczą (grupa 1 wg klasyfikacji IARC)
4. **Nikotyna i substancje smoliste** – to przyczyny wielu chorób, w tym chorób nowotworowych (np. rak płuc) oraz ośrodkowego i wegetatywnego układu nerwowego oraz układu krążenia. Powodem wydzielania się lotnych związków organicznych z gotowych pro-

dr inż. Mirosław Maziejuk, mgr inż. Wiesław Lisowski, dr Tomasz Sikora, dr inż. Łukasz Osuchowski – Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii, Warszawa

dr inż. Jerzy Sowa, dr inż. Jacek Hendiger – Politechnika Warszawska

Mgr Halina Kamińska – Firma FLORABO

duktów jest między innymi ich nadmiarowa pozostałość lub czasowa degradacja struktury. Do najczęstszych procesów, przy których możemy zetknąć się z LZO to: powlekanie farbami, klejami, impregnatami i laminowanie, a także wytwarzanie różnorodnych spoiw. Dlatego w większości państw na świecie (również w Polsce) istnieją dokumenty normatywne, w których zawarte są obostrzenia mające na celu ograniczanie emisji LZO do środowiska. Uwarunkowane jest to określeniem i dopuszczeniem wartości maksymalnych w produktach [1,8]. Dodatkowym czynnikiem wymuszającym modyfikację procesów wytwarzania jest wymóg zastępowania substancji stwarzających zagrożenie zdrowia określony w art. 58 dyrektywy IED [8]. Ponadto charakterystyka i dopuszczalne ilości LZO w produktach czy w typach pomieszczeń (np. stanowisko pracy, budynki mieszkalne) są aktualnie określone w rozporządzeniach Ministra Rozwoju np. Dz. U. z 2016 r. poz. 1353 oraz Dz. U. z 2014 r. poz. 1546 [9,10], Ministra Pracy i Polityki Społecznej np. Dziennik Ustaw Nr 217, z dnia 29 listopada 2002 r, Poz. 1833 [11] a także w Zarządzeniu Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej. M.P. 1996 nr 19 poz. 231 [12].

Tradycyjnie do zapewniania pożądanych parametrów jakości wewnątrz wykorzystuje się systemy wentylacji. Jednocześnie wysokie koszty energii oraz bardzo duże zanieczyszczenie atmosfery cząstkami frakcji respirabilnych (PM_{2,5}) sprawiają, że dąży się do ograniczania strumienia powietrza zewnętrznego doprowadzanego do pomieszczeń. Rosnące zainteresowanie zdobywają także techniki alternatywne do wentylacji, takie jak: zaawansowana filtracja (w tym biofiltracja), dezynfekcja promieniami UV, rozkład fotokatalizacyjny zanieczyszczeń.

Pomimo rosnącej świadomości zagrożeń związanych z występowaniem LZO w pomieszczeniach, układy kontroli jakości powietrza wewnętrznego są nadal rzadkością. Na świecie impulsem do podjęcia badań nad wpływem roślin na jakość powietrza wewnątrz były koncepcje długotrwałego przebywania ludzi w kosmosie (bazy i laboratoria kosmiczne czy załogowe loty na Marsa). Badania NASA (National Aeronautics and Space Administration, USA) wykazały, że powszechnie używane ozdobne rośliny pokojowe usuwają z powietrza formaldehyd, benzen oraz tichloroetylen. Zauważono, że zanieczyszczenia chemiczne wychwycone z powietrza transportowane są do systemu korzeniowego a tam żyjące w symbiozie z rośliną bakterie rozkładają je na substancje proste [13]. Nowe trendy architektoniczne zwracające większą uwagę

na ekologię, rozwój zrównoważony i energooszczędność sprawiły, że zaczęto rozważać także wykorzystanie roślin do poprawy jakości powietrza w nowoczesnych budynkach biurowych [14].

Zarówno proces fotosyntezy jak i biofiltracji jest uzależniony od wielu czynników. Należą do nich między innymi natężenie i rozkład widmowy światła, temperatura i wilgotność powietrza, wilgotność gleby, dostęp do substancji odżywczych, zapylenie oraz stężenie zanieczyszczeń gazowych powietrza.

Efektywne korzystanie z biofiltracji wymaga zatem stałego monitoringu środowiska w pomieszczeniu. Na ogół dotychczas stosowane systemy nadzoru zapewniają co najwyżej pomiar temperatury i wilgotności powietrza oraz pomiar stężenia CO₂. Monitoring LZO stosowany jest rzadko, a jeżeli już to do pomiarów ciągłych stosuje się mniej precyzyjne lecz tańsze, zwykle czujniki półprzewodnikowe. Natomiast w badaniach naukowych lub w przypadku pomieszczeń o szczególnych wymaganiach wykonuje się pomiary z użyciem np. chromatografów gazowych, ale jednocześnie poprawie dokładności oznaczeń towarzyszy rezygnacja z ciągłości monitoringu

W ramach projektu pt. „Przeprowadzenie prac badawczo rozwojowych mających na celu stworzenie prototypu Systemu diagnostyki i biologicznej filtracji powietrza FLORABO” wykonano układy kontroli parametrów powietrza oraz układ filtracyjny do oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń organicznych wytworzonych przez człowieka lub przez elementy wyposażenia budynków, mogące emitować substancje zanieczyszczające.

Budowa systemu do monitorowania i poprawy parametrów powietrza wewnętrznego

Opracowany system monitorowania stanu powietrza i poprawy parametrów powietrza składa się z następujących elementów:

- Urządzenia Kontroli Powietrza (UKP);
- Filtru Aktywnego Biologicznie (FAB);
- Urządzenia Sterującego Nawadnianiem i Napowietrzaniem (USNN).

Opracowane urządzenie UKP służy do pomiaru:

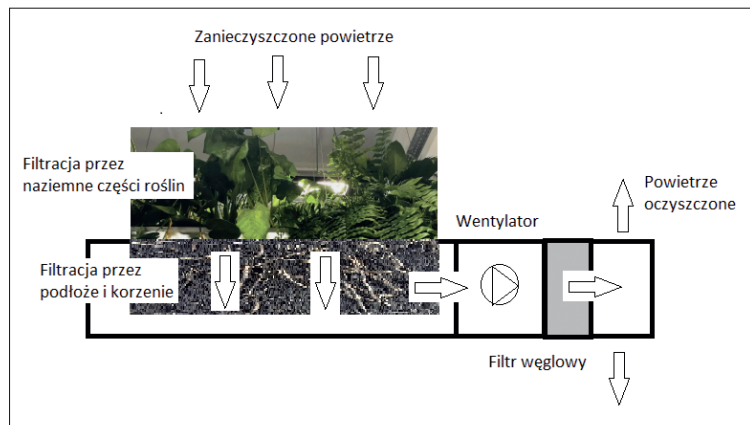
- zawartości związków organicznych w powietrzu wewnętrznym;
- stężenia ditlenku węgla;
- stężenia pyłu zawieszonego (frakcje PM 10, PM 2,5, PM 1);
- ciśnienia atmosferycznego;
- temperatury i wilgotności badanego powietrza.

Do pomiarów parametrów powietrza w UKP zastosowano następujące czujniki:

- **Czujnik iAQ-Core** – czujnik półprzewodnikowy nowej generacji (wprowadzony na rynek w 2016r). Według danych katalogowych czujnik ten określa stężenie różnych substancji organicznych od bardzo niskiego poziomu. Komunikaty pomiarowe są podawane w postaci dwóch parametrów:
 - ekwiwalent TVOC (ekwiwalent całkowitego stężenia LZO), w zakresie od 125 ppb do 600 ppb (wyższe stężenia LZO są wskazywane lecz nie są przeliczane i należy je traktować jako wartości umowne).
 - ekwiwalent ditlenku węgla w zakresie pomiarowym od 450 ppm do 2000 ppm. Ekwiwalent CO₂ jest to umowna wartość uciążliwości zanieczyszczeń dla człowieka. Sposób przeliczania nie jest publikowany przez producenta, można się tylko odnieść do pomiarów odpowiedzi czujnika na stężenia różnych substancji testujących.
- **Czujnik pyłu** umieszczony w UKP wykrywa pył zawieszony dla frakcji PM 1.0, PM 2.5, PM 10, wynik jest wysyłany w µg/m³, rozdzielczość 1 µg/m³, wartość maksymalna 1000 µg/m³, maksymalny błąd pomiarowy dla przedziału od 100 do 500 µg/m³ to ±10%, natomiast dla przedziału 0-100 µg/m³ to ±10 µg/m³.
- **Czujnik CO₂ typu NDIR** określa stężenie ditlenku węgla w powietrzu od 0 do 5000 ppm (0,5%), dokładność pomiaru ±(50ppm, 3%).
- **Czujnik SHT-31** – to czujnik wilgotności i temperatury standardowo szeroko stosowany dla tego typu urządzeń.
- **Czujnik ciśnienia typu BMP280** – ten czujnik spełnia w UKP zadanie informacyjne. Pomiar ciśnienia barometrycznego nie jest wymagany ze względu na ocenę warunków komfortu w pomieszczeniu. Jednak znajomość wartości ciśnienia daje możliwość obliczania innych parametrów fizycznych powietrza.
- **Czujnik SEN0233** – jedną z najczęściej stosowanych substancji w produkcji mebli oraz farb i lakierów jest formaldehyd, stąd też zamiennie z czujnikiem iAQ-Core w UKP stosuje się czujnik formaldehydu SEN0233 (firmy DFrobot), który wykrywa stężenie formaldehydu od 0 do 1 mg/m³, maksymalna wartość przeciężnienia to 2 mg/m³, rozdzielczość 10 µg/m³, dokładność pomiaru ±5%. UKP występuje w dwóch odmianach – UKP Master i UKP Slave. Część urządzeń

UKP zawiera pomiar TVOC, a część umożliwia pomiar formaldehydu. Najczęściej w systemie Florabo stosowanych jest kilka urządzeń UKP. System posiada informację zarówno o zawartości TVOC jak i o zawartości formaldehydu w badanym powietrzu wewnętrznym.

Zadaniem filtra FAB jest oczyszczanie powietrza wewnętrznego z niepożądanych substancji organicznych (rys. 1).



Rys. 1. Schemat poglądowy filtra FAB

Zdolność do obniżania stężenia LZO w pomieszczeniach przez rośliny ozdobne wynika z kilku mechanizmów:

- usuwanie LZO przez nadziemną część rośliny,
- usuwanie przez korzenie,
- usunięcie przez mikroorganizmy znajdujące się w podłożu,
- usuwanie przez podłoże.

Do oczyszczania powietrza urządzenie – FAB wykorzystuje także wkład filtracyjny z węgla aktywnego. W przypadkach wystąpienia silnego zanieczyszczenia powietrza, przepływ powietrza przez układ wymuszany jest przez pracę cichobieżnego wentylatora.

Liczba FAB, ich wielkość, lokalizacja oraz gatunki roślin dobierane są indywidualnie do każdego pomieszczenia. Ma to na celu dostosowanie technologii biofiltracji do istniejącego zagrożenia oraz do typu i sposobu organizacji pracy. Rośliny, u których z jakichś powodów wystąpił stres lub choroba, zastępowane są przez rośliny zdrowe. Rośliny w złej kondycji kierowane są do miejsc rekonwalescencji, w których zapewnia się dodatkowe doświetlenie źródłami światła o spektrum dopasowanym do procesu fotosyntezy.

Do sterowania filtrem FAB służy układ USNN – urządzenie sterujące nawadnianiem, napowietrzaniem. W zadanym cyklu lub w przypadku przekroczenia parametrów granicznych rejestrowanych przez UKP wysyłany jest sygnał do USNN, który steruje procesem oczyszczania powietrza realizowanym przez FAB.

Rośliny w FAB są dobrane tak, by skutecznie ograniczyć wpływ substancji organicznych wydzielanych w trakcie działalności człowieka.

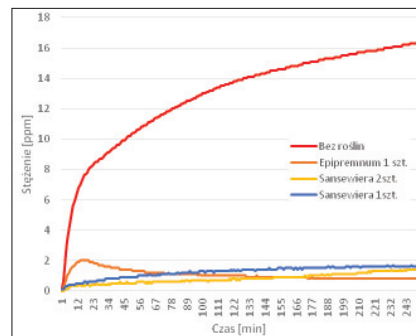
W literaturze można spotkać wyniki badań zdolności usuwania LZO z powietrza wewnętrznego przez ponad 100 gatunków roślin [15]. Szczegółowa analiza wyników wskazuje na to, że istnieje duże zróżnicowanie danych opisujących zdolność roślin



Rys. 2. Fotografia kompletnego filtra biologicznie aktywnego FAB

do usuwania LZO. Zróżnicowanie dotyczy zarówno serii pomiarowych w ramach tego samego badania, wyników dla różnych gatunków roślin oraz wyników dla tych samych gatunków, ale analizowanych w ramach różnych badań. Dlatego też w WICHiR przeprowadzono badania pochłaniania różnych substancji chemicznych przez wybrane gatunki roślin: Sansewieria gwinejska (*Sansevieria trifasciata*), Epipremnum złociste (*Epipremnum aureum*) oraz Dieffenbachia Seguiny (*Dieffenbachia seguine*). Sprawdzano zdolność roślin do usuwania ze szczelnych szklanych komór następujących substancji: formaldehyd, fenol, benzen, toluen i styren. Rys. 3 przedstawia wynik badania skuteczności pochłaniania fenolu przez wyselekcjonowane rośliny.

Wyniki badań w przystosowanej do tego celu komórce jednoznacznie wskazują korzystny wpływ roślin na redukcję niebezpiecznych substancji organicznych w otoczeniu człowieka. Z przebadanych



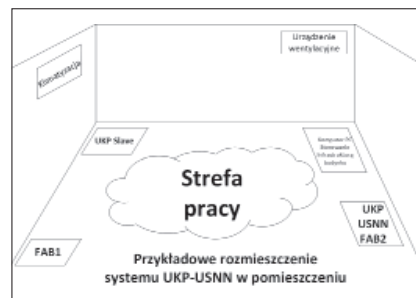
Rys. 3. Zmiany stężenia fenolu w czasie oczyszczania atmosfery w komorze pomiarowej z wykorzystaniem roślin gatunku *Sansevieria trifasciata* lub *Epipremnum aureum*

substancji wynika, że fenol jest pochłaniany z najwyższą skutecznością.

Dodatkowo w celu weryfikacji poprawności rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych w Politechnice Warszawskiej wykonano badania charakterystyk przepływowych FAB.

Przykładowe zastosowanie systemu Florabo do kontroli i poprawy parametrów powietrza wewnętrznego

Opracowany system ma budowę modułową co pozwala na indywidualny dobór elementów do pomieszczeń, w których dąży się do poprawy jakości powietrza. Schemat przykładowego rozmieszczenia elementów systemu Florabo przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Przykładowe rozmieszczenie systemu Florabo w pomieszczeniu

Na rys 4 pokazano typowe pomieszczenie wyposażone w od kilku do kilkunastu stanowisk pracy. Mogą to być typowe stanowiska w biurze lub w zakładzie produkcyjnym o niewielkim stopniu uciążliwości, które nie wymagają stosowania dodatkowych wyciągów, nawiewów, itp.

Optymalna liczba zastosowanych urządzeń FAB zależy od wielkości pomieszczenia, intensywności wentylacji oraz skali występujących problemów. Można przyjąć, że jedno pomieszczenie powinno być wyposażone w co najmniej

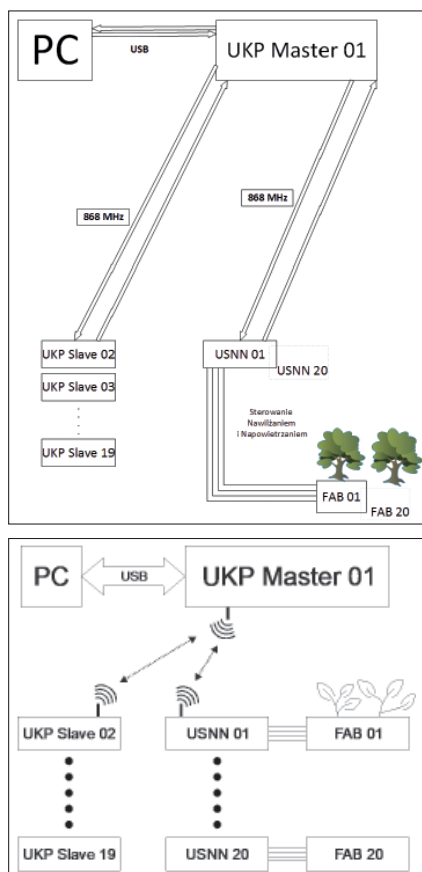
jeden filtr biologicznie aktywny, natomiast urządzenia do kontroli powietrza wewnętrznego UKP mogą być umieszczone w wytypowanych pomieszczeniach będących pomieszczeniami reprezentatywnymi. Nie ma konieczności stosowania czujników UKP w każdym pomieszczeniu.

Urządzenia do napowietrzania i nawadniania USNN są wyposażone w wyjścia sterujące wentylatorem w filtrze FAB. Każde urządzenie USNN może sterować pracą maksymalnie do czterech FAB. Informacja o sposobie pracy jest zapisana w USNN i może być zmieniona w wyniku pogorszenia się stanu powietrza wewnętrznego (informacja z UKP), albo na skutek ingerencji administratora systemu.

System zawiera wszystkie elementy pomiarowe i wykonawcze umożliwiające samodzielną pracę, jak również wyposażony jest w odpowiednie łącza umożliwiające sterowanie z poziomu tzw. „systemu inteligentnego budynku”, albo dedykowanego serwera do kontroli i zmiany parametrów powietrza wewnętrznego.

Struktura systemu Florabo i współdziałanie elementów systemu UKP-USNN-FAB

Elementem zarządzającym komunikacją w sieci jest **UKP Master**. Komunikuje



Rys. 5. Struktura systemu UKP-USNN-FAB

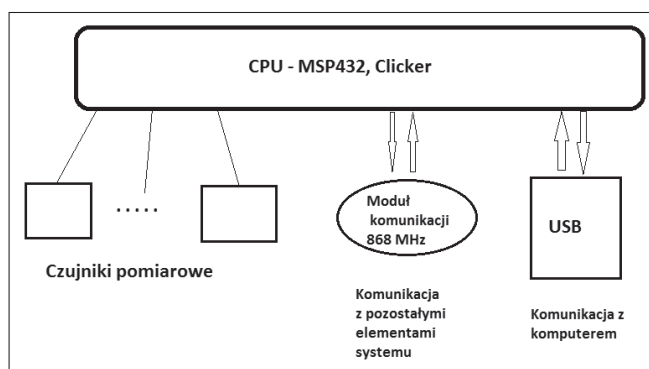
się on ze wszystkimi elementami tej sieci za pomocą łączności bezprzewodowej. Każde UKP ma swój indywidualny adres. UKP Master wykrywa, do którego z urządzeń Slave jest wysyłane zapytanie albo, z którego wysyłana jest informacja. Komputer PC ma połączenie z UKP Master za pomocą złącza transmisji USB oraz posiada oprogramowanie umożliwiające precyzyjne sterowanie parametrami atmosfery w pomieszczeniach stosownie do potrzeb określonych przez użytkownika.

UKP są rozmieszczone w pomieszczeniach ze stanowiskami pracy i nie muszą koniecznie być ściśle związane z USNN. Natomiast USNN jest już ściśle związane z działaniem FAB, bowiem poprzez uruchamianie funkcji napowietrzania i nawadniania może wpływać na stan powietrza w obszarze objętym siecią urządzeń UKP-USNN-FAB.

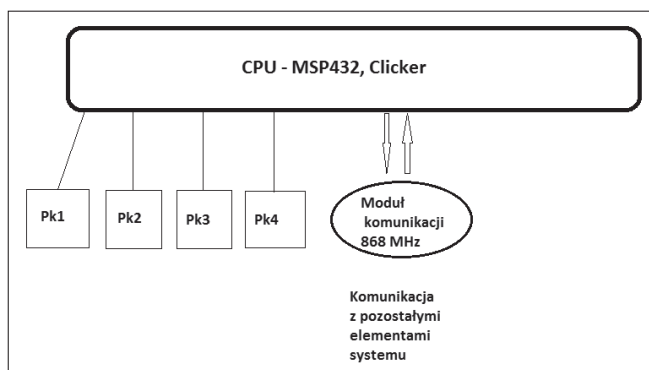
Budowa UKP i USNN

Schemat blokowy budowy UKP przedstawiono na rys. 6.

Rys. 6. Schemat blokowy UKP/ UKP Master



Rys. 8. Schemat blokowy USNN



Do komunikacji wewnątrz systemu Florabo służy moduł komunikacji 868 MHz typu RFM69HW-868. UKP Master posiada również możliwość bezpośredniego połączenia z komputerem poprzez USB. Takie rozwiązanie umożliwia również wysyłanie danych do dowolnie wybranego serwera lub komputera sterującego.

UKP z chwilą wykrycia komunikacji z komputerem przejmuje zadania dla UKP

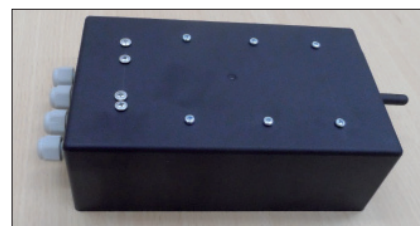
Master, pobiera informację z komputera o strukturze systemu, zaczyna wysyłać dane synchronizujące po czym odbiera informacje z systemu i przesyła je do komputera. Na rys. 7. przedstawiono fotografię układu elektronicznego UKP.

Obudowa jest przystosowana do bezpośredniej analizy powietrza otaczającego, bez konieczności jego zasysania.

Ważne jest, że każdy z elementów USNN wyposażony jest w system czasu rzeczywistego, co gwarantuje, że po utracie



Rys. 7. Urządzenie kontroli powietrza UKP



Rys. 9. Urządzenie sterowania napowietrzaniem, nawadnianiem

komunikacji z centralnym UKP możliwe jest samodzielne działanie dowolnego elementu systemu. Ponadto, urządzenie USNN może być stosowane niezależnie, po uprzednim zaprogramowaniu sposobu działania.

Na rys. 9 przedstawiono płytkę elektroniczną USNN.

Po po jego lewej stronie znajdują się przepusty na złącze zasilające i podłączenie do urządzeń sterowanych, po prawej antena do układów komunikacji bezprzewodowej (868 MHz).

Podsumowanie

Zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniach pociąga za sobą koszty zarówno w wymiarze zdrowotnym jak i ekonomicznym. Niniejszy artykuł opisuje innowacyjny sposób zmniejszenia stężeń zanieczyszczeń szkodliwych LZO w pomieszczeniach wykorzystujący efekt biofiltracji. Opisany w artykule system Florabo jest przygotowany do wspomagania systemów wentylacji. Uzyskanie dobrych efektów wymaga jednak odpowiedniego serwisowania roślin i obecności systemu ciągłego nadzoru. W opracowanym systemie wykorzystywane są dwa rodzaje układów kontrolno-pomiarowych, odpowiedzialnych za identyfikację stanu jakości powietrza (UKP) oraz za nawadnianie i napowietrzanie bryły korzeniowej (USNN). Zaproponowane rozwiązania wpisują się w nabierającą popularności koncepcję budynków inteligentnych (ang. smart buildings). Nie do przecenienia są także wizualne i psychologiczne efekty wprowadzania biofiltrów wykorzystujących rośliny ozdobne do budynków. W wielu przypadkach czasowej izolacji od środowiska zewnętrznego zaledwie kilkunastominutowy kontakt z zielenią ma bardzo korzystny wpływ na obniżenie poziomu stresu (obniżenie tętna), oraz zmniejszenie napięcia mięśniowego. Poprawia to działanie układu krwionośnego i nerwowego oraz łagodzi inne dolegliwości.

Podziękowanie

Niniejszy artykuł powstał w ramach projektu „Przeprowadzenie prac badawczo rozwojowych mających na celu stworzenie prototypu Systemu diagnostyki i biologicznej filtracji powietrza FLORA-BO” nr RPMA.01.02.00-14-6206/16-00 finansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020.

LITERATURA

- [1] Holtzer M., Kargulewicz I., Grabowska B., Znaczenie dopuszczalnych stężeń i wyczuwalności substancji szkodliwych dla warunków pracy i środowiska naturalnego Krzepnięcie Metali i Stopów, 2000, 2(43), 255-262.
- [2] Nathanson T., Prevention and Maintenance Operations, w: Indoor Air Quality Handbook, red. Spengler J.D., Samet J.M., USA 2001.
- [3] Tarran J., Torpy F., Burchett M., 2007. Use of pot-plants to cleanse indoor air—research review. Proceedings of 6th International Conference on Indoor Air Quality Ventilation & Energy, Conservation in Buildings Sustainable Built Environment, 28-31 X 2007, Sendai, Japan 3, 249–256.
- [4] Costa P., Eng C., James R. W., 1995. Constructive use of vegetation in office buildings. Proceedings the Plants for People Symposium, 23 XI 1995, Haga, Holandia, 1–23.
- [5] Wood R. A., Burchett M. D., Orwell R. A., Tarran J., Torpy F., 2002. Plant/soil capacities to remove harmful substances from polluted indoor air. J. Horticul. Sci. Biotechnol. 71, 120–129.
- [6] Wood R., Burchett M. D., Orwell R., Tarran J., Torpy F., Alquezar R., 2006. The potted — plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: I. Office Field-Study. Water Air Soil Pollut. 175, 163–180.
- [7] Doty S. L., James C. A., Moore A. L., Vajzovic A., Singleton G. L., Ma C., Khan Z., Xin G., Kang J. W., Park J. Y., Meilan R., Strauss S. H., Wilkerson J., Farin F., Strand S.E., 2007. Enhanced phytoremediation of volatile environmental pollutants with transgenic trees. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 104, 16816–16821.
- [8] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r., w sprawie emisji przemysłowych – IED, (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola).
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska; Poz. 1546; z dnia 4 listopada 2014 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów, Na podstawie art. 146 ust. 3 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2013 r. poz. 1232, z późn. zm.3)),
- [10] Rozporządzenie Ministra Środowiska; Poz. 1353; z dnia 8 sierpnia 2016 r. w sprawie ograniczenia emisji lotnych związków organicznych zawartych w niektórych farbach i lakierach przeznaczonych do malowania budynków i ich elementów wykończeniowych, wyposażeniowych oraz związanych z budynkami i tymi elementami konstrukcji oraz w mieszaninach do odnawiania pojazdów, Na podstawie art. 169 ust. 1 pkt 1 i 3 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2016 r. poz. 672, 831, 903 i 1250),
- [11] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej; poz. 1833; z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. Nr 217, poz. 1833, z 2005 r. Nr 212, poz. 1769, z 2007 r. Nr 161, poz. 1142, z 2009 r. Nr 105, poz. 873, z 2010 r. Nr 141, poz. 950) (Dz. U. z dnia 18 grudnia 2002 r.)
- [12] Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 12 marca 1996 r. w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia, wydzielanych przez materiały budowlane, urządzenia i elementy wyposażenia w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi. M.P. 1996 nr 19 poz. 231
- [13] Wolverton B.C. ET all. “Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement”, NASA, National Aeronautics and Space Administration, USA, 1989,
- [14] Sowa J., Wpływ roślin na jakość powietrza w pomieszczeniach, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, Nr 10, str. 47-52 Październik 2009, Warszawa.
- [15] Cruz, M. D., Christensen, J. H., Thomsen, J. D., & Müller, R. (2014). Can ornamental potted plants remove volatile organic compounds from indoor air?—a review. Environmental Science and Pollution Research, 21(24), 13909-13928.