

JOANNA SOBCZAK, ADAM CHMIELOWSKI, PRZEMYSŁAW MAREK, ANDRZEJ RAKOWSKI

Zakład Inżynierii Produkcji Zwierzęcej i Dobrostanu Zwierząt
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Poznaniu

FITOREMEDIACJA JAKO METODA OGRANICZANIA ZANIECZYSZCZEŃ ZAWARTYCH W POWIETRZU EMITOWANYM Z KURNIKA*

PHYTOREMEDIATION AS A METHOD OF LIMITING POLLUTANTS CONTAINED IN THE AIR TRANSMITTED FROM A HENHOUSE

Streszczenie. Celem podjętych badań było określenie skuteczności fitoremediacji jako proekologicznej metody ograniczenia emisji CO₂, NH₃ i zapylenia w powietrzu usuwanym z kurnika. System wymiany powietrza z kurnika wprowadzał je do szklarni doświadczalnej obsadzonej paciorecznikiem (*Canna*) i miskantem (*Miscanthus*). Pomiary – na wejściu i wyjściu ze szklarni – prowadzone od września do listopada wykazały średnio w ciągu doby redukcję CO₂ o 10% (około 30% w dzień), NH₃ – około 40% oraz zmniejszenie zapylenia średnio o 14,2%. Proces sedymentacji pyłów jest zakłócony przez naturalne zjawisko konwekcji powietrza podgrzewanego promieniami słonecznymi w szklarni. Stwierdzono bardzo dobry wpływ zanieczyszczeń powietrza na rozwój roślin doświadczalnych w stosunku do grupy kontrolnej, rosnącej w standardowych warunkach szklarniowych.

Słowa kluczowe: bioutylizacja, fitoremediacja, eliminacja zanieczyszczeń powietrza, CO₂, NH₃, zapylenie

Wstęp

Wszystkie żywe organizmy, które wykorzystują w procesie oddychania tlen zawarty w powietrzu atmosferycznym, wydalają w ciągu całego życia dwutlenek węgla. Drugim gazem, który jest wydalany jako produkt przemiany materii, w różnej ilości zależnie od

*Badania realizowano w ramach projektu „Bioutylizacja zanieczyszczeń powietrza emitowanego z kurników” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego – Programu Europejskiego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013 (Poddziałanie 1.3.1.).

gatunku zwierząt, jest amoniak. Te dwa gazy stanowią znaczny problem dla obiektów inwentarskich, w tym także kurników. Trzecim czynnikiem branym pod uwagę przy ocenie stopnia zanieczyszczenia środowiska przez fermy jest zapylenie.

Budynki, w których utrzymuje się drób, głównie ze względu na duże obsady na m² powierzchni użytkowej w chowie intensywnym, są pod ścisłym nadzorem służb zajmujących się ochroną środowiska naturalnego. Na całym świecie, szczególnie w Europie, w ostatnim dwudziestolecu wprowadzono wiele obostrzeń prawnych, zobowiązujących państwa do bezwarunkowej ochrony dziedzictwa, jakim jest środowisko człowieka – powietrza, gleby i wody. Na mocy postanowień protokołu z Kioto kraje, które zdecydowały się na jego ratyfikację, zobowiązały się do redukcji do 2012 roku własnych emisji CO₂; Polska w stosunku do zanieczyszczeń z 1988 roku – o 6%. Poziomy dopuszczalnych zanieczyszczeń w powietrzu zostały określone w ROZPORZĄDZENIU (2008) oraz w dyrektywach europejskich.

Lokalizacja ferm poza terenami o dużym zagęszczeniu ludności nie rozwiązuje problemu niszczenia środowiska. Wpływa ponadto na cenę produktu – jaj, i mięsa – powiększoną o koszty transportu. Dlatego oprócz wielu działań technicznych i zootechnicznych podejmuje się rozmaite próby ratowania środowiska przed degradacją, spowodowaną przez intensywną produkcję zwierząt gospodarskich.

Od lat prowadzone są badania dotyczące wykorzystania fitoremediacji do usuwania z powietrza zanieczyszczeń miejskich – głównie kurzu i spalin.

Celem badań prowadzonych w Instytucie Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, a kontynuowanych w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym, była próba wyeliminowania zanieczyszczeń gazowych i pyłów usuwanych z powietrzem podczas wentylacji kurników, z wykorzystaniem procesu fitoremediacji przez wybrane gatunki roślin uprawianych w szklarni.

Przyjęta koncepcja zakłada równocześnie możliwość wykorzystania ciepłego powietrza (do 30°C) usuwanego przez systemy wentylacyjne kurników. Przewiduje się, że energia cieplna będzie służyła do ogrzania szklarni, a rosnące rośliny w naturalny sposób będą pobierały, wykorzystywały lub gromadziły związki stanowiące zanieczyszczenia, które w ten sposób ulegną biodegradacji.

W badaniach wykorzystano rośliny charakteryzujące się bujnym i szybkim wzrostem, dzięki czemu powietrze wprowadzane do szklarni musiało w procesie jej wietrzenia wielokrotnie opływać pędy i liście. W ten sposób udało się zmniejszyć zapylenie oraz poziom CO₂ i NH₃. Zakłada się, że uprawiane w szklarni rośliny, stanowiące filtr biologiczny, nie tylko częściowo wyeliminują domieszki gazowe, ale będą przeznaczone do dalszego zagospodarowania, np. na paszę, biomasę do kompostowania, ścielenia lub dla celów energetycznych.

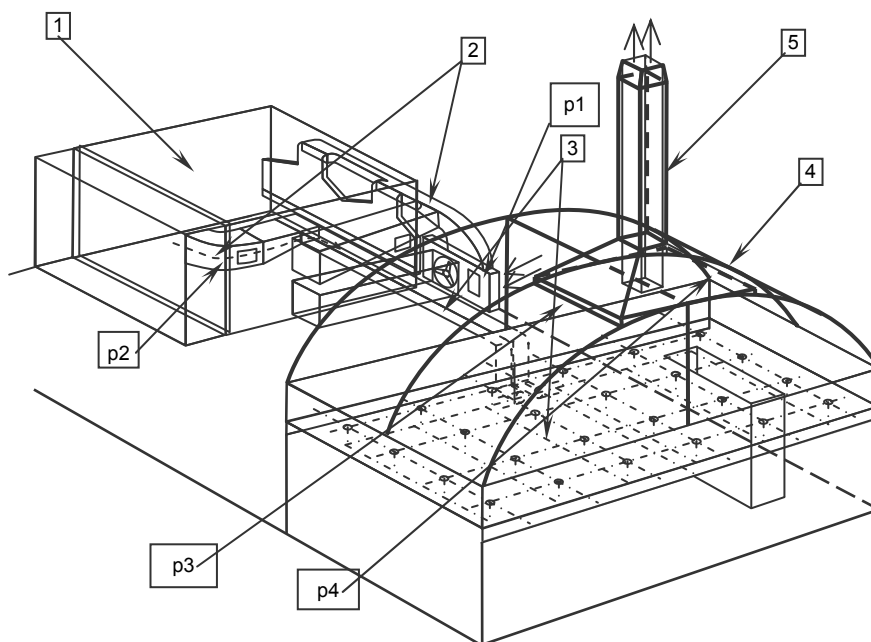
Podjęto wstępne pilotażowe badania – SOB CZAK i IN. (2009), prowadzone w szklarni zlokalizowanej nad dachem kurnika, do której wprowadzano powietrze usuwane z pomieszczenia z ptakami. Na tym etapie doświadczeń spośród roślin uprawianych w ciągu I okresu wegetacyjnego – pokrzywa (*Utrica dioica*), topinambur (*Heliantus tuberosus*), kukurydza (*Zea mays*), miskant (*Miscanthus sacchariflorus*) i paciorecznik (*Canna indica*) – tylko dwa ostatnie gatunki roślin wytypowano do dalszych badań. Pozostałe z wielu powodów, takich jak np. pokrycie liści włoskami – pokrzywa i topinambur – lub nieodpowiedniej czystości powietrza – chorowały, były podatne na inwazję szkodników i w ocenie specjalistów nie nadawały się do dalszych doświadczeń.

Drugi cykl badań przeprowadzono w roku 2010. Pomiary trwały od maja do listopada.

Zebrane wyniki poddano analizie porównawczej z danymi uzyskanymi w badaniach pilotażowych. Celem było rozstrzygnięcie, czy przyjęte założenie, że można ograniczyć zanieczyszczenie powietrza usuwanego z kurników w procesie fitoremediacji, jest słuszne.

Material i metody

Założono równoczesne prowadzenie badań w dwóch obiektach – kurniku i szklarni. Lokalizację pomieszczeń doświadczalnych przedstawiono na schemacie (rys. 1).



Rys. 1. Obiekt badawczy: 1. pomieszczenie z ptakami, 2. kanały powietrza świeżego i zanieczyszczonego, 3. kanały dostarczające i rozprowadzające powietrze w szklarni, 4. szklarnia, 5. komin wentylacyjny szklarni z ciepłowodami, p1 – p.p. powietrza świeżego, p2 – p.p. powietrza zanieczyszczonego, p3 – p.p. powietrza przefiltrowanego – miskant, p4 – p.p. powietrza przefiltrowanego – paciorecznik

Fig. 1. Research facility: 1. chamber with birds, 2. channels of fresh and polluted air, 3. channels delivering and distributing air in the greenhouse, 4. greenhouse, 5. ventilation chimney of the greenhouse with heat pipes, p1 – test point of fresh air, p2 – test point of polluted air, p3 – test point of filtered air – miscanthus, p4 – test point of filtered air – paciorecznik L.

Charakterystyka kurnika

- Powierzchnia użytkowa $30 \text{ m}^2 + 9 \text{ m}^2$ powierzchni dodatkowej.
- Obsada ptaków 270 szt. ($9,3 \text{ szt./m}^2$).
- Wymiana powietrza $0,5\text{-}5,0 \text{ m}^3/\text{h/kg}$ m.c. tzn. ok. $300 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Prędkość przepływu powietrza – $0,3 \text{ m/s}$ zimą, $1,6 \text{ m/s}$ latem.
- Wyposażenie stanowiska do chowu kur w systemie alternatywnym – zmechanizowane karmidła, poidła, zbiór jaj i usuwanie pomiotu.

Materiał zwierzęcy stanowiły kury noski ROSS (obsada w wieku 16 tygodni, wg norm) wprowadzone do stanowiska w czerwcu.

Charakterystyka szklarni

- Powierzchnia użytkowa 40 m^2 .
- Pokrycie szklarni – poliwęglan wielokomorowy.
- Przestrzeń szklarni przedzielona na pół folią ogrodniczą (badania w 2009 r.).
- Prowadzone uprawy szklarniowe roślin w donicach o pojemności 25 dm^3 :
 - jedna połowa – 20 szt. miskanta, liczba roślin zmienna,
 - druga połowa – 20 szt. paciorecznika, liczba roślin zmienna.
- Zautomatyzowane nawadnianie, zaprogramowane zależnie od potrzeb gatunkowych.
- Cieniowanie – w godzinach i warunkach nadmiernego nasłonecznienia.
- Automatyczne dogrzewanie przy temperaturze poniżej 10°C .
- Doświetlanie roślin (jesienią) z użyciem czasowego zegara programowego. Roślinom zapewniono od 6-8 h ciemności.

W ramach doświadczeń, kontrolnie rejestrowano parametry powietrza.

Przez cały czas badań rejestrowano na wejściu do szklarni i na wyjściu ze szklarni:

- temperaturę,
- wilgotność względną,
- prędkość ruchu powietrza.

Szklarnię zasiedlono roślinami (sadzunki wysokości około 30 cm) w maju.

Badania zanieczyszczeń powietrza prowadzono równocześnie w kurniku i szklarni, a przedmiotem badań była:

- zawartość CO_2 ,
- zawartość NH_3 ,
- zapylenie.

Aparatura badawcza

W badaniach wykorzystano niżej wymienioną aparaturę pomiarową.

System pomiarowo-rejestrujący Testo 454, wyposażony w sondy do kontroli powietrza w zakresie:

- temperatury od $-20^\circ\text{C} \div +70^\circ\text{C}$ ($\pm 0,4^\circ\text{C}$),
- wilgotności względnej od $0 \div 100\%$ ($\pm 2\%$),
- prędkości przepływu powietrza od $0,4 \div 60 \text{ m/s}$ ($\pm 0,2 \text{ m/s}$).

System Nano 60 – do kontrolowania:

- zawartości CO₂ w powietrzu od 0-10,000 ppm różnicy ciśnień do 100 Pa,
- zawartości NH₃.

Rejestratory Teom i IPS oraz dwa aspiratory PNS 15 – do kontroli zapylenia powietrza.

Częstotliwość pomiarów powietrza:

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – na zawartość CO₂ i NH₃ – ciągle, – na zawartość pyłów – dwa cykle pomiarowe ze zmianą punkt pom. w szklarni co tydzień i pomiarem masy z 24 h przez każdy tydzień. | } | <ol style="list-style-type: none"> 1) na wejściu do szklarni 2) oddzielnie dla każdej połowy szklarni (na poziomie podłogi i wierzchołków roślin) |
|---|---|---|

Kontrola szybkości wzrostu roślin – pomiar dwa razy w miesiącu.

Wyniki

Analiza zebranych wyników wykazała, że najlepszy efekt redukcji zanieczyszczeń wprowadzonych do szklarni w powietrzu uzyskano w okresie bujnego wzrostu roślin, tzn. w miesiącach letnich. W fazie intensywnego rozwoju rośliny potrzebują dużych ilości składników pokarmowych i część z nich pobierały z powietrza.

Efekt redukcji CO₂

Do analizy wyników wybrano wartości zebrane w miesiącach od września do listopada. We wrześniowych pomiarach w kurniku maksymalny poziom CO₂ wyniósł 1620 ppm, a minimalny 760 ppm. Średnia dobową była równa 1209 ppm. Odpowiednio w szklarni otrzymano dla paciorecznika maksimum stężenia CO₂ 1410 ppm, minimum 920 ppm i wartość średnią 1127 ppm. Natomiast dla miskanta maksimum tego gazu wyniosło 1580 ppm, minimum 990 ppm, a wartość średnia 1180 ppm. Wykresy stężenia CO₂ w powietrzu doskonale ilustrują cykl dobowy ptaków. W dzień, podczas dużej aktywności życiowej kur, jego stężenia są znaczne, w nocy podczas snu ptaki wytwarzają go mniej.

W przypadku roślin w dzień zauważono redukcję stężenia CO₂ w powietrzu, natomiast w nocy stężenie CO₂ w szklarni jest wyższe niż w kurniku. Jest to spowodowane cyklem życiowym roślin, które w nocy nie przeprowadzają fotosyntezy, a więc nie pobierają CO₂ z powietrza, ale oddychając, same również go wydzielają. Ma to wpływ na efektywność tej metody oczyszczania powietrza, gdyż średnie dobowe poziomy redukcji są przez to niższe i osiągają 7% dla paciorecznika, a 3% dla miskanta. Biorąc jednak pod uwagę redukcję stężenia CO₂ w dzień, uzyskano obniżenie poziomu CO₂ średnio o 15%. Pomiarów rejestrowano we wrześniu w szklarni przy średniej wilgotności 55,6% i temperaturze 27°C.

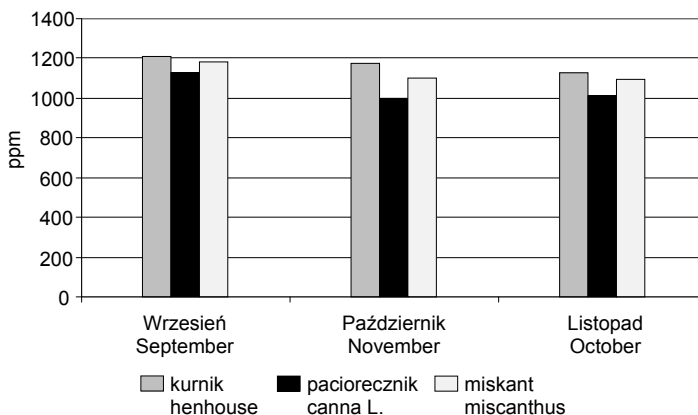
Drugą serię pomiarów wykonano w październiku, gdy temperatura powietrza w szklarni wynosiła średnio 8°C, a wilgotność względna 60%. Zależności wynikające z cykli życiowych kur i roślin wyglądają tu podobnie.

W kurniku maksymalne stężenie CO₂ w powietrzu wyniosło 1840 ppm, minimalne 630 ppm, a średnie 1173 ppm. W części szklarni z paciorecznikiem odnotowano maksymalne stężenie CO₂ 1840 ppm, minimalne 810 ppm i średnie 1000 ppm. Natomiast w strefie wzrostu miskanta poziom maksymalny CO₂ wyniósł 1420 ppm, minimalny 860 ppm, a średni 1104 ppm. Średni poziom redukcji określono na 15% dla paciorecznika i 6% dla miskanta. Maksymalny poziom redukcji w dzień wyniósł 27% dla paciorecznika i 20% dla miskanta.

Trzecia seria badań przeprowadzona została w listopadzie. Pomiarów można było kontynuować, ponieważ okres wegetacji roślin został wydłużony dzięki sztucznemu oświetleniu szklarni oraz zapewnieniu dogrzewania. Dzień roślin (światło dzienne + sztuczne) wynosił 12-16 godzin.

W kurniku zanotowano maksymalne stężenie CO₂ na poziomie 1800 ppm, minimalnie 590 ppm, a średnie 1127 ppm. Dla strefy paciorecznika wartości te wynosiły odpowiednio maksimum 1400 ppm, minimum 780 ppm, a średnio 1012 ppm. W przypadku miskanta pomiary wykazały maksymalny poziom stężenia CO₂ na poziomie 1430 ppm, minimalny 800 ppm i średni 1096 ppm. W związku z tym średni poziom redukcji tego gazu przez rośliny paciorecznika wyniósł 10%, a miskanta 3%. Dzienny maksymalny poziom redukcji CO₂ w strefie paciorecznika wyniósł około 23%, a miskanta 20%. Średnia temperatura powietrza w szklarni wynosiła 9°C, a wilgotność względna powietrza 52%.

Wyniki średnich redukcji CO₂ z kolejnych miesięcy przedstawione na wykresie wyglądają podobnie dla trzech serii pomiarów. Nie miały na nie wpływu zmiany pogody lub ich wpływ był niewielki (rys. 2 i tab. 1).



Rys. 2. Redukcja stężenia dwutlenku węgla

Fig. 2. Reduction in the concentration of carbon dioxide

Tabela 1. Redukcja stężenia dwutlenku węgla (ppm)
Table 1. Reduction in the concentration of carbon dioxide (ppm)

	Wrzesień September			Październik October			Listopad November		
	K	P	M	K	P	M	K	P	M
Maksimum Maximum	1 620	1 410	1 580	1 840	1 840	1 420	1 800	1 400	1 430
Minimum Minimum	760	920	990	630	810	860	590	780	800
Średnia Average	1 209	1 127	1 180	1 173	1 000	1 104	1 127	1 012	1 096

K – kurnik, P – paciorecznik, M – miskant.
K – henhouse, P – canna L., M – miscanthus.

Efekt redukcji NH₃

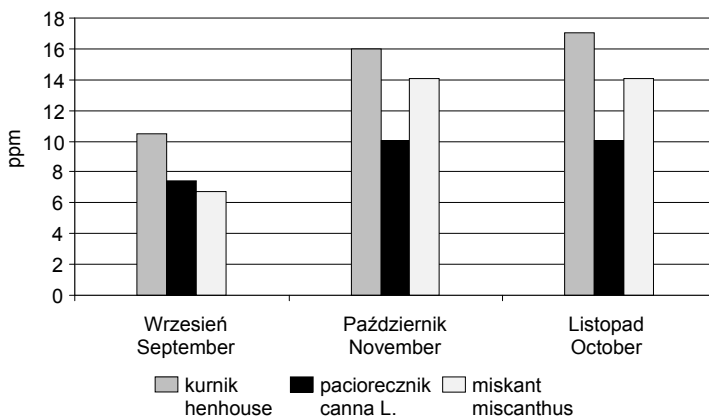
Porównując poziom zanieczyszczenia powietrza usuwanego ze stanowiska z ptakami z dopuszczalnym stężeniem amoniaku w kurniku, stwierdzono, że we wszystkich badanych terminach (IX, X, XI 2010) było ono niższe i wahało się od 8,5-17,0 ppm. Wynik ten uzyskano dzięki poprawnym rozwiązaniom i parametrom technologicznym, a także dzięki odpowiedniej wymianie powietrza (zainstalowany system samoistnie dostosowuje intensywność ciągu powietrza do wymaganych warunków środowiskowych). Temperatura powietrza w szklarni ogrzewanej ciepłem usuwanym z kurnika oraz dostarczanym z zewnątrz przez słońce, oscylowała jesienią w granicach 8-24,3°C, a wilgotność względna wynosiła 55,6-60%. Pomiary rejestrowane w szklarni we wrześniu, przy wilgotności 55,6% i temperaturze 27°C, wskazały najmniejsze stężenie NH₃ (8,55 ppm) na wlocie do szklarni. Redukcja tego gazu po przejściu między roślinami była na podobnym poziomie między roślinami obu gatunków i wynosiła 29% w części z paciorecznikiem i 36% – z miskantem.

Drugi cykl pomiarów, przeprowadzony w październiku – gdy temperatura powietrza w szklarni wynosiła średnio 8°C, wilgotność względna 60%, a poziom amoniaku 16 ppm – wykazał redukcję NH₃ w części z paciorecznikiem o 37% i o 12% w części z miskantem.

Ostatni cykl pomiarów wykonywano w listopadzie 2010 r., przy temperaturze powietrza w szklarni 9°C i wilgotności względnej powietrza 52%; przy wejściowym stężeniu NH₃ wynoszącym 17 ppm w tych warunkach uzyskano największą w całym doświadczeniu redukcję amoniaku, wynoszącą 41% w części szklarni z paciorecznikiem. Obniżenie poziomu NH₃ przez miskanta było większe niż w październiku o 17%, choć trawa ta najskuteczniej zredukowała poziom amoniaku (o 36%) we wrześniu.

Na podstawie zebranych wyników ustalono, że rośliny doświadczalne bardzo dobrze rozwijały się w atmosferze powietrza z zanieczyszczeniami typowymi dla zasiedlonego kurnika. Wegetacja była przyspieszona w porównaniu z roślinami kontrolnymi, oba gatunki nie wykazywały objawów chorobowych, nie były atakowane przez szkodniki i wykształciły kwiatostany. Niezwykle bujny wzrost paciorecznika (maksymalna wyso-

kość roślin 2,87 m, długość liścia 76 cm, szerokość liścia 48 cm), który utrudniał przelot powietrza w kierunku komina wentylacyjnego, a także intensywne wyrastanie młodych odrostów w donicach pozwoliło zredukować poziom NH_3 w powietrzu aż o 41%. Stosunkowo niska temperatura (9°C) nie miała wpływu na intensywność rozwoju roślin, które pobierając azot z powietrza, rosły zdecydowanie lepiej niż paciorecznik z grupy kontrolnej, wykazujący w tym czasie tendencje do zasychania. Analiza wyników pomiarów zebranych w części szklarni z miskantami, gdzie we wrześniu stwierdzono redukcję NH_3 o 36%, wykazała, że w miesiącach chłodniejszych trawy, choć nie zasychały, nie wykazywały też tendencji do dalszego rozwoju i zmniejszyły swoje potrzeby bytowe, nie przyswajając azotu z powietrza w takim stopniu, jak wcześniej (redukcja NH_3 o 12 i 14%). Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 3.



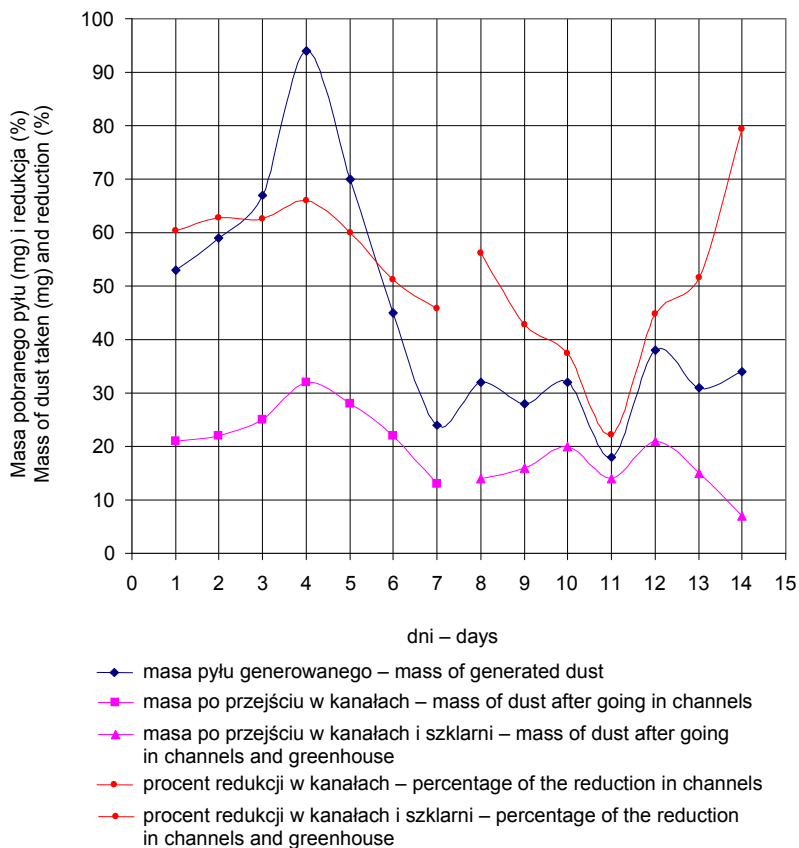
Rys. 3. Redukcja stężenia amoniaku
Fig. 3. Reduction in the concentration of ammonia

Efekt ograniczenia zanieczyszczeń pyłowych

Wstępne badania poziomu zapylenia powietrza prowadzono przez dwa tygodnie. W tym czasie stwierdzono znaczne różnice stężenia pyłów na stanowisku. Pomiar wykazał nawet dwukrotną rozbieżność ich średniego poziomu. Różnica ta jest wynikiem zmiennych warunków pogodowych na zewnątrz stanowiska badawczego.

Pomiary stężeń zapylenia zarejestrowanych w obiekcie badawczym odpowiadają w kurniku produkcyjnym – po przeliczeniu dla obiektu 1000 m^2 – emisji pyłu około $4,534 \text{ kg}$ do $0,724 \text{ kg}$ rocznie (czyli około $1,492 \text{ m}^3$ lub $0,238 \text{ m}^3$ pyłu). Na wyniki pomiarów wpływają niezależne warunki pogodowe. Wyniki przedstawiono na rysunku 4.

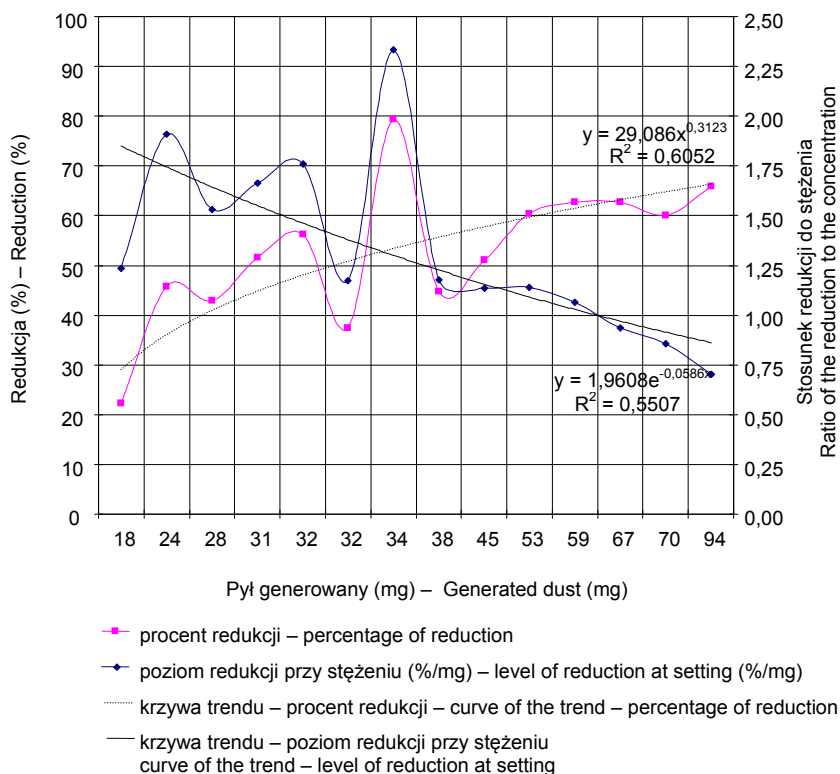
W celu określenia ogólniejszych tendencji zestawiono zebrane wyniki, pokazując otrzymane poziomy redukcji w relacji do stężeń generowanych w kurniku (reprezentowanych przez masy zebrane w ciągu doby przez aspirator pyłów). Na tym wykresie przedstawiono również uzyskany poziom redukcji zapylenia dla tych samych generowanych stężeń pyłów.



Rys. 4. Poziom redukcji zapylenia w obiekcie badawczym
Fig. 4. Level of dusting reduction in the research facility

Przy poziomie wymiany powietrza koniecznej dla ptaków, nieco wyższym od wymaganego dla temperatury utrzymywanej przez system klimatyzacji, uzyskano redukcję zapylenia tak jak na rysunku 5.

Wyznaczone krzywe trendów pokazują ogólny wzrost redukcji zapylenia przy dużych stężeniach emisji pyłu w pomieszczenia inwentarskiego. Z drugiej strony, mimo tej korzystnej tendencji sprawność systemu spada. Współczynniki determinacji wskazują na nadal zadowalającą zgodność krzywych aproksymujących tendencję. Ogólny wynik działania procesu bioutylizacji, wykorzystującego fitoremediację w tej dziedzinie, nie jest zbyt zadowalający. Ocena ta wynika z istotnego poziomu redukcji uzyskanego w kanałach transportujących powietrze do szklarni (mniej korzystne dla procesu sedymentacji grawitacyjnej są tu prędkości strumienia). Dla okresu tygodniowego w cyklu badań – w części szklarni doświadczalnej z miskantem – uzyskano średnią redukcję zapylenia o 14,7%, a dla części szklarni z paciorecznikiem o 13,8%. Wyniki pomiarów wykazały, że redukcja poziomu zapylenia powietrza emitowanego z doświadczalnego pomieszczenia inwentarskiego przy wykorzystaniu roślin jest niewielka.



Rys. 5. Procentowe ujęcie poziomów redukcji stężenia pyłu

Fig. 5. Percentage presentation of levels of the reduction concentrations of dust

Rośliny nie tworzą dostatecznie gęstej przeszkody na drodze cząsteczek pyłu, by zapewnić wychwycenie zadowalającej ich ilości. Stwierdzono, że jest to sedymentacja grawitacyjna w komorze szklarni. Prawdopodobnie proces sedymentacji jest w tym przypadku zakłócony konwekcją powietrza wraz z zanieczyszczeniami wywołaną przez promieniowanie słoneczne. W celu skutecznego przechwytywania pyłu z kurników trzeba zastosować inną technikę.

Dyskusja

Badania poziomu zapylenia powietrza emitowanego z kurników nie są prowadzone na szeroką skalę, a obowiązujące normy opracowuje się w odniesieniu do zanieczyszczeń przemysłowych (HANSEN 2003). Pył mineralny znacząco różni się strukturą oraz właściwościami od pyłów organicznych, które przeważają w budynkach inwentarskich. Ich szkodliwość jest natomiast porównywalna z pyłami przemysłowymi. W efekcie wyniki pomiarów można odnieść jedynie do wartości progowych zapylenia, podanych w ROZPORZĄDZENIU... (2008) w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu.

W praktyce prawidłowym rozwiązaniem jest zastosowanie jednego wentylatora dla obszaru kurnika o wymiarach do 12 m × 12 m. Stanowisko badawcze było odpowiednikiem 1/4 tego obszaru. Do porównań przyjęto taki sam poziom wymiany powietrza na jednostkę powierzchni, jak w badaniach. Maksymalne stężenie pyłu PM₁₀ w strumieniu usuwanego powietrza wyniosło 1725,404 µg/m³. Podane stężenie może być emitowane z otworu wentylatora w kalenicy, o średnicy np. 500 mm, czyli 0,19625 m².

Przyjęto dla uproszczenia rozkład sferyczny rozproszenia zanieczyszczeń powietrza i warunki, w których pod wpływem wiatru rozptył jest tylko jednokierunkowy (mniej korzystny). Trzeba zatem uwzględnić sytuację poza krawędzią budynku inwentarskiego. W rozpatrywanym obiekcie oblicza się półsferę odległą o 6 m od punktu emisji o powierzchni 226,08 m². Rozproszenie (obniżenie stężenia zanieczyszczeń pyłowych) będzie więc 1152-krotne. Wynikowe stężenie na granicy budynku wyniesie wówczas tylko 1,498 µg/m³.

Uzyskaną wartość można porównać z dopuszczalnym stężeniem tłowym według ustawy. Wartość ta średniorocznie musi być ograniczona poniżej 40 µg/m³.

Przy prowadzonych badaniach napotkano trudności merytoryczne, związane przede wszystkim z nierównomiernym poziomem zanieczyszczeń w przedziałach czasowych, wynikającym nie tylko ze zmian pogodowych czy sezonowych, ale również z zachowań zwierząt przy różnych systemach chowu, porach dnia, wielkościach grup itp. Istnieje zatem duża zmienność czynników, które mają wpływ na wiarygodność uzyskanych wyników. Przy metodycznym podejściu do tematu trzeba zatem zaplanować badania na dłuższy okres. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wykorzystanie roślin w procesie oczyszczania powietrza z pyłów ma ograniczoną skuteczność. Z biologicznego punktu widzenia rośliny nie mogą być uznane za czynnik ograniczający emisję pyłów. Pyły są obojętne dla ich potrzeb, mogą jedynie zakłócić proces fotosyntezy. W przypadku obiektu badawczego – szklarni uzyskane wyniki redukcji pyłów poniżej 15% wynikały z ich mechanicznego osadzania się na powierzchniach liści. Aby uzyskać większą skuteczność, należałoby zatem zwiększyć zagęszczenie roślin.

Badania poziomu redukcji stężenia gazów w powietrzu usuwanym z budynków inwentarskich w porównaniu do emisji przemysłowych nie są jeszcze szeroko rozpowszechnione. Ustawy dotyczące emisji szkodliwych gazów do atmosfery z obiektów przemysłowych obejmują również rolnictwo, ponieważ ta gałąź gospodarki generuje duże ilości zanieczyszczeń (PIETRZAK 2001, SHERIDAN i IN. 2002). Dokumenty takie jak PROTOKÓŁ Z KIOTO (2005), do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz DYREKTYWA... (1996) w sprawie oceny i zarządzania jakością otaczającego powietrza, jasno określają dopuszczalne limity emisyjne dla państw członkowskich. Ich przekroczenie powoduje nałożenie wysokich kar. Z tego powodu ekologiczne metody ograniczania szkodliwych gazów w powietrzu usuwanym z kurników mogą mieć ogromne znaczenie dla rolnictwa. W badanym obiekcie uzyskano redukcję stężeń zarówno CO₂, jak i NH₃. W przypadku CO₂ poziom stężenia był zależny od cyklu dobowego oraz sezonowego roślin. Średni dobowy poziom redukcji CO₂ dla roślin paciorecznika wyniósł 10%, a dla miskanta 3% (przy dziennym spadku około 20%). Wydłużenie dnia o 4 godziny zwiększyło skuteczność metody o 30%.

W Polsce nie normuje się dopuszczalnych stężeń dwutlenku węgla w powietrzu atmosferycznym (zewnątrznym) oraz w powietrzu wewnętrznym pomieszczeń przeznaczonych do stałego przebywania ludzi (mieszkania i budynki użyteczności publicznej).

Przy ustalaniu dopuszczalnych stężeń dwutlenku węgla w pomieszczeniach tego typu wykorzystuje się normy i zalecenia europejskie, Stanów Zjednoczonych (ASHRAE) i Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), które górny poziom stężenia CO₂ w pomieszczeniach stałego przebywania ludzi ustalają na poziomie 1000 ppm (wymóg minimum higienicznego). Dla porównania czyste powietrze atmosferyczne zawiera od 300 do 450 ppm CO₂.

W badanym obiekcie maksymalne stężenie CO₂ wynosiło ponad 1800 ppm, natomiast po przejściu przez komorę z roślinami zmniejszało się do około 1100 ppm. Różnica jest więc zauważalna. Należy jednak pamiętać, że wraz ze skracaniem dnia skuteczność metody oczyszczania powietrza zmniejsza się.

Podobne badania przeprowadzono w kierunku redukcji stężenia amoniaku. Według ROZPORZĄDZENIA... (2010 a) w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu dopuszczalny średni roczny poziom stężenia amoniaku to 50 µg/m³ (400 µg/m³ w ciągu godziny), czyli około 0,04 ppm. Natomiast inne ROZPORZĄDZENIE... (2010 b) określa dopuszczalny poziom stężenia amoniaku na 20 ppm. W czystym powietrzu atmosferycznym amoniak prawie nie występuje, dlatego ograniczenie emisji tego gazu z budynków inwentarskich jest niezwykle istotne, również z powodu uciążliwości zapachowej dla okolicznych mieszkańców.

Obecnie stosowanych jest kilka metod ograniczania poziomu NH₃ w budynkach inwentarskich (MROZCEK 2009). Są to m.in. dodatki paszowe, posypywanie ściółki węglanem wapnia lub mechaniczne biofiltry (MALEC i EYMONTT 2002). Wyczuwalne dla człowieka stężenie amoniaku to około 25 ppm; poziom niebezpieczny zaczyna się od 100 ppm.

W badanym obiekcie inwentarskim poziom stężenia amoniaku wahał się od 10 do 17 ppm, w zależności od wilgotności powietrza. Po emisji poza budynek wartość 17 ppm została zredukowana do 0,01 ppm. Dzięki wykorzystaniu roślin stężenie tego gazu zmniejszyło się o 12-40%, co jest wynikiem istotnym dla dalszych badań.

Wnioski

1. Rośliny wykorzystane w doświadczeniu bardzo dobrze rozwijały się w atmosferze powietrza z zanieczyszczeniami typowymi dla kurnika.

2. Wegetacja była przyspieszona w stosunku do roślin kontrolnych; oba gatunki nie wykazywały objawów chorobowych, nie były atakowane przez szkodniki, wykształciły kwiatostany.

3. Redukcja CO₂ zmieniała się w zależności od pory doby (dzień – noc) oraz gatunku uprawianych roślin.

4. Wydłużenie dnia przez zastosowanie sztucznego oświetlenia zwiększyło redukcję CO₂ średnio o 30% podczas działania światła na rośliny.

5. Całkowita średnia dobową redukcja CO₂ wyniosła około 10%; na taki wynik złożył się proces oddychania roślin zachodzący w ciemności.

6. Redukcja poziomu amoniaku w powietrzu przez rośliny doświadczalne wyniosła średnio 39%.

Sobczak J., Chmielowski A., Marek P., Rakowski A., 2011. Fitoremediacja jako metoda ograniczania zanieczyszczeń zawartych w powietrzu emitowanym z kurnika. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 6, #125.

7. Uzyskana średnia redukcja zapylenia (14,2%) spowodowana jest prawdopodobnie niedostatecznie zwartą przeszkodą, jaką stanowią dla pyłu rośliny, oraz zakłóceniem procesu jego sedymentacji przez konwekcję.

Literatura

- DYREKTYWA Europejska nr 96/62/WE z dnia 27 września 1996 roku w sprawie oceny i zarządzania jakością otaczającego powietrza. 1996.
- HANSEN A.G., 2003. Redukcja odorów w produkcji zwierzęcej – stan i perspektywy. W: *Materiały Konferencyjne IBMER*, Warszawa: 61-68.
- MALEC R., EYMONTT A., 2002. Opracowanie metody filtracji gazów i związków szkodliwych przy produkcji zwierzęcej. *IBMER*, Warszawa.
- MROCZEK J., 2009. Możliwości wykorzystania preparatów saponinowych w ograniczaniu emisji amoniaku z pomiotu drobiowego. *Pol. Drobiar.* 2: 38-40.
- PIETRZAK S., 2001. Sposoby ograniczenia emisji amoniaku z produkcji rolnej. W: *Materiały Konferencyjne IBMER*, Warszawa: 194-202.
- PROTOKÓŁ Z KIOTO do Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu. 2005. *Dz. U.* 203, poz. 1684.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 3 marca 2008 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu. 2008. *Dz. U.* 47, poz. 281.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu. 2010 a. *Dz. U.* 16, poz. 87.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi w sprawie dopuszczalnego poziomu stężenia amoniaku. 2010 b. *Dz. U.* 56 poz. 344.
- SHERIDAN B., CURRAN T., DODD V., COLLIGAN J., 2002. Biofiltration of odour and ammonia from a pig unit – a pilot-scale study. *Biosystems Eng.* 82 (4): 441-453.
- SOBCZAK J., RAKOWSKI A., MAĆKOWIAK J., MAREK P., 2009. Wykorzystanie procesu fitoremediacji w procesie oczyszczania powietrza wydalanego z budynków drobiarskich. *Maszynopis. IBMER*, Warszawa.

PHYTOREMEDIATION AS A METHOD OF LIMITING POLLUTANTS CONTAINED IN THE AIR TRANSMITTED FROM A HENHOUSE

Summary. The aim of the undertaken examinations was to determine the effectiveness of phytoremediation as an environment-friendly method of limiting emission of carbon dioxide, ammonia and level of dusting in the air removed from a henhouse. The ventilation system entered air from the henhouse into the experimental greenhouse planted with *Canna* and *Miscanthus* plants. Measurements (at the entry and exit of the greenhouse) conducted in September, October and November demonstrated an average reduction in the carbon dioxide level about 10% (about 30% a day), of ammonia level nearly 40% and average reduction of dusting level about 14.2%. Dust sedimentation process was disrupted by natural convection of the air heated by sun rays entering the greenhouse. A very positive influence of air pollutants was observed in respect of the experimental plants development, as compared to the control group cultivated in standard greenhouse conditions.

Key words: biorecycling, phytoremediation, elimination of air pollutants, carbon dioxide, ammonia, level of dusting

Sobczak J., Chmielowski A., Marek P., Rakowski A., 2011. Fitoremediacja jako metoda ograniczania zanieczyszczeń zawartych w powietrzu emitowanym z kurnika. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 6, #125.

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Joanna Sobczak, Zakład Inżynierii Produkcji Zwierzęcej i Dobrostanu Zwierząt, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy, ul. Biskupińska 67, 60-463 Poznań, Poland, e-mail: j.sobczak@itp.edu.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:

26.09.2011

Do cytowania – For citation:

*Sobczak J., Chmielowski A., Marek P., Rakowski A., 2011. Fitoremediacja jako metoda ograniczania zanieczyszczeń zawartych w powietrzu emitowanym z kurnika. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 6, #125.*