

## Jakość powietrza wewnętrznego, a optymalizacja efektywności energetycznej systemu wentylacji

Tomasz Goreczny

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Ogrzewnictwa i Wentylacji

e-mail: [tomasz.goreczny@wp.pl](mailto:tomasz.goreczny@wp.pl)

**Streszczenie.** Celem niniejszego referatu jest przedstawienie technologii aktywnego oczyszczania powietrza, która umożliwi działania systemu wentylacji ze zmniejszonym strumieniem nawiewanego powietrza zewnętrznego, zachowując akceptowalny poziom jakości powietrza wewnętrznego. Problematyka ta została ujęta w kontekście aktualnych przepisów prawnych i trendów polityki środowiskowej i energetycznej. W poniższej pracy zaprezentowano przykłady zastosowania innowacyjnych technologii oczyszczania powietrza tj. promieniowa jonizacja katalityczna (ang. Radiant Catalytic Ionization (RCI)), w celu wykazania skuteczności zastosowania tego typu technologii umożliwiających znaczną redukcję ilości nawiewanego powietrza świeżego. Skuteczność działania oczyszczania w prezentowanej technologii oparte jest na wynikach badań przeprowadzonych przez Centrum Zdrowia na Wydziale Środowiska Zdrowia Uniwersytetu Cincinnati oraz wieloma badaniami polskich i zagranicznych służb sanitarnych, głównie w sektorze budynków usługowo handlowych.

### 1. Wprowadzenie

W krajach dobrze rozwiniętych cywilizacyjnie dynamiczny wzrost gospodarczy oraz nowe trendy w budownictwie wymusiły zmianę funkcjonowania życia społeczeństwa. Szacuje się, iż w dużych aglomeracjach miejskich, człowiek spędza ok. 90% swojego czasu w pomieszczeniach zamkniętych, w których powietrze tworzy swoisty mikroklimat o składzie różnym od powietrza atmosferycznego. Jakość powietrza wewnętrznego w zamkniętych pomieszczeniach ma więc znaczący wpływ na stan zdrowia, dobre samopoczucie oraz wydajność pracy przebywających w nich ludzi. Ma to szczególnie istotne znaczenie w budynkach, w których jednocześnie przebywają duże skupiska ludzi, a więc budynkach użyteczności publicznej, sektora handlowego, służb zdrowia oraz biurach. Pojawia się tu dodatkowo zagrożenie miejscowego nagromadzenia i rozprzestrzeniania się bakterii drobnoustrojów oraz wirusów.

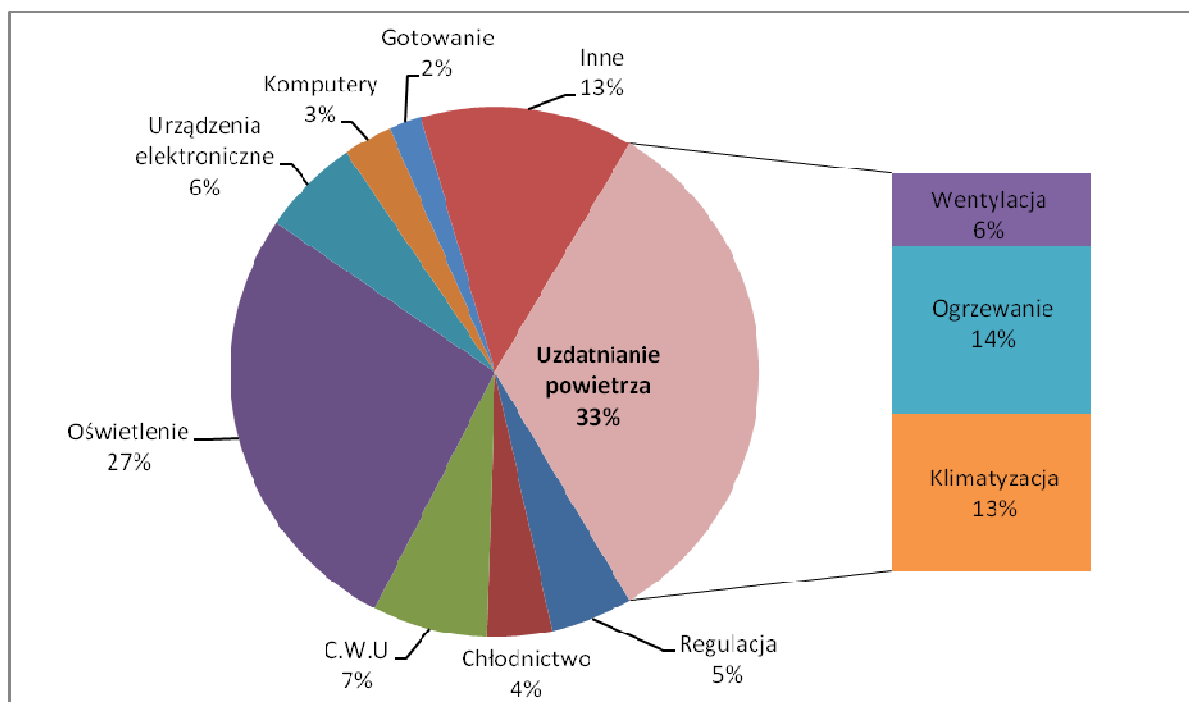
Konieczność zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza powinna być obligatoryjnym obowiązkiem każdego pracodawcy i zarządcy tego typu nieruchomości.

### 2. Bilans energetyczny budynków sektora handlowego.

Wykonywanie bilansu energetycznego budynków, w Polsce nie jest jeszcze zjawiskiem powszechnym. W związku z czym, zawarta w tekście analiza, w głównej mierze, oparta będzie o dane pochodzące z rynku Amerykańskiego. Ze względu na fakt, iż dotyczą one budownictwa sektora handlowego, którego realia i standardy energetyczne są zbliżone do Polskich warunków, mogą stanowić wiarygodne źródło odniesienia do sytuacji panującej w Polsce.

Całkowite zużycie energii pierwotnej budynków usługowo handlowych w USA, wynosi 17,91 biliardów Btu (18 900 biliardów [J];  $18,9[EJ]=18,9 \cdot 10^{18}[J]$ ) w skali roku. Analiza bilansu energetycznego przeprowadzona w tego typu budynkach, wykazała, iż oświetlenie jest najbardziej energochłonnym systemem w tym sektorze i stanowi obecnie ponad jedną czwartą całkowitego zużycia energii pierwotnej (27%). Tuż obok znajduje się ogrzewania pomieszczeń (14%), następnie klasyfikuje się chłodzenie pomieszczeń (13%). Wentylacja stanowi około 6%

całkowitego zużycia energii pierwotnej. [1]



Analiza ta wykazała, iż instalacje wentylacyjne, grzewcze i klimatyzacyjne służą do doprowadzenia, uzdatniania oraz rozdziału powietrza w pomieszczeniach, zużywają obecnie około jednej trzeciej (33%) całkowitego zużycia energii pierwotnej, w budynkach sektora handlowego.

W nowoczesnych budynkach tego typu stosuje się zcentralizowane systemy instalacyjne HVAC, które ściśle ze sobą współdziałając, odpowiadają za kompleksowe przygotowanie wymaganego mikroklimatu w pomieszczeniach, przez co mają bezpośredni wpływ na jakość powietrza wewnątrz budynku.

## 2.1. Analiza możliwości zmniejszenia energochłonności procesów uzdatniania powietrza.

Kompleksowy proces uzdatniania zewnętrznego powietrza wentylacyjnego jest bardzo energochłonny i wymusza konieczność szukania rozwiązań umożliwiających jego zmniejszenie. Możliwości oszczędności energii tym zakresie, są bardzo zróżnicowane w zależności od zastosowania konkretnej metody wentylacji, rodzaju systemu HVAC, klimatu i sposobu użytkowania budynku. W rzeczywistości, często pojawia się konflikt między energooszczędnością systemów wentylacji i jakością powietrza w pomieszczeniach, ponieważ niektóre próby zwiększenia efektywności energetycznej mają negatywny wpływ na jakość powietrza w pomieszczeniach.

Najbardziej energochłonnym procesem uzdatniania powietrza wentylacyjnego jest obróbka ciepło wilgotnościowa w układzie klimatyzacyjnym- centralnej wentylacji. Powszechnie znane możliwości ograniczenia zużycia energii, w tym aspekcie, skupiają się na zwiększeniu efektywności energetycznej urządzeń wentylacyjnych, jedynie poprzez stosowanie mechanicznych komponentów, o coraz to wyższej sprawności wytwarzania, przesyłu, regulacji, itp. Modyfikacje te, powodują zmniejszenie finalnego poboru energii przez urządzenia wentylacyjne, jednakże dokonując analizy możliwości zmniejszenia energochłonności procesów uzdatniania powietrza należy rozpatrzyć problem w szerszym kontekście.

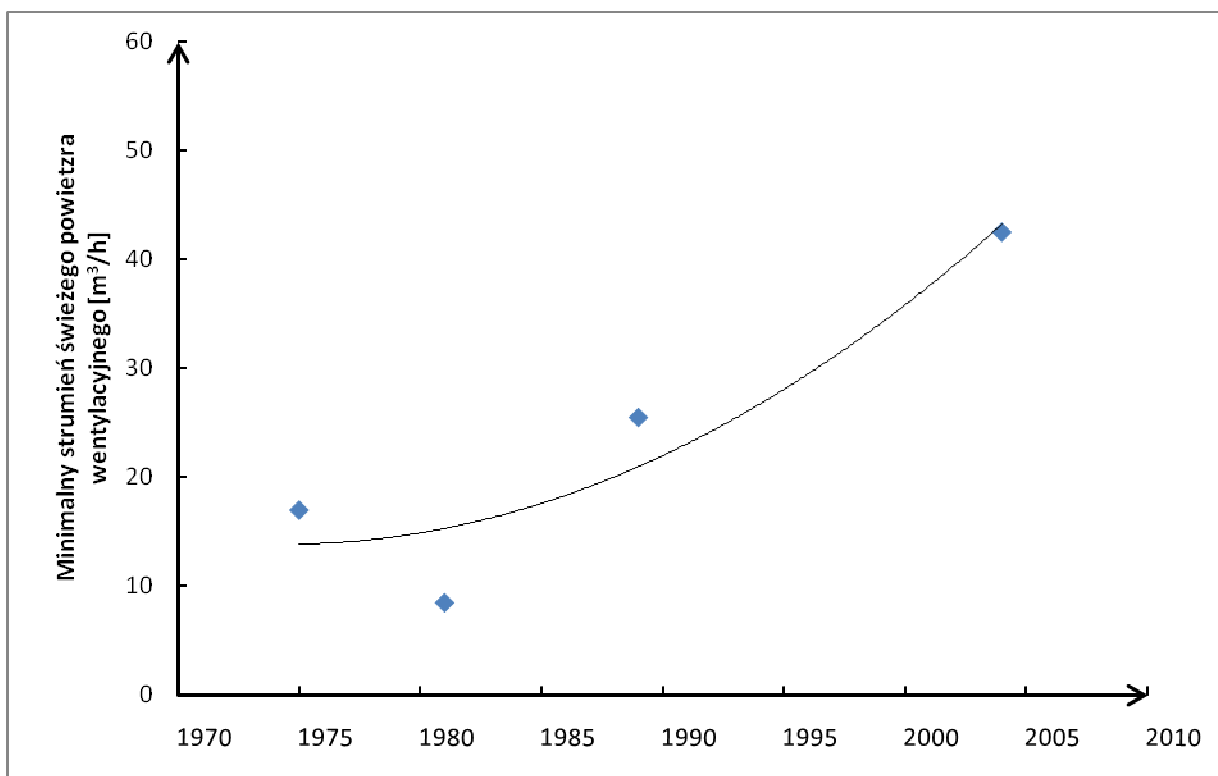
Końcowe zużycie energii urządzeń tj. agregaty chłodnicze, grzewcze oraz centrale wentylacyjne, zależy bezpośrednio od efektywności ich działania, aczkolwiek pośrednio jest

również zależne od wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego, który musi zostać przez nie uzdatniony.

Polskie wytyczne do projektowania systemów wentylacji mechanicznej określają wielkość strumienia powietrza wentylacyjnego w zależności od rodzaju, typu funkcji użytkowej wentylowanych pomieszczeń, lub w zależności od ilości przebywających w nich osób. Regulacje te zostały opracowane ze względu na jedną z podstawowych funkcji instalacji wentylacji, jaką jest konieczność uzdatniania powietrza wewnętrznego, poprzez rozcieńczanie skoncentrowanych w nim zanieczyszczeń do poziomów stężeń nieuciążliwych dla człowieka. Proces rozcieńczania realizowany jest poprzez dostarczanie tzw. powietrza „świeżego”, czerpanego bezpośrednio z powietrza zewnętrznego. Normy projektowe określają, więc wymaganą, minimalną wielkość strumienia zewnętrznego powietrza wentylacyjnego, jaka musi być doprowadzona do budynku lub konkretnego pomieszczenia w celu spełnienia powyższego warunku.

Należy jednak pamiętać, iż poziom zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego stale rośnie, co przekłada się na konieczność systematycznego zwiększania minimalnego strumienia zewnętrznego powietrza świeżego, aby utrzymać wymaganą, jakość powietrza wewnętrznego przez rozcieńczanie zanieczyszczeń w pomieszczeniach coraz to bardziej zanieczyszczonym powietrzem świeżym.

Na przykładzie amerykańskich danych z okresu 30 lat możemy zauważyć, iż regulowana prawnie minimalne wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego ulegała zmianom, z wyraźnie zachowanym trendem wzrostowym. Jedynie w roku 1981 nastąpiła zmiana przepisów, która spowodowała obniżenie tej wartości, co przyczyniło się do wzrostu liczby budynków, w których stwierdzono problemy z jakością powietrza wewnętrznego.



Wykres nr 1. Zmiany minimalnej wielkości strumienia świeżego powietrza wentylacyjnego na przestrzeni lat.[4]

Kolejne zmiany wytycznych spowodowały, iż badanym okresie, wielkość minimalnego strumienia powietrza świeżego wzrosła o 250%.

Ze względu na fakt, iż trend ten uzależniony jest głównie od wzrostu stężenia zanieczyszczeń powietrza zewnętrznego determinowanego rozwojem cywilizacyjnym, konieczne staje się szukanie alternatywnego podejścia do dzisiejszych wytycznych, określających minimalną wielkość

zewnątrznego powietrza wentylacyjnego, w oparciu jedynie o pierwotną definicję systemu wentylacji.

Zastosowanie innowacyjnych technologii oczyszczania powietrza wentylacyjnego umożliwia zmniejszenie zapotrzebowania energetycznego generowanego przez system wentylacyjny, bez pogorszenia jakości powietrza w pomieszczeniach. Wysoko wydajne systemy oczyszczania powietrza wentylacyjnego zapewniają utrzymanie stężenia zanieczyszczeń w powietrzu obiegowym na wymaganym poziomie. Pozwala to na zmniejszenie wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego pobieranego bezpośrednio z powietrza zewnętrznego i może mieć istotny wpływ na finalny bilans zużycia energii.

Dokonując analizy możliwości zmniejszenia energochłonności procesów uzdatniania powietrza poprzez zastosowanie wysoko wydajnych systemów oczyszczania powietrza, należy rozpatrzyć dwa aspekty [3]:

Pierwszym z nich jest, konieczność redukcji emisji zanieczyszczeń uwalnianych do powietrza i rozprzestrzenianych poprzez wentylację, wewnątrz budynku. O ile stosowanie niskoemisyjnych materiałów budowlanych jest możliwe, o tyle radykalne ograniczenie emisji zanieczyszczeń wytwarzanych przez osoby, już nie. Zmniejszenie stężenia substancji szkodliwych można więc uzyskać poprzez stosowanie nowoczesnych technologii oczyszczania powietrza. Może to ograniczyć konieczność rozcieńczania powietrza obiegowego, powietrzem świeżym, którego to uzdatnianie jest procesem energochłonnym.

Drugim, jest proces uzdatniania napływającego strumienia powietrza świeżego, do wymaganych parametrów. Logiczne staje się rozważenie, w jakim zakresie dopuszczalne są zmiany wydatku powietrza wentylacyjnego, który to ma istotny wpływ na zużycie energii na potrzeby wentylacji i klimatyzacji.

Zmniejszenie strumienia powietrza zewnętrznego przekłada się bezpośrednio na pobór energii elektrycznej przez wentylatory nawiewne w systemie wentylacji. Ponadto, może to zmniejszyć zużycie energii związane z obróbką ciepłno wilgotnościową strumienia powietrza świeżego (np. ogrzewania, chłodzenia i osuszania powietrza zewnętrznego). Zewnętrzne powietrze wentylacyjne, w chłodne dni, wymaga ogrzewania, co wpływa na konieczność zwiększenia wydajności pracy systemu ogrzewania. Natomiast w gorące dni, wymaga chłodzenia, a w zależności od klimatu dodatkowo nawilżania lub osuszania. Energochłonność tych procesów ma wyraźne odbicie w bilansie energetycznym budynku.

## **2.2. Wpływ technologii oczyszczania powietrza na zużycie energii**

Analizując wpływ technologii oczyszczania powietrza na energochłonność systemu wentylacji należy zauważyć, że technologie oczyszczania powietrza wewnętrznego mogą oddziaływać na zapotrzebowanie energetyczne budynku w dwojaki sposób. Z jednej strony, zastosowanie nowoczesnych technologii oczyszczania powietrza pozwala na zmniejszenie strumienia zewnętrznego powietrza wentylacyjnego, a tym samym potencjalnie, pozwala również zredukować zużycie energii związanej z procesami uzdatniania powietrza przez systemy HVAC. Z drugiej strony, technologie te wymagają jednak dodatkowej energii elektrycznej do działania. Na przykład, tradycyjna filtracja powietrza wymaga pracy wentylatora jedynie do wymuszenia ruchu powietrza przez filtr, a nowoczesne elektrotechniczne, fizyko-chemiczne technologie oczyszczania powietrza wymagają jeszcze dodatkowo energii do funkcjonowania samego systemu oczyszczania.

Ponadto, optymalizacja energochłonności powinna dążyć się do poprawy efektywności oczyszczania powietrza wentylacyjnego, a to zazwyczaj oznacza, że istniejące, tradycyjne filtry muszą być wymienione na filtry wysokiej wydajności. W tego typu filtrach ilość materiału filtracyjnego zwiększa się w celu polepszenia efektywności przechwytywania zanieczyszczeń, co powoduje wzrost oporu przepływu przez filtr oraz spadek ciśnienia na filtrze. Filtry HEPA mogą

mieć szczególnie wysokie opory przepływu powietrza, co powoduje konieczność stosowania wentylatorów o większej mocy, czyli o większym poborze energii elektrycznej.

W związku z tym, technologie oczyszczania powietrza mogą zarówno zwiększać jak i zmniejszać zapotrzebowanie energetyczne w budynkach, w zależności od ilości energii potrzebnej do samego funkcjonowania systemu oczyszczania powietrza oraz w zależności od tego, czy możliwe jest zmniejszenie strumienia zewnętrznego powietrza wentylacyjnego.

Generalnie, energia potrzebna do uzdatniania zewnętrznego powietrza wentylacyjnego jest zazwyczaj znacznie większa niż energia pobierana przez wentylatory wymuszające ruch powietrza przez filtry lub energia pomocnicza pobierana przez systemy oczyszczania.

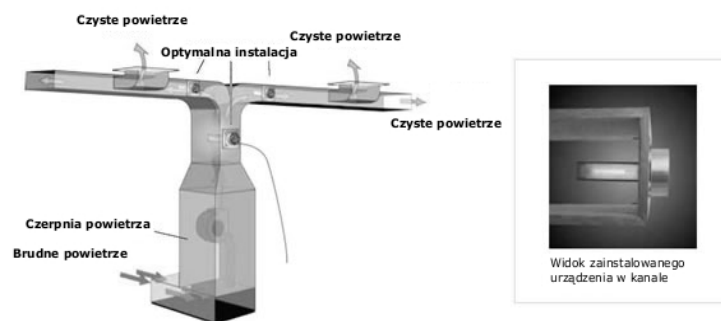
Ponadto, potencjalne możliwości uzyskania oszczędności energii, związane ze działaniem systemu wentylacyjnego zależą od wielu parametrów, takich jak klimat, rodzaj rozdziału powietrza, od tego czy w budynku zastosowano systemy tj. free cooling i odzysk ciepła- energii. W rezultacie trudno jest oszacować realne oszczędności energii związane z wykorzystaniem systemów oczyszczania powietrza. Problematyka ta może być przyszłościowo jednym z największych wyzwań stawianych projektowaniu nowoczesnych systemów wentylacyjnych, w dobie kryzysu energetycznego.

Przykłady z rynku amerykańskiego pokazują, że właściwie dobrany systemy oczyszczania powietrza, taki jak wysokowydajna filtracja w połączeniu z sorpcją gazów albo jonizacją dwubiegunową, może pozwolić na obniżenie wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego o 40-75%, przy zachowaniu akceptowalnego poziomu jakości powietrza.

### **2.3. Nowoczesne technologie w zakresie ochrony i oczyszczania powietrza w pomieszczeniach**

W celu uzyskania wymaganych parametrów jakościowych, powietrze wentylacyjne musi zostać poddawane procesom uzdatniania. Obecnie najczęściej wykorzystywane są tradycyjne technologie pasywne, w oparciu o mechaniczne filtry powietrza, przez które przetłaczany jest strumień powietrza wentylacyjnego. Istnieje również wiele dostępnych innowacyjnych technologii oczyszczania powietrza wentylacyjnego, tj. filtracja z zastosowaniem filtrów wysoko wydajnościowych HEPA, odpylania elektrostatyczne, promieniowanie ultrafioletowe, bakteriobójcze, fotokatalityczne utlenianie, UV, ozonowanie, sorpcja gazów i jonizacja dwubiegunowa. Podczas gdy niektóre technologie oczyszczania powietrza wewnętrznego są w stanie wychwycić tylko cząstki stałe (np. filtracji mediów, odpylania elektrostatycznego), inne technologie koncentrują się głównie na gazach (np. sorpcja gazowa, jonizacja dwubiegunowa). Ponadto, niektóre technologie oczyszczania powietrza są w stanie unieszkodliwić mikroorganizmy i zmniejszyć poziom stężenia lotnych związków organicznych (VOC) w pomieszczeniach (np. promieniowanie UV, ozonowanie, fotokatalityczny utlenianie), ale nie mogą usunąć większych cząstek stałych i są zwykle nieskuteczne w zwalczaniu innych gazów. W rezultacie, często konieczne jest użycie kombinacji różnych technologii lub systemów hybrydowych do zapewnienia kompleksowego systemu oczyszczania usuwającego zarówno cząstki stałe, gazy oraz zanieczyszczenia bakteriologiczne.

Jedną z innowacyjnych, aktywnych technologii spełniających powyższe warunki, jest oczyszczanie powietrza promieniową jonizacją katalityczną (Radiant Catalytic Ionization RCI). Jest to wysoko wydajny system, obniżający ilość przenoszonych w powietrzu zanieczyszczeń zapachów, a przede wszystkim bakterii. Technologia ta pozwala skopiować w sztucznych warunkach proces fotokatalizy i polega na wytwarzaniu jonów ponadtlenkowych oraz wodorotlenkowych poprzez wykorzystanie katalitycznego działania promieniowania o długości fali 254 nm na procesy fotojonizacyjne metali rzadkich oraz szlachetnych zawartych w hydrofilowym pokryciu komory RCI. Swoista mieszanka „przyjaznych” jonów-utleniaczy, wytwarzana przez technologię RCI, zapewnia skuteczność redukcji zawartych w powietrzu zanieczyszczeń chemicznych, mechanicznych oraz biologicznych i to bez nadmiernej produkcji ozonu.



**Rys. 1.** Schemat instalacji urządzeń wykorzystującego jonizację katalityczną [2]

Urządzenia wykorzystujące technologię RCI instaluje się w istniejących już systemach wentylacyjno-klimatyzacyjnych. Działają one poprzez przekształcenie pary wodnej ( $H_2O$ ) i tlenu ( $O_2$ ) z nieobrobionego powietrza do wodorotlenków i jonów ponadtlenkowych, eliminując różne drobnoustroje (zapachy, pleśnie, bakterie, wirusy, etc) tworząc zdrowsze powietrze wewnątrz pomieszczeń. Zanieczyszczone powietrze dostaje się przez wentylację do urządzenia, a następnie zostaje ono wzbogacone w naturalne składniki, co pozwala na uzyskanie czystego i zdrowego powietrza nadmuchiwanego do pomieszczeń.

### 3. Wnioski

Rozwój cywilizacyjny i technologiczny generuje coraz to większe zapotrzebowanie energetyczne związane z funkcjonowaniem społeczeństwa. Ograniczone zapasy surowców energetycznych wymuszają zaś pogoń za energooszczędnością i konieczność szukania możliwości redukcji energochłonności wszystkich procesów związanych z funkcjonowaniem obiektów budowlanych.

Obiekty handlowo-usługowe są specyficznym sektorem budownictwa, których bilans energetyczny jest porównywalny w większości krajów na świecie, dzięki czemu korzystając z międzynarodowych badań, można je rzetelnie odnieść do Polskich realiów.

Obróbka ciepłno-wilgotnościowa powietrza realizowana poprzez zintegrowane z wentylacją mechaniczną systemy HVAC, stanowi znaczny procentowy udział w całkowitym bilansie energetycznym budynków. Przekłada się to na konieczność przeprowadzenia bardziej wnikliwej analizy możliwości optymalizacji efektywności energetycznej systemów wentylacji.

Rosnąca świadomość zagrożeń wynikających z utrzymywanie niewłaściwej jakości powietrza wewnętrznego wymusza konieczność zainteresowania się tym tematem, wśród właścicieli i zarządców obiektów handlowych. Szacuje się, iż w najbliższej przyszłości znacząco zwiększy się korzystanie z nowoczesnych technologii oczyszczania powietrza.

Poruszona w referacie problematyka bardzo często postrzegana jest jako konflikt tendencji do minimalizowania wielkości strumienia zewnętrznego powietrza wentylacyjnego, a jakością powietrza wewnętrznego. Zaprezentowana technologia aktywnego oczyszczania powietrza tj. RCI może pogodzić oszczędzanie energii z koniecznością uzdatniania powietrza wewnętrznego, stając się alternatywą dla zwiększania wymaganego strumienia świeżego powietrza wentylacyjnego, w celu redukcji stężenia zanieczyszczeń w zamkniętych pomieszczeniach.

Zwymiarowanie tego problemu pod kątem efektywności energetycznej, będzie stanowiło przedmiot dalszej pracy badawczej.

## **Bibliografia**

- [1] ARZBAECHER C., HURTADO P. Indoor Air Purification Technologies that Allow Reduced Outdoor Air Intake Rates While Maintaining Acceptable Level of Indoor Air Quality.
- [2] MALICKA D. Technologia Oczyszczania powietrza ActivTek, Wentylacja i Klimatyzacja 7-8/2010
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc 2007. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007 Ventilation Standard for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, Ga.: ASHRAE.
- [4] History of American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Standards 62 1973-2004