

Andrzej Wiszniewski

NORMALIZACJA I OPTIMALIZACJA POZIOMÓW JONIZACJI ATMOSFERY W MIEJSCACH PRZEBYWANIA LUDZI

NORMALIZATION AND OPTIMIZATION OF AIR IONIZATION LEVELS
IN THE ATMOSPHERE OF POPULATED AREAS

Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk
Wydziałowe Studium Informatyki Medycznej i Biostatystyki

STRESZCZENIE

W pracy analizowane są obowiązujące obecnie normy dotyczące koncentracji aerojonów oraz możliwości uzupełniania deficytu tych cząstek przy pomocy jonizatorów. Z analizy tej wynika, że normy dotyczące jonizacji, we wszystkich ustalonych zakresach, są zawyżone, a optymalizacja poziomu jonizacji atmosfery przy zastosowaniu jonizatorów jest możliwa, ale bardzo trudna. Med. Pr. 2010;61(2):241–251

Słowa kluczowe: normalizacja, aerojony, jonizatory

ABSTRACT

The author discusses currently required norms concerning the concentration of air-ions and the possibility of complementing the deficit of these particles with the help of ionisers. The study shows that the required ionization norms are overstated, therefore, and as a result achieving their optimal levels is very difficult albeit possible. Med Pr 2010;61(2):241–251

Key words: normalization, air-ions, ionisers

Adres autora: Wydziałowe Studium Informatyki Medycznej i Biostatystyki, Gdański Uniwersytet Medyczny,
ul. Dębinki 1, 80-211 Gdańsk, e-mail: awisz@gumed.edu.pl
Nadesłano: 23 października 2009
Zatwierdzono: 20 listopada 2009

WSTĘP

W historycznym ujęciu badania nad jonizacją powietrza i potencjalną możliwością oddziaływania tego czynnika na struktury żywe prowadzone są od ponad stu lat. Mimo to problematyka ta wciąż nie może doczekać się zadowalających rozwiązań i to już na podstawowym poziomie. Ciągle bowiem ścierają się zwolennicy hipotezy o możliwości oddziaływania zjonizowanych cząstek (w przypadku powietrza zwanych aerojonami) na różnego typu organizmy z naukowcami, którzy twierdzą, że jest to zupełnie niemożliwe, a obserwowane podczas tego typu badań efekty biologiczne są wywoływane zupełnie innymi czynnikami. Jedną z głównych przyczyn braku wpływu aerojonów na struktury żywe, według sceptyków, ma być to, że w naturalnych warunkach na $2,6 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ wszystkich cząstek powietrza tylko kilkaset z nich jest zjonizowanych, a jonizatory są w stanie zwiększyć ich liczbę tylko do rzędu milionów/ cm^3 .

Polemika dotycząca tych zagadnień została zapoczątkowana i rozwinięta przede wszystkim przez naukowców z dwóch ośrodków — Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley oraz Uniwersytetu w Mona-

chium. W pierwszym z nich prof. Krueger (autor lub współautor kilkudziesięciu prac dotyczących tematyki aerojonów, por. 1–10) wraz ze swoimi współpracownikami zdecydowanie propagował teorię, że aerojony są w stanie efektywnie oddziaływać na różnego typu organizmy żywe. W drugiej z uczelni prof. Kröling publikował prace (np. 11), w których mniej lub bardziej przekonująco usiłował udowodnić, że żadne tego rodzaju efekty nie występują.

Liczba publikacji tych i innych naukowców zajmujących się problematyką aerojonizacji jest przy tym tak duża, że powstały nawet rozbudowane monografie zawierające ich zestawienia (por. 12,13). Dzięki nim można m.in. zorientować się w ogromie problemów pojawiających się przy rozpatrywaniu możliwości inicjowania poprzez aerojony różnorodnych procesów biofizycznych, biochemicznych, względnie fizjologicznych. Dla przykładu, jednym z najpoważniejszych jest to, że różni eksperymetatorzy przy badaniu podatności na jonizację tych samych struktur żywych otrzymywali zupełnie przeciwstawne wyniki.

Wszystko to tworzy paradoksalną sytuację, bo nie istnieje chyba żaden inny czynnik potencjalnie

wpływający na ludzi, który tak jak jonizacja powietrza byłby badany od kilkuset lat i co do którego wciąż nie ma pewności, czy jest w stanie w jakikolwiek sposób wpływać na struktury żywe, czy nie. (Pierwsze udokumentowane doświadczenia, pośrednio związane z tym oddziaływaniem, przeprowadzone zostały już w 1749 r. Francuski zakonnik Nollet zaobserwował przyspieszenie wzrostu roślin umieszczonych pod naładowaną elektrodą i dokonał prób terapeutycznego wykorzystania pola elektrycznego — pojęcie to wtedy jeszcze nie istniało). Tę nienaturalną sytuację pogłębia jeszcze to, że zarówno minimalne, jak i maksymalne poziomy koncentracji aerojonów w pomieszczeniach z ludźmi są formalnie określone odpowiednimi normami (także i PN), co do których również nie można się doszukać informacji, w oparciu o jakie doświadczenia zostały wprowadzone.

Również kolejna kwestia dotycząca tego zagadnienia pozostaje nierozwiązana. Nawet bowiem zwolennicy teorii o możliwości oddziaływania aerojonów na struktury żywe nie potrafią przedstawić wiarygodnych mechanizmów tłumaczących procesy, jakie musiałyby zachodzić przy zetknięciu się pojedynczych komórek ze zjonizowanymi cząstkami powietrza, żeby w efekcie mogło to wywołać jakąkolwiek biofizyczną, względnie biochemiczną reakcję. Pomijając jednak ten ostatni problem — bo rzeczywiście teorie dotyczące potencjalnych mechanizmów mogących pojawić się w relacji aerojon–komórka wciąż znajdują się w sferze hipotez — należy stwierdzić, że coraz większa liczba opublikowanych wyników doświadczeń świadczy o tym, iż jednak zjonizowane cząstki mogą mieć wpływ na struktury żywe. Między innymi na bardzo dobrym poziomie istotności wykazano ich efektywne oddziaływanie na limfocyty (14), na *Staphylococcus epidermidis* (15) oraz na ludzi (16). W związku z powyższym istotny staje się również problem dokładnego przeanalizowania obowiązujących obecnie norm, przynajmniej dla koncentracji aerojonów (choć być może także i dla innych parametrów tych cząstek), określających ich optymalne i szkodliwe dla człowieka zakresy. Temu zagadnieniu oraz omówieniu potencjalnych możliwości regulacji poziomu nasycenia aerojonami określonych pomieszczeń poświęcona jest niniejsza praca.

NORMALIZACJA POZIOMÓW JONIZACJI ATMOSFERY

Formalnie obowiązujące normy dotyczące zakresów koncentracji zjonizowanych cząstek powietrza ograniczone są tylko do tzw. aerojonów lekkich, czyli tych, dla

których ich podstawowy parametr zwany ruchliwością spełnia zależność: $\mu > 0,01 \text{ cm}^2/(V \times s)$ (17). Ruchliwość definiowana jest jako stosunek prędkości v , uzyskiwanej przez jon w polu elektrycznym, do wartości natężenia tego pola E i wyrażana wzorem:

$$\mu = v/E \quad [1]$$

Kryterium to związane jest z obowiązującymi obecnie teoriami, według których tylko takie aerojony mogą mieć biologiczny wpływ na człowieka. Normy te zostały ustalone w 1980 r. w byłym ZSRR (przepisy sanitarne nr 21-52-50), a później przyjęte we wszystkich krajach byłej RWPG (norma RWPG nr 790-77), czyli także w Polsce (PN-80/Z-08052), gdzie wciąż obowiązują (tab. 1):

Tabela 1. Normy zawartości aerojonów lekkich w powietrzu
Table 1. The norms of air-ions concentration

Poziom jonizacji The level of ionization	Aerojony Air-ions [n/cm ³]	
	ujemne negative (n ⁻)	dodatnie positive (n ⁺)
Minimalny, niezbędny / / Minimal, required	600	400
Optymalny / Optimal	3 000–5 000	1 500–3 000
Maksymalny, dopuszczalny / / Maximal, admissible	50 000	50 000

Na zakresy te powołują się jednak także autorzy prac dotyczących aerojonizacji, wydawanych w państwach spoza dawnego tzw. Bloku Wschodniego, co świadczy o tym, że najprawdopodobniej jak dotąd nie zostały wysunięte alternatywne propozycje. Mimo to normy te budzą duże wątpliwości, gdyż nie ma wiarygodnych uzasadnień ustalenia poziomów przedstawionych w tabeli 1. Bogata korespondencja dotycząca tego zagadnienia, prowadzona przez autora niniejszej pracy z odpowiednimi placówkami naukowymi i urzędami w Rosji, a także innych krajach, nie dała niestety żadnych rezultatów. Przyczyn określenia takich, a nie innych zakresów norm dla koncentracji zjonizowanych cząstek nie był w stanie podać nawet czołowy obecnie ośrodek zajmujący się tą problematyką — Uniwersytet w Tartu (Estonia). Niewiele daje też analiza publikacji dotyczących aerojonów, w których poruszane są zagadnienia normalizacji ich parametrów. Na ogół bo-

wiem autorzy tego typu prac przytaczają tylko normy przedstawione w tabeli 1., bez odwołania się do źródła, w którym można by znaleźć ich uzasadnienie. Z tego powodu wszystkie zakresy podane w wymienionej tabeli wymagają szczegółowego omówienia.

Największe wątpliwości budzi w tabeli 1. pozycja określająca poziomy koncentracji aerojonów „minimalne, niezbędne” dla człowieka. Analiza prac (por. 18) wykazuje bowiem, że podłożem wprowadzenia dla nich takich zakresów były, przeprowadzone w latach 1935–1938, doświadczenia japońskiego badacza Kimury. Komorę ze zwierzętami doświadczalnymi pozbawiał on aerojonów, przepuszczając dostarczane do niej powietrze przez filtry z waty. Na skutek braku zjonizowanych cząstek zwierzęta po kilku tygodniach padały martwe.

Identyczne doświadczenia zostały powtórzone w Moskwie w latach 1938–1940 przez Wariszczewa i jego uczniów na morskich świnkach, szczurach, myszach, królikach, psach i gołębiach (18). Według relacji badacza „[...] zwierzęta oddychające dejonizowanym powietrzem stawały się po pewnym czasie apatyczne, traciły łaknienie, zapadały w sen, traciły na wadze i ginęły. Po wpuszczeniu do komory nowego, niefiltrowanego powietrza, zwierzęta leżące dotąd w stanie daleko posuniętej śpiączki unosiły głowy, odzyskiwały przytomność, wachały to powietrze badawczo, siadały, poczynają ruszać się, wreszcie biegać i wspinać się po ścianach komory. Następną nową fazą wdychania dejonizowanego powietrza pogrążała zwierzęta ponownie w stan komatycznej śpiączki. Kolejne wprowadzenie do komory niefiltrowanego powietrza przywracało zwierzętom rześkość i energię”. „[...] systematyczne pomiary ciepłoty ciał zwierząt doświadczalnych wykazywały też jej stopniowe i stałe obniżanie się, przy równoczesnym wzroście ilości niedotlenionych składników w moczu. Sekcja zwierząt padłych podczas doświadczeń z dejonizowanym powietrzem wykazywała również silną niedokrwiłość płuc oraz znaczne przekrwienie nerek”. Wariszczew przeprowadzał także badania na ludziach przebywających w atmosferze pozbawionej aerojonów. Miało to powodować u nich uczucie osłabienia, senności, bóle głowy i wzrost ciśnienia krwi (18).

Gdyby przyjąć wyniki badań Kimury i Wariszczewa za wiarygodne, to mogłyby być one nie tylko podstawą do ustalenia norm dla minimalnych koncentracji aerojonów i obowiązku ich drastycznego przestrzegania, ale również niepodważalnym dowodem istnienia wpływu aerojonów na organizmy żywe i (ze względu na ich znikomą ilość w stosunku do cząstek obojętnych) olbrzy-

miej czułości ludzi i zwierząt na zmiany poziomów jonizacji. Niestety pojawia się tu wiele wątpliwości.

Pierwsza z nich jest zupełnie podstawowa — skoro już ponad pół wieku temu udało się udowodnić występowanie zależności między zmianami stanów jonizacji atmosfery a drastycznymi efektami biologicznymi pojawiającymi się u ludzi i zwierząt na skutek tych zmian, to dlaczego wciąż trwa dyskusja, czy aerojony w ogóle są w stanie oddziaływać na istoty żywe? Wątpliwości te pogłębia jeszcze to, że z przeglądu literatury naukowej wynika, iż jak dotąd nikt poza Kimurą i Wariszczewem takich efektów doświadczalnych nie uzyskał, a pełne potwierdzenie ich występowania powinno być bardzo ważne. Pojawiłaby się bowiem wówczas konieczność wyjaśnienia, jaki proces fizjologiczny w organizmie człowieka, względnie zwierzęcia, wymaga obecności tak minimalnej liczby ładunków elektrycznych i to do tego stopnia, że ich brak powoduje zgon istoty żywej. Pytanie to jest zasadne tym bardziej, że tak niewielka liczba aerojonów raczej nie miałaby szans przedostać się do płuc, gdyż wszystkie aerojony zostałyby najprawdopodobniej zubożnione już w nosogardzieli. Obiektywnie należy stwierdzić jednak, że ten ostatni argument, pozornie przekonujący, ma również słabe strony. Badania na ludziach (12,13,16) wykazały bowiem, że ich organizmy mogą reagować na zaskakująco małe zmiany koncentracji aerojonów.

Innym argumentem podważającym ustalenie minimalnej gęstości aerojonów na poziomie 400 oraz 600 jonów/cm³ jest nieprzekonujący sposób, w jaki naukowcy japońscy pozbawili atmosferę tych cząstek. Wata ze względu na swoje właściwości elektrostatyczne rzeczywiście ma zdolność zubożniania ładunków elektrycznych w przepuszczanym przez nią powietrzu, ale tylko do pewnego stopnia. Ponadto, nawet w całkowicie odizolowanym pomieszczeniu doświadczalnym aerojony zawsze będą generowane m.in. przez radon znajdujący się we wcześniej tam wprowadzonym powietrzu, a także przez pierwiastki promieniotwórcze zawarte w ścianach, stropach itp. Najprawdopodobniej właśnie dlatego wszystkie próby pozbawienia atmosfery aerojonów — podejmowane przez autora niniejszej pracy w ramach jego badań nad aerojonizacją (oprócz przepuszczania strumienia powietrza przez odpowiednie filtry stosowany był też wychwyty, zarówno dodatnio, jak i ujemnie naładowanych cząstek, przez odpowiednio naładowane przemiennymi potencjałami elektrycznymi metalowe płyty) — doprowadzały co najwyżej do znacznego zmniejszenia stopnia jonizacji atmosfery, ale nigdy do jego wyzerowania.

Maksymalna filtracja powietrza wprowadzanego do małego pomieszczenia o kubaturze ok. 12 m³ pozwalała przez krótki okres (kilkunastu minut) utrzymywać w nim poziom ok. 20 jonów/cm³ (dla obu ładunków), ale w dłuższym czasie stabilizował się on na granicy 50 jonów/cm³. Tymczasem są to poziomy nie tylko o rząd wielkości niższe od ustalonych w tabeli 1. jako minimalne, ale także pojawiające się, choć rzadko, w naturalnym tle atmosfery (19). Niekiedy były też one rejestrowane przez autora niniejszej pracy, lecz nigdy nie dało się zauważyć, żeby równocześnie pojawiły się u istot żywych jakieś nietypowe reakcje biologiczne. Nie jest jednak wykluczone, że mogłyby one wystąpić po dłuższym czasie przebywania w dejonizowanym powietrzu.

W tym przypadku sprawa minimalnej jonizacji atmosfery stałaby się rzeczywiście bardzo ważna, m.in. ze względu na pojawienie się istotnych problemów z zakresu medycyny pracy. Na przykład równie małe poziomy jak podane poprzednio (20–50 jonów/cm³) utrzymują się w sposób stały w tych wewnętrznych pomieszczeniach statków, które pozyskują powietrze wyłącznie z metalowych przewodów wentylacyjnych. Przewody te działają bowiem uziemiająco na zjonizowane cząsteczki, co doprowadza do ich tak niskiej koncentracji. Podejrzenie, że wywołuje to negatywne skutki (takie jak podane poprzednio: osłabienie, bóle głowy, wzrost ciśnienia krwi) u marynarzy przebywających w tych kajutach spowodowało nawet uruchomienie w Centrum Techniki Okrętowej w Gdańsku projektu badawczego (20), którego celem jest ustalenie możliwości uzupełniania poziomu aerojonów w kajutach poprzez jonizowanie powietrza w kanałach wentylacyjnych statków. (Zagadnienie to będzie tematem oddzielnej publikacji, jednak wstępnie można już podać, że dotychczasowe obserwacje nie upoważniają do wysunięcia hipotezy, iż deficyt aerojonów występujący w większości pomieszczeń statków wywołuje u marynarzy jakieś szczególne niedomagania).

Reasumując wszystkie zastrzeżenia dotyczące konieczności ustalenia minimalnych poziomów koncentracji aerojonów niezbędnych dla człowieka, należy przyjąć, że są to najbardziej kontrowersyjne pozycje w tabeli 1. Wątpliwości z nimi związane pogłębia jeszcze jedna niejasność. Jeżeli japońskim naukowcom rzeczywiście udało się osiągnąć poziomy jonizacji mniejsze niż najniższe uzyskiwane obecnie (przy których nic szczególnego się nie dzieje), to jakim jonometrem zdołali je zmierzyć? Szczegółowa analiza „historii” miernictwa parametrów aerojonów — częściowo omó-

wiona także w książce Kaveta i wsp. (13) — wykazuje bowiem, że w latach 30. XX w. wiarygodna detekcja nawet 100 jonów/cm³ była raczej mało prawdopodobna. Wynikało to z barier technologicznych, gdyż elektrometry mogące zarejestrować prądy jonowe wywołwane przez tak małe liczby zjonizowanych cząstek nawet teraz wymagają zastosowania wysokiej klasy elektronicznych podzespołów.

Nieco mniejsze kontrowersje budzi kolejna pozycja w tabeli 1. — „optymalne poziomy jonizacji”. Podane w niej zakresy koncentracji aerojonów są bowiem prawie o rząd wielkości zawyżone w stosunku do tych, jakie występują w naturalnym tle atmosfery, gdzie średnio ich poziom wynosi kilkaset aerojonów w 1 cm³ (19). Ustalenie takiego jak w tabeli 1. zakresu optymalnego poziomu jonizacji jest więc zupełnie nieuzasadnione, ponieważ z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że właśnie poziomy odpowiadające naturalnej jonizacji powietrza będą dla ludzi najbardziej optymalne. W literaturze naukowej spotyka się wprawdzie próby wyjaśnienia przyczyn ustalenia takiej nadwyżki, ale są one nieprzekonujące. Na przykład Korniewicz i wsp. (21) zakładają, że w tym przypadku ustalenie „nieznacznego zwiększenia koncentracji jonów ujemnych w powietrzu” ma na celu wywołanie „lekkiego działania pobudzającego”. Trudno jednak wzrost o jeden rząd wielkości nazwać „nieznacznym”, natomiast „działanie pobudzające” mogłoby ewentualnie dotyczyć tylko aerojonów ujemnych, które według niektórych teorii działają na człowieka „pozytywnie” (13,17). Tymczasem w tabeli 1. w podobnym stopniu zawyżone są też koncentracje cząstek zjonizowanych dodatnio, czego już uzasadnić nie sposób.

Pozycję w tabeli 1., którą można by ewentualnie zaakceptować, chociaż też z pewnymi zastrzeżeniami, są koncentracje aerojonów „maksymalne, dopuszczalne” (dla człowieka). Poziom ok. 50 tys. jonów/cm³ bowiem jako ten, po przekroczeniu którego rozpoczyna się destrukcja żywych komórek przy obu ładunkach zjonizowanych cząstek, ustalony został też w trakcie prowadzenia badań na limfocytach (14). Wspomniane zastrzeżenia związane są jednak z tym, że doświadczenia te były prowadzone *in vitro*. Trudno więc mechanicznie odnieść je do oddziaływań aerojonów wprowadzanych do organizmu człowieka drogą oddechową.

Innym poważnym brakiem tej pozycji jest nieustalenie minimalnego czasu, w jakim w atmosferze o koncentracji aerojonów większej niż 50 tys. jonów/cm³ człowiek bez szkody dla swego zdrowia może przebywać. Jest to bardzo istotne pytanie, cho-

ciażby ze względu na stosowanie jako metody leczenia zabiegów jonoterapeutycznych (inhalacja lekkimi aerojonami ujemnymi). Wspomniane przepisy sanitarne nr 21-52-50, ustalone w byłym ZSRR, ograniczają wprawdzie dopuszczalny czas wdychania powietrza zawierającego 1 mln jonów/cm³ do 20 minut, jednak tak jak w przypadku norm w tabeli 1 nie ma szczegółowego uzasadnienia przyjęcia takich właśnie pułapów (21). To, że zarówno czas oddziaływania aerojonów może być istotny, jak i że ustalona jako maksymalna dopuszczalna koncentracja 50 tys. jonów/cm³ jest bardzo niepewna (przynajmniej w przypadku ładunku dodatniego), potwierdziły także badania nad wpływem jonizacji na parametry krążeniowe u ludzi prowadzone przez autora niniejszej pracy. Nie zostały one jeszcze zakończone i opublikowane, ale wstępnie można podać, że oddychanie przez 6 godzin powietrzem zjonizowanym dodatnio do poziomu 25 tys. jonów/cm³ wywołuje u człowieka nieregularne, gwałtowne zmiany ciśnienia krwi.

Obok koncentracji drugim parametrem aerojonów, dla którego próbowano ustalić obowiązujące normy, jest tzw. wskaźnik biegunowości P. Dla powietrza o koncentracji aerojonów lekkich n⁻ oraz n⁺ jest on zdefiniowany jako:

$$P = \frac{n^+ - n^-}{n^+ + n^-} = \frac{K_u - 1}{K_u + 1} \quad [2]$$

gdzie:

$K_u = n^+ / n^-$ — wskaźnik unipolarności jonów (analogicznie można zdefiniować wskaźnik biegunowości i unipolarności dla jonów ciężkich (oznaczenia koncentracji: N⁺) oraz dla sumy wszystkich jonów ujemnych: n⁻ + N⁻, względnie dodatnich: n⁺ + N⁺ — „jonów”, a nie tylko „aerojonów”, gdyż jest to pojęcie bardziej ogólne).

Jako norma traktowane jest również niekiedy założenie, że przy podanej w tabeli 1. optymalnej koncentracji aerojonów wskaźnik P powinien się mieścić w zakresie -0,5-0 (21). Kryterium to nie ma już jednak żadnego uzasadnienia, może ewentualnie poza tym, że pewna nadwyżka aerojonów ujemnych jest podobno dla człowieka wskazana. Niestety, to także nie jest udowodnione w sposób w pełni przekonujący, na co wskazuje wiele opublikowanych wyników doświadczeń (12,13).

Reasumując więc wszystkie poruszone zastrzeżenia dotyczące zakresów podanych w tabeli 1., należy stwierdzić, że obowiązujące obecnie normy dla parametrów

aerojonów opierają się na bardzo słabych przesłankach. W związku z tym istnieje konieczność ich weryfikacji w oparciu o bardziej szczegółowe badania wpływu zmian poziomów jonizacji powietrza na organizm człowieka. Już teraz jednak, uwzględniając przeprowadzoną tu analizę, można przyjąć, że wszystkie zakresy narzucone normami podanymi w tabeli 1. są za wysokie — „minimalne”, ponieważ nawet trzy-cztery razy mniejsze zakresy często występują w naturalnym tle atmosfery, „optymalne”, gdyż są o jeden rząd wielkości zawyżone w stosunku do średniego poziomu jonizacji w tle naturalnym, a także „maksymalne, dopuszczalne”, gdyż niektóre doświadczenia (m.in. wspomniane, związane z oddziaływaniem aerojonów dodatnich na parametry krążeniowe) wykazują negatywne działanie zjonizowanych cząstek na człowieka już przy przekroczeniu zakresu 25 tys. jonów/cm³.

OPTIMALIZACJA POZIOMÓW JONIZACJI ATMOSFERY

Obecnie bez względu na to, jaka jest wiarygodność zakresów podanych w tabeli 1., właśnie do nich przyrównuje się poziomy jonizacji występujące w różnego typu pomieszczeniach, zarówno standardowych, jak i takich, w których stan atmosfery naruszany jest aerozoolowymi zanieczyszczeniami, specyficznym wyposażeniem (np. silnie elektryzującą wykładziną, która wbrew pozorom obniża koncentrację aerojonów (13)), względnie działaniem różnego typu jonotwórczej aparatury (22). Automatycznie, jeżeli w określonym pomieszczeniu mieszkalnym, względnie przy stanowisku pracy, doprowadza to do znaczącego odchylenia poziomu jonizacji powietrza od zakresu „optymalnego” podanego w tabeli 1. (przy uwzględnieniu podanych tu uwag o zawyżeniu norm można go ewentualnie ustalić na poziomie tła naturalnego), powinny w tych miejscach zostać podjęte określone działania normujące.

Przypadki, kiedy występuje konieczność obniżenia poziomu jonizacji, zdarzają się stosunkowo rzadko. Zasadniczo mają one miejsce tylko przy stanowiskach pracy, na których używa się promieniotwórczych izotopów, względnie specyficznej aparatury medycznej (np. bomby kobaltowej, nawet wyłączonej (22)). Znacznie częściej pojawia się natomiast deficyt aerojonów i konieczność jego uzupełnienia. Niestety, pozornie najprostszy sposób, jakim mogłoby być przywracanie w określonym pomieszczeniu optymalnego poziomu jonizacji powietrza poprzez jego wietrzenie, okazuje się być zawodny.

Przyczynę omówił autor niniejszego artykułu w poprzedniej pracy (23). Przedstawione w niej wykresy pokazują, że koncentracje aerojonów w pomieszczeniach wykazują swoisty reżim, gdyż odzwierciedlają zmiany gęstości tych cząstek na zewnątrz budynku w stopniu relatywnie niewielkim. Spowodowane jest to efektem przechwytywania, napływających stamtąd aerojonów, przez okna, lufciki, przewody wentylacyjne itp. W związku z tym np. koncentracje aerojonów na zewnątrz budynków, zmieniające się w zakresie ok. 100–700 jonów/cm³, w wewnętrznych pomieszczeniach wywołują wahania rzędu 400–600 jonów/cm³ (dotyczy to lokali o bardzo szerokim zakresie kubatury: 20–185 m³). Istotne przy tym jest też to, że tego typu zależności występują nie tylko kiedy pomieszczenie jest szczelnie zamknięte, ale również przy otwartych lufcikach, a nawet oknach (oczywiście jeżeli ruchy powietrza w pokoju wywołane jego wietrzeniem nie są zbyt intensywne).

Podana proporcja — kilkukrotny stosunek amplitud zmian gęstości aerojonów na zewnątrz i wewnątrz budynku — występuje np. jeszcze wtedy, gdy powierzchnia otwartych okien jest równa 2,5% powierzchni ścian (orientacyjnie odpowiada to np. otwarciu jednego skrzydła dużego okna w pokoju o powierzchni 15 m² (23)). W rezultacie jedynym nasuwającym się rozwiązaniem dotyczącym przywracania w określonych pomieszczeniach o zaniżonym poziomie jonizacji właściwej koncentracji aerojonów jest umieszczanie w nich jonizatorów. Niestety, efektywność tego typu rozwiązań, o czym mowa dalej, nie jest zbyt duża.

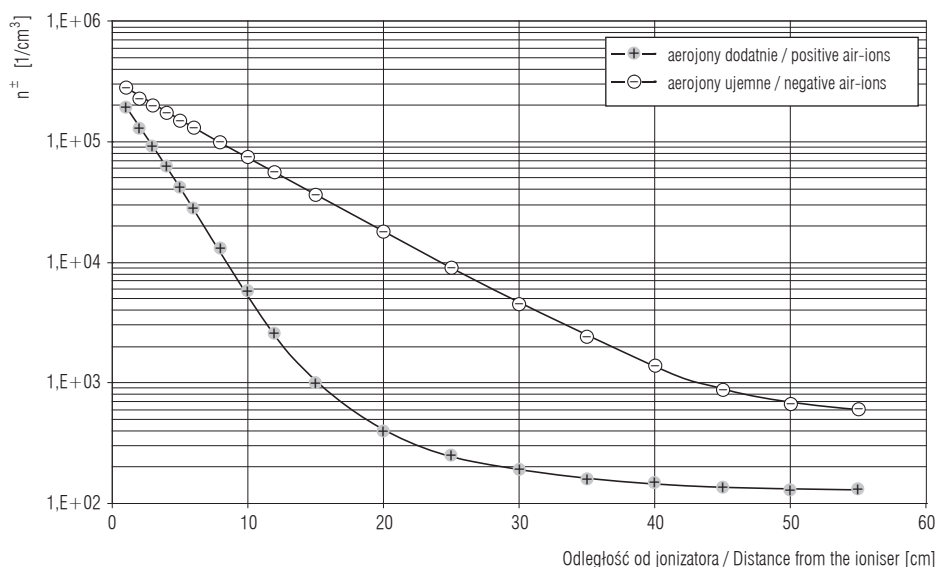
Pod względem konstrukcji oraz sposobu wytwarzania aerojonów obecnie stosowane jonizatory dzielą się na elektryczne, radioizotopowe, termoelektryczne i fotoelektryczne. Dwa ostatnie typy stosowane są rzadko. Jonizatory radioizotopowe wykorzystuje się częściej, ale zasadniczo tylko do jonizowania aerozoli (przede wszystkim dymów w kominach fabrycznych), które następnie wychwytywane są przez siatki naładowane do odpowiednich potencjałów elektrycznych. Jonizatory te są najefektywniejsze ze wszystkich stosowanych, gdyż mogą wytwarzać praktycznie nieograniczone liczby aerojonów. Ze względu na emitowane promieniowanie radioaktywne nie mogą być jednak umieszczane w bezpośredniej bliskości ludzi. W tym przypadku stosuje się przede wszystkim jonizatory elektryczne, na ogół oparte na ciemnym wyładowaniu koronowym. Ich konstrukcje najlepiej bowiem spełniają kryteria, którym podlega każdy prawidłowo

skonstruowany jonizator, czyli poza emisją aerojonów nie wpływają na stan otoczenia. Jonizator bowiem nie powinien:

- podnosić w powietrzu stężenia ozonu i tlenków azotu (warunek najtrudniejszy do spełnienia, który wprowadza istotne ograniczenia wydajności jonizatorów),
- wytwarzać pyłów metali (efekt towarzyszący termojonizacji),
- podnosić temperatury otoczenia,
- emitować do otoczenia pola elektryczne, względnie elektromagnetyczne, o szkodliwym dla ludzi natężeniu (dotyczy to wyłącznie jonizatorów o bardzo dużej mocy).

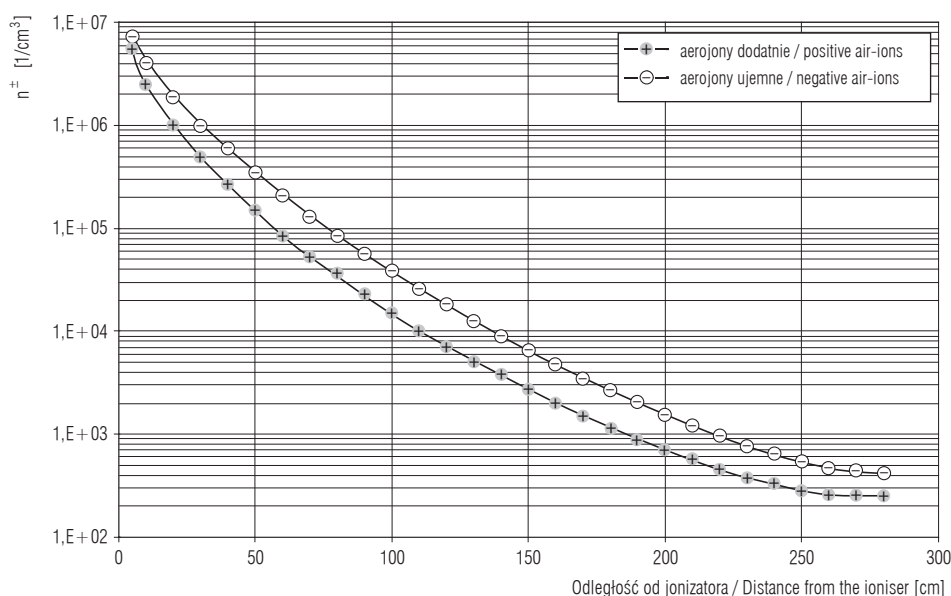
Warunki te stają się szczególnie istotne przy prowadzeniu badań nad oddziaływaniem aerojonów na struktury żywe, ale muszą też być uwzględniane przy optymalizowaniu poziomu jonizacji powietrza w pomieszczeniach. Z tego powodu każdy z jonizatorów używany do tych celów powinien być przetestowany pod kątem spełniania wymienionych kryteriów. Szczególnie ważne jest wyeliminowanie emisji ozonu, który w większych stężeniach jest dla wszystkich struktur żywych związkiem szkodliwym. Można to osiągnąć, stosując odpowiednią geometrię ostrzy jonizatorów oraz ograniczając przykładane do nich napięcia (są one rzędu kV). Niestety, automatycznie ograniczy to również maksymalne koncentracje aerojonów, które mogą być osiągnięte przy stosowaniu tych urządzeń. Badania wykazały, że jonizatory elektryczne, bez równoczesnej emisji O₃, są w stanie wygenerować na wylocie swoich emiterów aerojony o gęstości nie większej niż 7,5 mln jonów/cm³ (16). Dodatkowym problemem jest to, że urządzenia te mają tendencję do rozkalibrowywania się po pewnym czasie, co polega zarówno na obniżaniu się pierwotnego poziomu emisji zjonizowanych cząstek, jak i właśnie na pojawianiu się możliwości wytwarzania ozonu. Jonizatory elektryczne muszą być więc testowane nie tylko bezpośrednio po skonstruowaniu, ale również regularnie w trakcie ich użytkowania.

Kolejnym problemem związanym ze stosowaniem jonizatorów jest bardzo duży gradient koncentracji emitowanych przez nie aerojonów w funkcji odległości (i w funkcji odchylenia kąтового od osi jonizatora). Ilustrują to ryciny 1. i 2., na których przedstawiono zmiany koncentracji aerojonów w funkcji odległości dla dwóch typowych jonizatorów elektrycznych (zbudowanych w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie) o zróżnicowanych mocach — kolejno: niskiej i wysokiej.



Ryc. 1. Zmiany koncentracji aerojonów w funkcji odległości od jonizatora niskiej mocy.

Fig. 1. Changes of air-ions concentration in the function of the distance from a low power ioniser.



Ryc. 2. Zmiany koncentracji aerojonów w funkcji odległości od jonizatora wysokiej mocy.

Fig. 2. Changes of air-ions concentration in the function of the distance from a high power ioniser.

Gradienty tego parametru, co wynika z analizy przebiegów funkcyjnych przedstawionych na rycinie 1. i 2., są tak wysokie, że w przypadku jonizatora niskiej mocy przedział odległości dzielący środek optymalnego poziomu gęstości aerojonów od poziomu szkodliwego (zarówno dla cząstek naładowanych dodatnio, jak i ujemnie) wynosi ok. 20 cm. W dodatku koncentracje tych cząstek zrównują się z naturalnym poziomem tła już w odległości 0,5 m. Nieco lepiej wygląda to w przypadku jonizatora wysokiej mocy

(ryc. 2), ale tu także przedział między poziomem optymalnym a szkodliwym jest dość ograniczony (do ok. 80 cm). Jak na maksymalnie wydajny jonizator, nieprodukujący jeszcze ozonu, nie ma on również zbyt dużego zasięgu — zrównanie z poziomem tła następuje już po przekroczeniu odległości 2,5 m. W dodatku podane wartości dotyczą tylko pomiarów dokonywanych wzdłuż osi jonizatora. Jakikolwiek kątowy odchylenie od niej drastycznie pomniejsza koncentracje aerojonów.

Na przykład dla zaprezentowanego tu jonizatora wysokiej mocy (ryc. 2) zmiana kąta pomiaru z 0° na 45° względem jego osi zmniejsza w odległości 50 cm gęstość emitowanych aerojonów ujemnych z ok. 300 tys. jonów/cm³ do 600 jonów/cm³. Podobny stosunek, czyli spadek wartości o blisko 3 rzędy wielkości, otrzymywano w takim przypadku również podczas wyznaczania charakterystyk innych jonizatorów. W efekcie ogranicza to zastosowanie tego typu urządzeń tylko do celów badawczych. Mają one bowiem tę pozytywną cechę, że pozwalają uzyskać w ustalonej odległości stabilny poziom koncentracji naładowanych cząstek.

Mimo że przedstawione na rycinach 1. i 2. zależności funkcyjne dotyczą tylko dwóch konkretnych jonizatorów, podobnie duże gradienty koncentracji charakteryzują wszystkie elektryczne emitery jonów. W efekcie mogą być one używane do różnorodnych prac badawczych związanych z jonizacją, ale zastosowanie ich do optymalizacji powietrza w pomieszczeniach z ludźmi jest bardzo trudne, a przy użyciu pojedynczych egzemplarzy wręcz nierealne. Utrzymywanie żądanego poziomu gęstości aerojonów wokół głowy jakiegokolwiek osoby, np. siedzącej przy swoim stanowisku pracy, wymagałoby bowiem ograniczenia jej ruchów do kilkunastu centymetrów — po przekroczeniu tej granicy osoba ta albo wydostawałaby się spod wpływu jonizacji, albo dostawałaby się w obszar szkodliwych koncentracji aerojonów. Z tego powodu próby uzupełniania deficytu aerojonów przy pomocy masowo oferowanych w handlu jonizatorów nie mają praktycznie szans powodzenia.

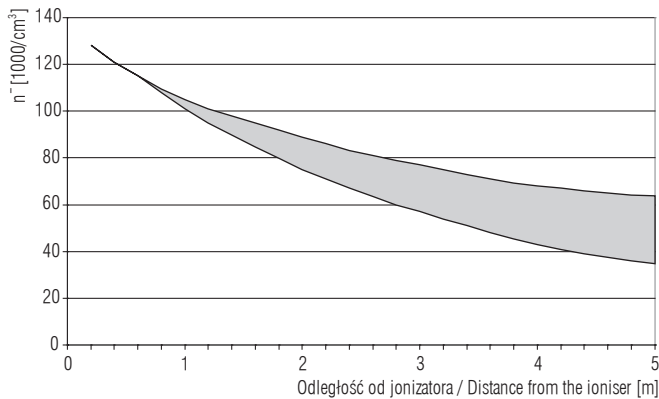
Tymczasem np. wprowadzenie w przeglądarce Google hasła 'jonizator' dało w wynikach 56 400 pozycji (cytowane: 18 czerwca 2009 r.), w tym co najmniej kilkaset propozycji zakupu tych urządzeń. Wiele z nich ma rzekomo nie tylko pozytywnie wpływać na samopoczucie, ale też leczyć zatoki, alergię, astmę, migrenę oraz — co graniczy z absurdem — nawet nowotwory. Równocześnie faktem jest, że mimo wymienionych zastrzeżeń tego typu jonizatory jak omówione mogą być, pod pewnymi warunkami, wykorzystywane do optymalizowania poziomu jonizacji przy stanowiskach pracy (stosował je również autor niniejszej publikacji podczas wspomnianych badań nad wpływem aerojonów na parametry krążeniowe). Wymagane do tego jednak jest odpowiednie rozmieszczenie ich większej liczby. Konkretnie polega to na podwieszeniu nad określonym miejscem „siatki” jonizatorów, umieszczonych względem siebie w takich odległościach, żeby znajdujący się w zasięgu emitowanych przez nie aerojonów człowiek przy odsuwaniu się od jednego z tych urzą-

dzeń automatycznie dostawał się w obszar działania innego. Przy ich odpowiednim ustawieniu pozwala to w danym obszarze utrzymać żądaną koncentrację zjonizowanych cząstek, z tolerancją ok. 20%. Niestety, tego rodzaju rozwiązania w praktycznym zastosowaniu są zarówno kłopotliwe, jak i kosztowne (konieczne jest precyzyjne zainstalowanie na niewielkiej wysokości dla pojedynczego stanowiska pracy min. 6 wysokiej klasy jonizatorów). W związku z tym jonizatory stosuje się przede wszystkim do badań wpływu zmian koncentracji aerojonów na ludzi.

Były wprawdzie prowadzone próby wykorzystania podobnych konstrukcji do normalizacji stanów jonizacji i to nawet w większych pomieszczeniach, ale w takich przypadkach również pociągało to za sobą konieczność zastosowania rozwiązań trudnych do szerszego rozpowszechnienia. Na przykład Cziżewski stosował w tym celu podwieszane pod sufitem duże drewniane powierzchnie, z osadzonymi w nich setkami igieł, do których przykładano napięcie 30 kV (24). Rzeczywiście, rozwiązanie takie umożliwia ustabilizowanie poziomu koncentracji aerojonów na żądanym poziomie i to nawet w dość dużym pomieszczeniu, ale nawet jeśli pominie się koszty i trudności techniczne, pojawia się w tym przypadku dodatkowy problem — zapewnienia bezpieczeństwa osobom przebywającym w pobliżu takiego urządzenia.

Próbą ominięcia omówionych trudności, związanych ze stosowaniem jonizatorów elektrycznych, jest modyfikacja ich budowy, która polega na wyposażaniu ich w odpowiednią dmuchawę i tym samym wprowadzaniu aerojonów do strumienia poruszającego się z określoną prędkością powietrza. Jonizatory w ten sposób zmodyfikowane nazywane są niekiedy, niezbyt trafnie, „dynamicznymi”, w odróżnieniu od tych pierwszych, określanych jako „statyczne”. Zastosowanie dmuchawy jest skutecznym rozwiązaniem kwestii zbyt dużego gradientu koncentracji aerojonów emitowanych przez jonizatory „statyczne”, ale niestety równocześnie powoduje powstanie innych problemów.

Głównym z nich jest „rozmywanie się” poziomów koncentracji aerojonów w miarę wzrostu odległości od miejsca emisji tych cząstek, co skutkuje dużymi wahaniami wartości tego parametru. Można to prześledzić na rycinie 3. przedstawiającej zmiany koncentracji aerojonów ujemnych (dla dodatnich przebieg jest praktycznie identyczny) w funkcji odległości od jonizatora z wymuszonym ruchem powietrza, przy jego prędkości na wylocie emitera jonów równej 1,2 m/s. Koncentracje te były wyznaczane na przedłużeniu osi jonizatora, czyli równoległe do kierunku ruchu strumienia powietrza.



Ryc. 3. Zmiany koncentracji aerojonów ujemnych w funkcji odległości od jonizatora z wymuszonym ruchem powietrza.
Fig. 3. Changes of negative air-ions concentration in the function of the distance from the ioniser with forced air motion.

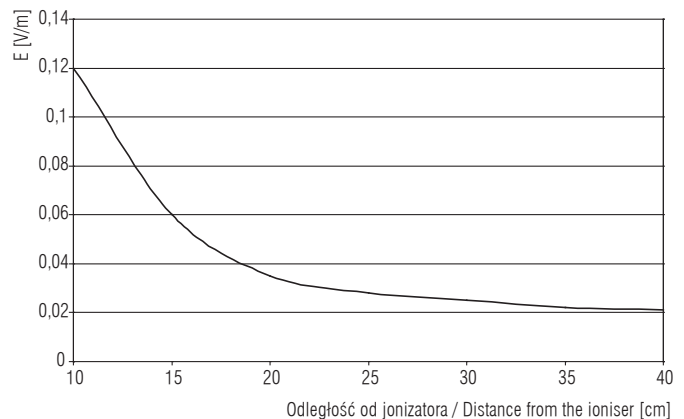
Mimo wyraźnie mniejszego (w porównaniu z przebiegami zademonstrowanymi na rycinie 1. i 2.) gradientu koncentracji aerojonów, sięgające 60% różnice rejestrowanych wartości tego parametru (zaciemnione pole wykresu) już w odległości 5 m od jonizatora dyskwalifikują możliwość wykorzystywania tego typu urządzeń do precyzyjniejszych badań naukowych. Można by je ewentualnie stosować do rozprowadzania aerojonów w konkretnych pomieszczeniach, ale w przypadku ich większej kubatury wymagałoby to zarówno użycia jonizatorów dużej mocy, jak i zwiększenia prędkości powietrza na wylotach poszczególnych emiterów. Niestety, „rozmycie” wartości koncentracji stałoby się wówczas jeszcze większe.

W przypadku zastosowania takich jonizatorów do uzupełniania deficytu aerojonów w pomieszczeniach z ludźmi pojawiłby się przy tym dodatkowy negatywny czynnik, jakim (przynajmniej dla niektórych osób) byłby dyskomfort wynikający z ciągłego przebywania w strumieniu nawiewanego powietrza. Z tego powodu alternatywnym sposobem ominięcia tego problemu jest wprowadzanie przez jonizatory „statyczne”, względnie „dynamiczne”, zjonizowanego powietrza bezpośrednio do przewodów klimatyzacyjnych. Tego rodzaju rozwiązanie, jak już wspomniano i co będzie tematem niezależnej publikacji, może być wykorzystane np. do rozprowadzania aerojonów w kajutach statków. Dotychczasowe, wstępne doświadczenia wykazały, że w tym przypadku deficyt aerojonów można uzupełniać w sposób nawet bardzo efektywny.

Podobnym, pośrednim rozwiązaniem, łączącym cechy jonizatorów „statycznych” i „dynamicznych”, jest umieszczanie statycznych źródeł emisji aerojonów na wylotach powietrza z ciągów wentylacyjnych.

Konstrukcje tego typu zastosowali Nizioł i Jura (24) w nastawni blokowej elektrowni Turów. Niestety, są to urządzenia dość duże (ponadpółmetrowe ramy zawierające po 160 igieł), a więc możliwe do zastosowania raczej tylko w pomieszczeniach przemysłowych.

Zastosowanie jonizatorów do wytworzenia optymalnej koncentracji aerojonów może budzić wątpliwość, czy wokół tych urządzeń nie jest generowane pole elektryczne, względnie magnetyczne, szkodliwe dla człowieka. Argument ten może być też wysunięty przy prowadzeniu badań nad oddziaływaniem aerojonów na jakiegokolwiek inne organizmy żywe. Analizy przeprowadzone w Katedrze Wysokich Napięć Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej wykazały jednak, że czynniki te nie mogą mieć żadnego wpływu. Pomiar wokół jonizatora wysokiej mocy wszystkich trzech składowych indukcji pola magnetycznego, a także natężenia pola magnetycznego, przeprowadzony na mierniku wyprodukowanym przez firmę Bella (USA, typ Gauss/teslametr, model 5080), przy jego ustawieniu na zakres pomiarowy 0–0,02 mT (16 A/m), nie wykazał dla tych parametrów fizycznych w stosunku do tła żadnych zmian. Podobnie nieistotne okazało się pole elektryczne występujące wokół jonizatorów. Wyznaczone na mierniku EC-12-722 (Japonia) przebiegi zmian wartości E w funkcji odległości od jonizatora wysokiej mocy (opisanego zależnością przedstawioną na ryc. 2) wykazały bowiem, że parametr ten nawet w bezpośredniej bliskości wyrzutni aerojonów utrzymuje się na poziomie dziesiątych części V/m (ryc. 4).



Ryc. 4. Zmiany natężenia pola elektrycznego w funkcji odległości od jonizatora wysokiej mocy.
Fig. 4. Changes of electric field intensity in the function of the distance from a high power ioniser.

Podsumując wszystkie przedstawione zalety i wady różnych typów jonizatorów, trzeba obiektywnie stwierdzić, że uzupełnianie przy pomocy tych urządzeń deficytu aerojonów w pomieszczeniach mieszkalnych, względnie przy określonych stanowiskach pracy, jest niestety bardzo trudne. Instalowanie w tych miejscach jonizatorów lub ich rozbudowanych układów będzie bowiem mało efektywne albo zbyt kłopotliwe i kosztowne. Wynika z tego wtórny wniosek — istnieje pilna potrzeba podjęcia szczegółowych badań nad skutkami oddziaływania aerojonów na ludzi, żeby można było jednoznacznie ustalić, jaki nadmiar lub deficyt tych cząstek wywołuje u nich jakiegokolwiek negatywne reakcje, i w związku z tym, kiedy optymalizowanie poziomu jonizacji powietrza staje się niezbędne. Pozwoli to równocześnie w sposób wiarygodny skorygować obowiązujące normy, podane w tabeli 1.

PODSUMOWANIE

Uwzględniając wszystkie poruszone w niniejszej pracy problemy dotyczące normalizacji oraz optymalizacji poziomów jonizacji atmosfery, można przyjąć, że wynikają z nich następujące wnioski:

1. Ustalenie w obowiązujących obecnie dla człowieka normach minimalnego poziomu koncentracji aerojonów ujemnych na 600 jonów/cm^3 , a dodatnich na 400 jonów/cm^3 nie ma potwierdzenia w żadnych wiarygodnych wynikach badań wpływu zjonizowanych cząstek na organizmy żywe. Poziomy te ustalone zostały w oparciu o wyniki doświadczeń przeprowadzonych w latach 30. XX w., czyli w czasach, kiedy precyzyjna detekcja prądów jonowych o wartościach wywołujących tak niewielkimi koncentracjami nie była jeszcze możliwa. Wiarygodność ustalenia takich norm podważa też to, że gęstości aerojonów niższe od podanych często występują w tle naturalnym atmosfery, nie wywołując wśród istot żywych żadnych widocznych negatywnych skutków.
2. Ustalenie w obowiązujących obecnie dla człowieka normach optymalnego poziomu koncentracji aerojonów dla obu ładunków na poziomie o jeden rząd wielkości wyższym w stosunku do tła naturalnego nie ma uzasadnienia w wynikach żadnych wiarygodnych badań. W przypadku aerojonów dodatnich występuje tu dodatkowa sprzeczność, wynikająca z propagowanych przez wielu naukowców teorii o rzekomo negatywnym wpływie na organizmy żywe cząstek o tym właśnie ładunku.
3. Ustalenie w obowiązujących obecnie dla człowieka normach maksymalnego poziomu koncentracji aerojonów dla obu ładunków na poziomie $50 \text{ tys. jonów/cm}^3$ ma jedynie słabe uzasadnienie, gdyż są to koncentracje wywołujące destrukcje niektórych żywych komórek, ale badanych *in vitro*. Badania prowadzone nad oddziaływaniem aerojonów na zmiany ciśnienia krwi u ludzi wykazują przy tym, że wdychanie powietrza zjonizowanego dodatkowo, nawet o dwa razy mniejszej zawartości aerojonów, już może wywołać u człowieka destabilizację jego wskaźników krążeniowych.
4. Ustalenie w obowiązujących obecnie normach dla wskaźnika biegunowości P przedziału $-0,5-0$, jako optymalnego dla człowieka nie ma potwierdzenia w żadnych wiarygodnych wynikach badań wpływu zjonizowanych cząstek na organizmy żywe.
5. Najpowszechniej obecnie stosowane jonizatory elektryczne, niewyposażone w urządzenia wymuszające ruch powietrza, charakteryzuje bardzo duży gradient koncentracji emitowanych aerojonów, znacznie utrudniający możliwość wykorzystania ich do optymalizacji poziomu jonizacji w pomieszczeniach. Jonizatory te pozwalają jednak, poprzez zmianę odległości, precyzyjnie ustawić w danym punkcie żądany poziom koncentracji tych cząstek, w związku z czym mogą być z powodzeniem stosowane do badań naukowych.
6. Jonizatory elektryczne wyposażone w urządzenia wymuszające ruch powietrza pozwalają w dowolnym stopniu zmniejszać gradient emitowanych aerojonów. Odbywa się to jednak kosztem możliwości precyzyjnego ustawienia poziomu jonizacji w określonym od nich punkcie. Już bowiem w odległości kilku metrów od tego typu urządzenia koncentracje aerojonów podlegają wahaniom sięgającym kilkudziesięciu procent średniej wartości tego parametru.
7. Zapewnienie stabilnego, żadanego poziomu koncentracji aerojonów w dużych wnętrzach jest teoretycznie możliwe, ale wymaga zastosowania specyficznych, wielkopowierzchniowych układów jonizatorów, możliwych do zainstalowania raczej tylko w pomieszczeniach przemysłowych.
8. Pola magnetyczne i elektryczne występujące wokół jonizatorów, nawet wysokiej mocy, utrzymują się na na tyle niskich poziomach, że nie mogą mieć żadnego wpływu na znajdujące się w ich otoczeniu jakiegokolwiek żywe organizmy.
9. Duże problemy związane z wykorzystywaniem jonizatorów do normowania poziomu aerojonów

w określonym pomieszczeniu, względnie przy stanowisku pracy, pośrednio narzucają wniosek, że niezbędne jest przeprowadzenie szeroko zakrojonych badań nad oddziaływaniem zjonizowanych cząstek na ludzi. Pozwoliłyby one skorygować obowiązujące obecnie normy dotyczące poziomów jonizacji i tym samym jednoznacznie ustalić, kiedy naprawdę uzupełnienie deficytu aerojonów staje się niezbędne.

PIŚMIENNICTWO

1. Krueger A.P., Hicks W.W., Becket J.C.: Influence of air-ions on certain physiological functions. W: Tromp S.W. [red.]. Medical Biometeorology. Elsevier Publishing Company, Amsterdam – London – New York 1963
2. Krueger A.P., Kotaka S., Andriese P.C.: Some observations on the physiological effects of gaseous ions. *Int. J. Biometeorol.* 1962;VI(1):33–48
3. Krueger A.P., Kotaka S., Reed E.J.: The course of experimental influenza in mice maintained in high concentrations of small negative ions. *Int. J. Biometeorol.* 1971;15(1):5–10
4. Krueger A.P., Kotaka S.: The effects of air ions on brain levels of serotonin in mice. *Int. J. Biometeorol.* 1969;13(1):25–38
5. Krueger A.P., Reed E.J., Brook K.B., Day M.B.: Air ion action on bacteria. *Int. J. Biometeorol.* 1975;19:65–71
6. Krueger A.P., Reed E.J., Day M.B.: Further observations on the effect of air ions on influenza in the mouse. *Int. J. Biometeorol.* 1974;18(1):46–56
7. Krueger A.P., Smith R.F.: Effect of air-ions on the living mammalian trachea. *J. Gen. Physiol.* 1958;42(1):69–82
8. Krueger A.P., Strubbe A.E., Yost M.G., Reed E.J.: Electric fields, small air ions and biological effects. *Int. J. Biometeorol.* 1978;22(3):202–212
9. Krueger A.P.: The biological effects of air ions. *Int. J. Biometeorol.* 1985;29(3):205–206
10. Krueger A.P.: Are air ions biologically significant? A review of a controversial subject. *Int. J. Biometeorol.* 1972;16(4):313–322
11. Kröling P.: Natural and Artificial Produced Air Ions — a Biology Relevant Climate Factor? *Int. J. Biometeorol.* 1985;29(3):232–242
12. Kavet R.I., Charry J.M.: Air-ions: Physical and Biological Aspects. CRC Press, Boca Raton, FL (USA) 1987
13. Grabarczyk Z.J.: Miernictwo parametrów środowiska jonowego powietrza. W: Jonizacja powietrza w środowisku życia i pracy. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2000, ss. 97–134
14. Wiszniewski A., Kretowicz T.: A study on influence of different signs of air-ions on sister-chromatid exchange frequency and chromosome aberrations in human peripheral blood lymphocytes. *J. Appl. Genet.* 1999;40(2):129–134
15. Wiszniewski A., Szczygieł M., Hudy S.: Influence of Air-ions on Selected Microorganisms. *Acta Microbiol. Pol.* 2003;52(2):201–207
16. Wiszniewski A., Suchanowski A.: The Influence of Air-ions on People Submitted to Physical Effort and in Rest. *Pol. J. Environ. Stud.* 2008;17(5):801–810
17. Wiszniewski A., Janczewski D.: Aerojony i ich oddziaływanie na organizmy żywe. *Med. Pr.* 1993;3:289–298
18. Michałowicz M.: Znaczenie stanów jonizacji powietrza w fizjologii i patologii wieku dziecięcego. *Pediatr. Pol.* 1954;XXIX:83–96
19. Wiszniewski A.: Naturalne tło aerojonów. *Med. Pr.* 1997;XLVIII(4):427–440
20. Nowikow W.: Sprawozdanie z realizacji zadania CPBR, poz. 14.11.04. Centrum Techniki Okrętowej, Gdańsk 1990
21. Korniewicz H., Grabarczyk Z., Gryz K., Karpowicz J.: Ochrona człowieka w środowisku pracy (CPBR nr 11.1). Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 1991
22. Wiszniewski A., Baran M.: Zmiany stanu jonizacji powietrza wywołane działaniem aparatury medycznej. *Med. Pr.* 2001;52(4):271–275
23. Wiszniewski A.: Jonizacja powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych i biurowych. *Hig. Pr.* 1997;3:37–48
24. Nizioł B., Jura Z.: Badania stopnia jonizacji powietrza w pomieszczeniach produkcyjnych elektrowni Turów oraz konstrukcja jonizatorów możliwych do stosowania w układach wentylacyjnych. Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie, Kraków 1980