

dr inż. ZYGMUNT GRABARCZYK
Centralny Instytut Ochrony Pracy

Jonizatory koronowe – ocena przydatności w oczyszczaniu powietrza pomieszczeń z cząstek pyłu (0,3-25 μm)

Praca wykonana w ramach Programu Wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych

Zjawisko elektrostatycznego strącania dyspersyjnej fazy aerozolu polega na wymuszaniu przez silne pole elektrostatyczne dryfu naładowanych elektrycznie cząstek w kierunku elektrody zbierającej. Metoda ta jest bardzo skuteczna, o ile natężenie pola elektrycznego jest odpowiednio duże (kilkadziesiąt do kilkuset kV/m), a cząstki stręcane mają odpowiednio dużą ruchliwość elektryczną, co osiąga się ładując je silnie w strefie ulotu (wyładowania koronowego). Metoda ta jest powszechnie stosowana w przemyśle i energetyce do odpylania gazów odlotowych w tzw. elektrofiltrach. Realizowana w elektrofiltrach idea inspirowa także producentów i dystrybutorów podręcznych jonizatorów koronowych powszechnego użytku do reklamowania tych urządzeń jako skutecznie oczyszczających powietrze pomieszczeń, co może być korzystne dla ludzi z chorobami układu oddechowego, zwłaszcza z astmą oskrzelową.

Większość dyskusji prowadzonych w latach osiemdziesiątych na temat higienicznej użyteczności jonizatorów koronowych skupiała się na działaniu ozonu i hipotetycznej aktywności biologicznych jonów lekkich, generowanych przez te urządzenia. Niewiele prac poświęconych było skuteczności jonizatorów w oczyszczaniu powietrza. Olander i wsp. [1] porównali skuteczność oczyszczania powietrza z wybranej frakcji dymu tytoniowe-

go za pomocą różnych urządzeń filtrujących, przeznaczonych na użytek domowy i do biur. Stwierdzili, że podręczny jonizator użyty w pomieszczeniu o objętości ok. 100 m³ zmniejsza stężenie cząstek o wymiarach 0,1-0,75 μm w takim samym stopniu, jak wprowadzone do pomieszczenia z szybkością ok. 40 m³/godz. powietrze idealnie czyste, a dla cząstek o wymiarach 0,75-1,5 μm – z szybkością ok. 30 m³/h. Są to szybkości niewielkie (poniżej jednej wymiany powietrza na godzinę), podobne lub mniejsze od tych, które powoduje wentylacja grawitacyjna. Stężenie względne w pierwszym przypadku malało o 33%/godz., a w drugim o 26%/godz. Wartości te są bardzo małe w porównaniu z efektywnością klasycznych filtrów włókninowych z wymuszonym przepływem powietrza. Martinac [2] badał w komorze o objętości 32,4 m³ zmiany stężenia cząstek pyłu pod wpływem pracy dwóch podręcznych jonizatorów koronowych. Tylko przy komorze szczelnie zamkniętej (bez wymuszonego ruchu powietrza) uzyskał powolny, dwudziestokrotny spadek stężenia cząstek o wymiarach 0,12-0,17 μm po jednej godzinie i około stukrotny po dwóch godzinach. Dla cząstek większych od 0,2 μm ani dla przypadków wymuszonego przepływu powietrza przez komorę, nie zaobserwował istotnych zmian stężenia cząstek pyłu.

Zatem w obu przypadkach autorzy wykazali nieskuteczność małych jonizatorów koronowych. Dystrybutorzy jednak chętnie demonstrują skuteczność usuwania dymu tytoniowego przez jonizator nakryty kloszem, pod który wdmuchuje się dym. Jednak należy podkreślić, że poziom natężenia pola elektrycznego i stężenia jonów pod kloszem jest o wiele rzędów wielkości większy niż w przypad-

ku jonizatora odsłoniętego, dla którego nie udaje się uzyskać tego samego spektakularnego efektu.

Autorzy wymienionych eksperymentów nie zwracali istotnej uwagi na orientację trajektorii jonów i rozkład natężenia pola elektrycznego wytwarzanego przez jonizator, skutkiem czego ustawienie jonizatorów nie gwarantowało osiągnięcia maksymalnej możliwej skuteczności oczyszczania powietrza.

Dlatego autor powtórzył eksperymenty w dwóch bardziej miarodajnych konfiguracjach i dla dwóch różnych typów jonizatorów. W jednej z nich jonizator umieszczono przed twarzą fantomu w celu sprawdzenia wpływu jonizatora na czystość powietrza wdychanego, wielu producentów bowiem zaleca właśnie taki sposób ustawiania jonizatora względem użytkownika. W drugim układzie zastosowano jonizator rozległy o elektrodach umieszczonych pod sufitem pomieszczenia, tworząc swoisty „prysznic jonowy”, obejmujący prawie całą objętość pomieszczenia.

Podstawy teoretyczne

Strącanie elektrostatyczne może być skuteczne tylko wtedy, gdy prędkość v_e dryfowania w polu elektrostatycznym, rozproszonych w powietrzu cząstek naładowanych jest większa niż prędkość naturalnej sedymentacji (strącania grawitacyjnego) v_g oraz ruchów powietrza wywołanych konwekcją lub wentylacją. Prędkość sedymentacji cząstek o gęstości właściwej znacznie większej od gęstości powietrza można w przybliżeniu opisać zależnością [3]:

$$v_g = \frac{gd \rho (1 + 2\lambda/d)}{18\eta} \quad (1)$$

gdzie:
 g – stała grawitacyjna $9,81 \text{ m/s}^2$,
 d – średnica cząstki,
 ρ – średnia masa właściwa cząstki,
 λ – średnia droga swobodna cząstki w powietrzu, ok. 10^{-7} m ,
 η – lepkość dynamiczna powietrza, ok. $1,7 \times 10^{-5} \text{ kg/(s m)}$.

Szybkość dryfowania cząstek naładowanych w polu elektrycznym wynosi:

$$v_e = \mu E \quad (2)$$

gdzie:

μ – ruchliwość cząstki, zależna od jej średnicy i ładunku elektrycznego,
 E – natężenie pola elektrostatycznego.

Ruchliwość cząstki o średnicy z zakresu $0,1$ do $25 \text{ }\mu\text{m}$ można opisać zależnością [4]:

$$\mu = \left(\frac{q}{e} \right) \frac{e(1 + 2\lambda/d)}{3\pi\eta d} \quad (3)$$

gdzie:

q – ładunek cząstki,
 e – ładunek elementarny dodatni lub ujemny, równy co do wartości bezwzględnej ładunkowi elektronu $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Maksymalna liczba ładunków elementarnych niesionych przez cząstkę naładowaną jonami lekkimi w polu elektrostatycznym wynosi:

$$\left(\frac{q}{e} \right)_{\max} = \text{entier} \left[\frac{\pi \varepsilon_0 E}{e} \left(\frac{3\varepsilon_r}{2 + \varepsilon_r} \right) d^2 \right] \quad (4)$$

gdzie:

$\text{entier}()$ – wartość całkowita liczby $()$,
 ε_0 – przenikalność elektryczna powietrza,
 ε_r – względna, średnia przenikalność elektryczna materiału cząstki.

Stosunek prędkości strącania elektrostatycznego i sedymentacyjnego, wyrowadzony z zależności (1), (2), (3) i (4) wynosi:

$$\left(\frac{v_e}{v_g} \right)_{\max} = \frac{6\varepsilon_0 E^2}{gd\rho} \left(\frac{3\varepsilon_r}{2 + \varepsilon_r} \right) \quad (5)$$

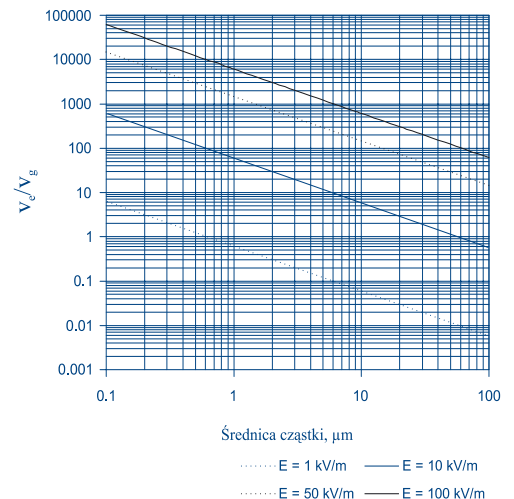
Zależność tę pokazano na rys. 1 dla cząstek o słabych właściwościach dielek-

trycznych ($\varepsilon_r = 1$) i o gęstości $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$. Dla cząstek o dużej przenikalności dielektrycznej wartość v_e/v_g może być większa do trzech razy. Obie prędkości mają znaczenie jedynie w powietrzu nieruchomym. W praktyce należy także brać pod uwagę ruch powietrza spowodowany jego wymianą oraz konwekcją. Ich prędkości są zazwyczaj większe od wymienianych prędkości, co ogranicza skuteczność strącania elektrycznego. Wartości szybkości sedymentacji pokazano na rys. 2. Z rysunku 1 wynika, że w powietrzu nieruchomym, natężenie pola powinno być większe od 10 kV/m , aby istotnie przyspieszyć usuwanie pyłu. W powietrzu poruszającym się natężenie to powinno być znacznie większe. Przykładowo, lekka cząstka o średnicy $1 \text{ }\mu\text{m}$ opada z szybkością ok. $30 \text{ }\mu\text{m/s}$, zatem przy szybkości powietrza równej zaledwie $0,01 \text{ m/s}$, stosunek v_e/v_g powinien być większy od 330 (por. rys. 1), co wymaga natężenia pola ładującego i usuwającego cząstki rzędu 20 kV/m . Jest to wartość trudna do uzyskania przy pojedynczym jonizatorze podręcznym.

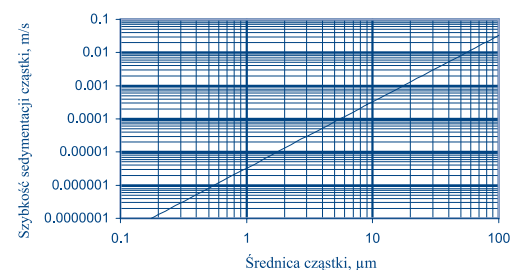
Istotne jest, by cała objętość oczyszczonego powietrza znajdowała się w strumieniu pola elektrostatycznego i dryfujących w nim jonów lekkich, w przeciwnym przypadku powietrze oczyszczane szybko jest mieszane lub zastępowane przez powietrze zanieczyszczone, napływające ze strefy nie objętej strumieniem pola i jonów.

Metoda badań

W celu zweryfikowania wniosków sformułowanych w rozdz. 2 wykonano badania z jonizacją lokalną oraz z jonizacją rozległą obejmującą całe pomieszczenie. Stężenie cząstek aerozolu mierzono laserowym licznikiem typu Microair, Model 5230 (USA), wyposażonym w 100-krotny rozcieńczalnik DIL 550 (RFN). Błąd koincydencji licznika jest mniejszy od 10% . Licznik obejmuje zakres średnic zastępczych cząstek od $0,3$ do $25 \text{ }\mu\text{m}$, w ośmiu dowolnie ustawianych przedziałach. Szybkość zasysania powietrza wynosi ok. $0,00047 \text{ m}^3/\text{s}$.



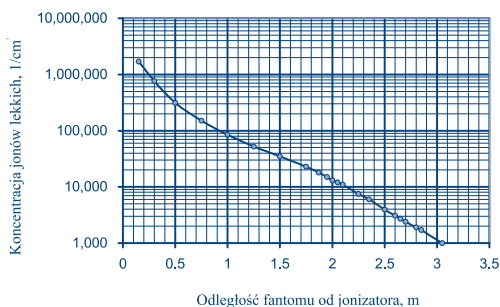
Rys. 1. Stosunek maksymalnej szybkości dryfowania w powietrzu nieruchomym cząstek naładowanych v_e w polu elektrycznym o natężeniu E do szybkości sedymentacji v_g , dla cząstek o masie właściwej 10^3 kg/m^3 i przenikalności elektrycznej względnej równej 1



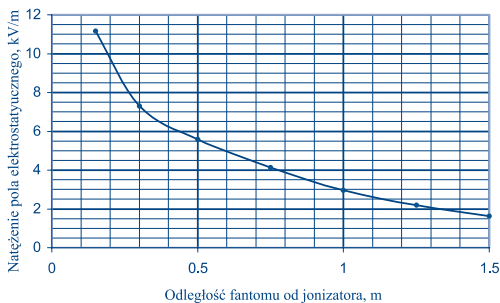
Rys. 2. Szybkość sedymentacji lekkich cząstek o masie właściwej równej $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ rozproszonych w powietrzu nieruchomym

Zastosowany do badań uproszczony fantom górnej połowy części ciała wykonano z blachy aluminiowej. Fantom uziemniono w celu skupienia linii pola i trajektorii jonów lekkich generowanych przez jonizator na powierzchni fantomu, zwiększając skuteczność strącania pyłu. Wlot rurki zasysającej powietrze do licznika umieszczono w otworze symulującym usta fantomu. Parametry aspiracyjne licznika ustawiono tak, żeby zasysanie powietrza imitowało fazę wdechu człowieka. „Wdechy” o objętości ok. $1,4$ litra trwające ok. 3 s powtarzano 12 razy na minutę. Jonizator umieszczano przed twarzą fantomu w odległościach 25 cm i

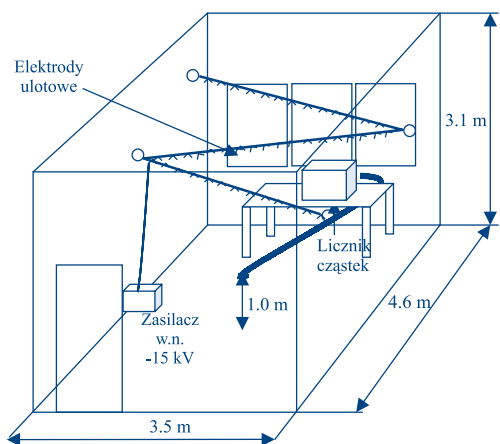
1 cm. Odległość 1 cm potraktowano jako ekstremalny przypadek, w którym stężenie jonów i natężenie pola osiągały maksymalną możliwą wartość. Nie jest to oczywiście przypadek praktykowany. Zastosowano podręczny, sieciowy jonizator komercyjny dwuelektrodowy, o



Rys. 3. Zależność stężenia jonów przy twarzy fantomu w funkcji odległości fantomu od jonizatora koronowego powszechnego użytku



Rys. 4. Zależność natężenia pola elektrostatycznego przy powierzchni twarzy fantomu, generowanego przez jonizator podręczny, od odległości fantomu od jonizatora



Rys. 5. Rozmieszczenie elektrod ulotowych i stanowiska pomiarowego w pomieszczeniu do badania jonizacji rozległej

napięciu zasilania elektrod ok. -6 kV. Zależność natężenia pola elektrycznego i stężenia jonów zmierzone przy twarzy fantomu od odległości fantom – jonizator, pokazano na rys. 3 i 4.

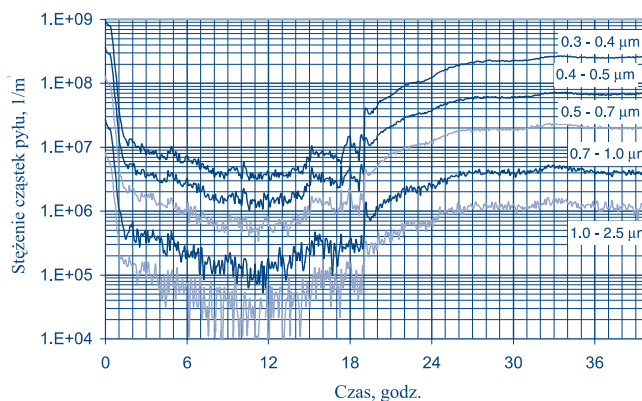
Metodę „prysznicu jonowego” zastosowano do pomieszczenia o powierzchni $3,5$ m x $4,6$ m i wysokości $3,1$ m (pojemność ok. 50 m³). Podłoga pomieszczenia pokryta była terakotą. Próbkę powietrza pobierano w środku pomieszczenia, na wysokości $1,0$ m nad podłogą, co 5 minut. Siedemdziesiąt elektrod ulotowych, wykonanych z drutu o średnicy $0,1$ mm równomiernie rozwieszono na drucie miedzianym o grubości 1 mm i długości 13 m, rozpiętym poziomo pod sufitem na wysokości 2 m, w sposób pokazany na rys. 5. Elektrody zasilano napięciem stałym -15 kV. Całkowity prąd jonowy wynosił ok. $5-8$ μ A, a natężenie pola elektrycznego i koncentrację jonów mierzono przy podłodze, w środku pomieszczenia, wynosiły odpowiednio $1,2-1,8$ kV/m i $5-12 \times 10^3$ ions/cm³. Natężenie pola zmierzono przeskalowanym miernikiem po-

wierzchniowego potencjału elektrostatycznego, typu Static Monitor JCI 140CF (Wielka Brytania), a koncentrację jonów lekkich aspiracyjnym licznikiem całkowitym typu MGK 01 (RFN).

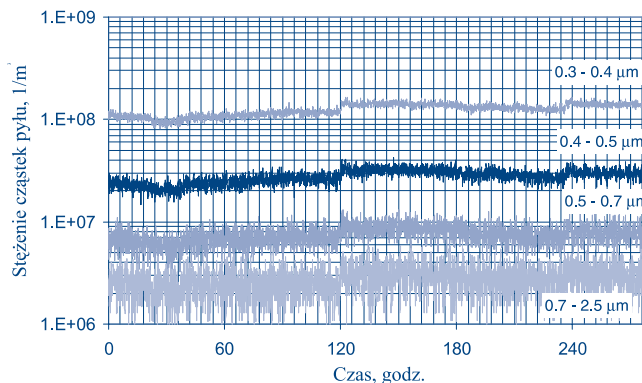
Wyniki pomiarów

Zależność stężenia cząstek pyłu od czasu pracy jonizatorów pokazano na rys. 6 i 7.

Na rys. 6 pokazano efekt „prysznicu jonowego”, czyli jonizacji w całej objętości pomieszczenia zamkniętego i nie wentylowanego. Jonizację włączono w chwili czasu $t = 0,0$ godz. Po 19 godzinach do pokoju weszła jedna osoba i wyłączyła jonizator. Wejście tej osoby (otwarcie drzwi) spowodowało wyraźny, widoczny na rys. 6 ponowny wzrost stężenia pyłu. Wyniki pomiarów z jonizatorem podręcznym umieszczonym w odległości 25 cm od fantomu nie zostały tu pokazane, gdyż nie spowodował on zauważalnych zmian w stężeniu cząstek pyłu, natomiast wyniki dla odległości



Rys. 6. Zmiany stężenia cząstek pyłu w czasie jonizacji rozległej („prysznic jonowy”) w pomieszczeniu jak na rys. 5. Warunki pomiaru: wilgotność powietrza RH = $37,0 - 34,7\%$, temperatura powietrza $t = 23,2 - 24,2^\circ\text{C}$



Rys. 7. Wpływ jonizacji lokalnej (jonizator podręczny w odległości 1 cm od twarzy fantomu) na stężenia cząstek pyłu. Warunki pomiaru: wilgotność powietrza RH = $35,8\% - 36,0\%$, temperatura powietrza $t = 23,7 - 24,5^\circ\text{C}$

1 cm zamieszczono na rys. 7. Jonizator był kolejno włączany i wyłączany (włączany po 40 i 185 min, wyłączany po 120 i 235 min).

* * *

Skuteczne oczyszczanie powietrza osiągnięto tylko w przypadku rozległej jonizacji objętościowej w całym pomieszczeniu. Po jednej godzinie pracy jonizatora stężenie malało ok. 30-krotnie dla cząstek o rozmiarach z zakresu 0,3-0,4 μm i ok. 20-krotnie dla cząstek o rozmiarach 0,4-2,5 μm . Było to równoważne odpowiednio 3,5 i 3 wymianom powietrza w pomieszczeniu dla przypadku wprowadzania powietrza idealnie czystego. Stężenie cząstek większych od 2,5 μm było zbyt małe do obserwacji zmian. Uzyskano zatem skuteczność istotnie większą niż obserwowali Olander [1] i Martinac [2], stosujący tylko jonizację lokalną. Otwieranie drzwi pomieszczenia powodowało jednak gwałtowny wzrost stężenia cząstek pyłu. Szybkość wzrastania stężenia cząstek po wyłączeniu jonizatora jest złożoną funkcją szybkości wymiany powietrza w pomieszczeniu i zanieczyszczenia powietrza napływającego, jak też szybkości ponownego wprowadzania do atmosfery cząstek uprzednio strąconych i nie jest możliwe jej liczbowe oszacowanie.

Negatywnym aspektem tej metody oczyszczania powietrza był stosunkowo duży poziom natężenia pola elektrycznego, powodujący dokuczliwe rażenia osoby znajdującej się w pomieszczeniu i próbującej dotykać przedmiotów przewodzących. W przypadku jonizacji lokalnej (jonizator przed fantomem) potencjalna skuteczność powinna być znacznie większa, gdyż natężenie pola w przestrzeni jonizatora – fantom przekraczało 10 kV/m, a koncentracja jonów przekraczała 5×10^6 jonów/cm³. Jednak w rzeczywistości okazało się, że zmiany stężenia pyłu były znacznie mniejsze niż przy jonizacji rozległej. Maksymalne zmiany stężenia przy włączaniu i wyłączaniu jonizatora nie przekraczały 30% dla zakresu 0,4-0,5 μm i 15% dla pozostałych zakresów wielkości. Prawdopodobną przyczyną tak małej skuteczności był ruch powietrza wymuszony przez „oddychający” fantom.

Reasumując, oczyszczanie powietrza z względnie dużych cząstek z zakresu

0,3-25 μm metodą jonizacji koronowej może być skuteczne jedynie wtedy, gdy całe pomieszczenie jest wypełnione strumieniem aerojonów lekkich i polem elektrostatycznym, tworzącymi swoisty „prysznic jonowy”. W pomieszczeniu o małej szybkości wymiany powietrza (poniżej 0,5 wymiany/godz.) możliwe jest zmniejszenie zapylenia od 10 do 100 razy w ciągu jednej godziny. Natomiast podręczne jonizatory ogólnie dostępne w sprzedaży obejmują strumieniem pola i jonów zbyt małą przestrzeń i w związku z tym są praktycznie całkowicie nieskuteczne w realnych zastosowaniach, w stosunku do cząstek z zakresu 0,3-25 μm . Negatywnym aspektem takiego stosowania jonizatorów jest fakt, że jonizatory ładują znajdujący się w pomieszczeniu aerozol respirabilny, co może powodować bardzo niekorzystny efekt zwiększenia jego retencji w pęcherzykach płucnych, zwłaszcza jeżeli powietrze jest silnie zanieczyszczone. Ponadto jonizatory generują szkodliwe gazy, takie jak ozon i tlenki azotu. Zważywszy, że biologiczna aktywność samych jonów lekkich generowanych przez jonizatory koronowe, w tym także korzystne efekty zdrowotne nienaturalnie zwiększonego stężenia jonów ujemnych są obecnie poddawane w wątpliwość [5], można stwierdzić, że stosowanie podręcznych jonizatorów koronowych jest raczej niekorzystne. Również

stosowanie „prysznicy jonowej” wiąże się z generacją wymienionych gazów, ponadto w warunkach małej wilgotności powietrza (poniżej 40%) powoduje elektryzowanie się powierzchni z tworzyw syntetycznych lub odizolowanych przedmiotów przewodzących, co może być uciążliwe i grozić uszkodzeniem sprzętu elektronicznego (np. komputerów). Metoda ta nadaje się raczej do zamkniętych pomieszczeń bezobsługowych. Należy też brać pod uwagę efekt osiadania strącanego pyłu na wszystkich powierzchniach, do których dochodzą linie sił pola elektrostatycznego.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Olander L., Johansson J., Johansson R.: Mätningar av luftrenares effekt på tobaksrök. Del V: Jonisatorer, UV-strålare och elektron-generator. Undersökningsrapport 1987:19, Arbets Miljö Institutet. Solna
- [2] Martinac I.: Small Air Ions in Mechanically Ventilated Environments. A4-serien nr 142, Doctoral thesis. Techniska Högskolan. Falu Bokproduktion. Falun 1993
- [3] Cadle R.D.: Particle size. Theory and industrial applications. Reinhold Publishing Corporation. New York 1965
- [4] Cross J.: Electrostatics: Principles, Problems and Applications. Adam Higler. Bristol 1987
- [5] Martinac I.: On the biological effects of small air ions and the use of ionizers in occupied indoor environments. A4 Serien nr 141. Techniska Högskolan. Falu Bokproduktion. Falun 1993

ATENA 2000

W dniach 7-10 listopada br. w Politechnice Warszawskiej odbyły się już po raz siódmy organizowane Targi Książki Akademickiej – ATENA 2000. Jest to największy przegląd literatury naukowej i technicznej dla środowisk akademickich.

Patronat nad targami objęli: Minister Edukacji Narodowej, Przewodniczący Komitetu Badań Naukowych oraz Rektorzy Uniwersytetu i Politechniki Warszawskiej. Głównym organizatorem targów były Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Jak co roku, targi były doskonałą okazją, by zapoznać się z najnowszą ofertą wszystkich liczących się w środowisku akademickim wydawnictw.

To wreszcie szansa, aby poszukiwaną pozycję zakupić taniej niż w księgarniach.

Udział w targach wzięły m.in.: Wydawnictwo Naukowe PWN, Wydawnictwo Wiedza Powszechna, Wydawnictwo Prawnicze, Państwowy Instytut Wydawniczy, C.H. Beck, Lex, Arkady i wiele, wiele innych. Ofertę swoich wydawnictw zaprezentował również Centralny Instytut Ochrony Pracy.

Oprócz stoisk 79 wystawców książek z całego kraju, główną atrakcją targów były seminaria m.in. na temat czytelnictwa internetowych, języka nauki, praktyki stosowania prawa autorskiego.

Zorganizowany był również konkurs na najlepszą książkę akademicką.