

## SEPARACJA PYŁÓW DRZEWNYCH NA WŁÓKNINACH Z WARSTWĄ MIKROWŁÓKIEN

Stefan Dobak<sup>1</sup>, Stanisław Dolny<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Remark-Kaeser

<sup>2</sup>Akademia Rolnicza w Poznaniu

**Streszczenie.** Badania porównawcze, przeprowadzone z użyciem zmodyfikowanej mikrowłóknami włókniny – KYS-serii FINESS oraz włókniny standardowej, o jednorodnej budowie – KYS-serii PROGRESS, wykazały występowanie istotnych różnic w zachowaniu się obydwu rodzajów materiałów zastosowanych jako przegrody filtracyjne w układzie oczyszczania powietrza z pyłu drzewnego. Stwierdzono, że po przejściu strumienia powietrza przez worek filtracyjny z włókniny pokrytej mikrowłóknami (KYS-serii FINESS) zawartość cząstek pyłowych jest od 2,5- do 3-krotnie mniejsza w porównaniu z włókniną standardową. Jest to korzystne ze względu na możliwość zagwarantowania przestrzegania najbardziej nawet rygorystycznych wymogów higienicznych dotyczących powietrza wypełniającego pomieszczenia produkcyjne. Duża skuteczność odpylania na włókninach pokrytych warstwą mikrowłókien daje pełną swobodę w projektowaniu i eksploatacji zamkniętych obiegów powietrza w instalacjach odpylających stosowanych w fabrykach mebli.

**Słowa kluczowe:** odpylanie, filtracja, pyły drzewne, materiały filtracyjne

### WPROWADZENIE

Rozwój technologii wytwarzania włókien o różnych właściwościach przyczynił się do rozszerzenia możliwości uzyskiwania bardzo wysokiego poziomu oczyszczania powietrza z cząstek pyłowych w obszarach, dla których było to nieosiągalne przy stosowaniu materiałów filtracyjnych z włókien naturalnych [Gutowski 1977].

Aktualną tendencją w doskonaleniu struktur włóknistych, stosowanych jako przegrody separacyjne, stało się dążenie do całkowitego zlokalizowania procesu odpylającego na ich powierzchni i ograniczenie go wyłącznie do warstwy pyłowej. Warstwa ta powinna być możliwie najszybciej utworzona, a później stale utrzymywana jako ciągła pokrywa zachowująca zdolność zatrzymywania napływających do niej nowych partii zanieczyszczeń pyłowych.

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Stanisław Dolny, Katedra Inżynierii Środowiska Pracy Akademii Rolniczej w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 38/42, 60-627 Poznań, e-mail: [sdolny@au.poznan.pl](mailto:sdolny@au.poznan.pl)

Możliwości realizacji tej idei stworzyło opanowanie produkcji bardzo cienkich włókien, tzw. mikrowłókien, dających się formować w struktury przestrzenne mocno zagęszczone, z zachowaniem jednak wymaganych przepuszczalności powietrza. Uzyskano w ten sposób okrywę zewnętrzną materiału filtracyjnego o porównywalnej ze standardowymi włókninami porowatości powierzchniowej, lecz o znacznie mniejszych odległościach pomiędzy poszczególnymi włóknami. Wytrącane na takim podłożu cząstki pyłowe z łatwością formują warstwę, która bardzo szybko przejmuje zasadniczą funkcję separacyjną. Po zastosowaniu mikrowłókien, na przegrodzie filtracyjnej mogą być zatrzymywane z dużą skutecznością najdrobniejsze cząstki pyłowe, nawet z grupy cząstek submikroskopowych (o średnicach poniżej 1  $\mu\text{m}$ ), dzięki czemu w technice pyłowej pojawiło się pojęcie tzw. „emisji zerowej” (Null Emission) [Filtration... 1995]. Oznacza to, iż po zastosowaniu takich materiałów filtracyjnych, zawartość zanieczyszczeń pyłowych w powietrzu opuszczającym odpylacz staje się trudna do stwierdzenia, nawet z użyciem bardzo dokładnych przyrządów pomiarowych.

## FILTRACJA GŁĘBOKOŚCIOWA I FILTRACJA POWIERZCHNIOWA

W dotychczasowej, klasycznej budowie przestrzennej materiały włókniste stwarzały warunki prowadzenia filtracji tzw. „głębokościowej”. Polega ona na stopniowym zapełnianiu struktury wewnętrznej materiału włóknistego cząstkami pyłowymi napływającymi wraz ze strumieniem zapyłonego powietrza. W wyniku zderzeń nieelastycznych oraz wskutek oddziaływania sił spójności między nimi a poszczególnymi włóknami, cząstki pyłowe sukcesywnie na tych włóknach osiadają i tworzą, wraz z upływem czasu, osady wewnętrzne, powodujące początkowo zmniejszanie się przelotowych kanałów i porów pomiędzy poszczególnymi włóknami, a następnie doprowadzają do utworzenia się, od strony napływu zapyłonego gazu, jednolitej pokrywy pyłowej. Dopiero ta pokrywa przejmuje zasadniczą funkcję separacyjną ze sprawnością, z którą odbywa się odpylanie filtracyjne [Kabsch 1992].

Wytworzenie jednolitej, powierzchniowej warstwy pyłowej musi być zatem poprzedzone zawsze mniej lub bardziej intensywnym nasyceniem wnętrza warstwy włóknistej. Opory przepływu, w stosunku do poziomu znamionowego dla materiału filtracyjnego w stanie czystym, ulegają przy tym wyraźnemu wzrostowi, co wywiera trwały skutek w postaci zwiększonego wydatku energetycznego na prowadzenie procesu odpylającego. Ma to także istotny wpływ na skuteczność separacji cząstek pyłowych ze strumienia napływającego powietrza. Wnikanie pyłu do wnętrza przegrody filtracyjnej jest zawsze związane z niebezpieczeństwem powolnego przemieszczania się poszczególnych cząstek ku stronie wylotowej tej przegrody. Przyczynia się do tego cykliczne przeprowadzanie zabiegów regeneracyjnych, zwłaszcza metodą pneumatyczną, podczas których wywoływane są bardzo dynamiczne odkształcenia elementu filtrującego. Impulsy regeneracyjne sprawiają, iż w każdym takim zabiegu, wskutek rozluźnienia struktury materiału filtracyjnego, pewna liczba cząstek zostaje oderwana od włókien, na których wcześniej osiadły. W ten sposób, w ogólnej emisji zanieczyszczeń stałych z odpylacza, główny udział stanowią właśnie cząstki powtórnie pochwycone przez strumień powietrza.

Wszystkie nieprawidłowości pojawiające się w filtracji „głębokościowej” są eliminowane w filtracji „powierzchniowej” [Filters... 1992, Filtration... 1995].

jej prowadzenia daje zastosowanie włóknin pokrytych od strony roboczej – od strony napływu zapyłonego powietrza – warstwą uformowaną z mikrowłókien. Na tej warstwie zostaje zlokalizowany w całości proces filtracyjny. Następuje to w rezultacie wytworzenia, zaraz na samym początku napływu zapyłonego powietrza, ciągłej pokrywy pyłowej, przejmującej w całości zasadniczą funkcję separacyjną – z pełną skutecznością, jaką ona zapewnia. Przez tę zaporę nie mogą przedostać się do wnętrza materiału filtracyjnego już żadne cząstki, co eliminuje niebezpieczeństwo ponownego ich pochwylenia podczas zabiegów regeneracyjnych przez strumień oczyszczanego wcześniej powietrza.

## CZĘŚĆ BADAWCZA

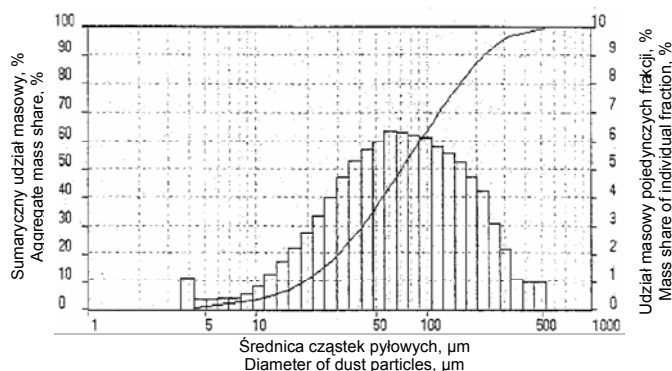
Uwzględniając nowe możliwości usprawniania przebiegu i polepszania efektywności procesu odpylania w drzewnictwie, w wyniku wprowadzenia na rynek włóknin filtracyjnych pokrytych na powierzchni roboczej warstwą mikrowłókien, zaplanowano przeprowadzenie prac badawczych, mających określić ich podstawowe walory użytkowe. Podjęto się tego zadania na podstawie dotychczasowego doświadczenia oraz wypracowanych i sprawdzonych w wielu dotychczasowych pracach głównych założeniach metodycznych badań przebiegu procesów odpylających w drzewnictwie z zastosowaniem technik filtracyjnych [Badania... 1995, Dobak 2002, Dolny 1999].

Zastosowano metodę badań w tzw. skali zwiększonej, będących swoistego rodzaju pomostem pomiędzy badaniami laboratoryjnymi, na małych próbkach materiałów filtracyjnych, w warunkach modelowanych odpowiednio do wymagań przeprowadzanego doświadczenia, a bezpośrednim zastosowaniem tych materiałów w warunkach produkcyjnych [Badania... 1996, Dolny 1999, VDI-Richtlinien 1992]. Stanowisko doświadczalne, przeznaczone do takich badań, umożliwia prowadzenie filtracji na workach o średnicy 150 mm i długości czynnej 1485 mm. Ich powierzchnia czynna wynosi więc 0,7 m<sup>2</sup>. Worki naciągnięte są na kosz napinający, mający w górnej części zwężkę Venturiego, powodującą zwielokrotnienie intensywności impulsu regeneracyjnego inicjowanego powietrzem wtłaczanym do wnętrza worka filtracyjnego dyszą zasilaną sprężonym powietrzem o ciśnieniu 0,5 MPa.

Pył do doświadczeń pobrano z układów odpylających stanowisk szlifowania gładzącego w produkcji mebli giętych. Jest on zatem materiałem o cechach ukształtowanych rzeczywistymi warunkami produkcyjnymi. Daje to solidną podstawę przenoszenia wyników podjętych badań na grunt praktyki przemysłowej. Pył odznaczał się składem ziarnowym podanym na rysunku 1.

Materiały filtracyjne, które były przedmiotem badań, odznaczały się charakterystyką podaną w tabeli 1.

Stopień oczyszczenia powietrza, w wyniku filtracji na badanym materiale włóknistym oznaczano na podstawie pomiaru zawartości cząstek pyłowych w próbkach pobranych z kanału odprowadzającego oczyszczone powietrze z urządzenia doświadczalnego. Zastosowano do tego celu laserowy licznik cząstek MicroAir 5250A. Umożliwia on rozpoznawanie cząstek o wielkościach 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10; 15 i 25 μm.



Rys. 1. Skład ziarnowy pyłu  
Fig. 1. Grain composition of dust

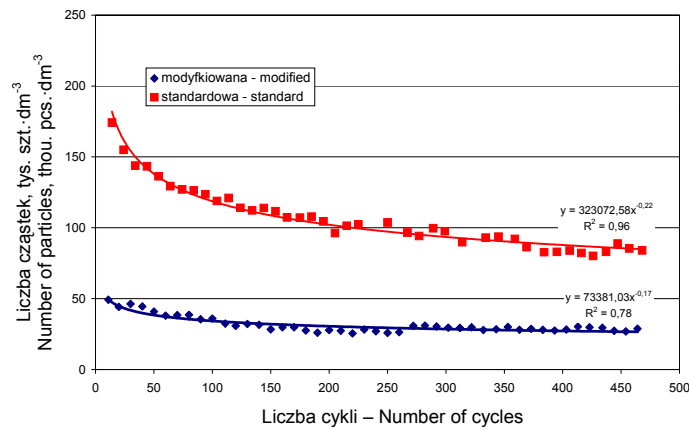
Tabela 1. Dane techniczno-eksploatacyjne materiałów filtracyjnych  
Table 1. Technical-operating data of filter media

Rodzaj danych Kind of data	KYS – PROGRES series	KYS – FINESS series
Rodzaj włókna – Kind of fibre		
powłoka – coating	Poliester – Polyester	poliester z udziałem mikrowłókien polyester with microfibrils fraction
Tkanina wsporcza Retaining cloth	Poliester – Polyester	poliester – polyester
Cienkość włókien Thinness of fibres	całość – total – 1,5 dtex	warstwa główna – 1,5 dtex warstwa powierzchniowa – 0,8 dtex main layer – 1.5 dtex superficial layer – 0.8 dtex
Średnica włókien Diameter of fibres	całość – total – 13 μm	warstwa główna – 13 μm warstwa powierzchniowa – 6 μm main layer – 13 μm superficial layer – 6 μm
Obróbka Treatment		termostabilizacja, opalanie, wygładzanie heat setting, singeing, smoothing
Masa powierzchniowa Basis weight	500 g·m <sup>-2</sup>	525 g·m <sup>-2</sup>
Grubość – Thickness	2,1 mm	2,0 mm
Przepuszczalność powietrza Air permeability	240 dm <sup>3</sup> · (dm <sup>2</sup> ·min) <sup>-1</sup>	190 dm <sup>3</sup> · (dm <sup>2</sup> ·min) <sup>-1</sup>
Najwyższa siła rozciągająca w kierunku wzdłużnym w kierunku poprzecznym		140 daN 220 daN
Highest tensile force longitudinal transverse		
Kurczliwość przy 140°C Shrinkage at 140°C		< 1%
Odporność na temperaturę stała krótkotrwała		140°C 150°C
Thermal resistance permanent momentary		

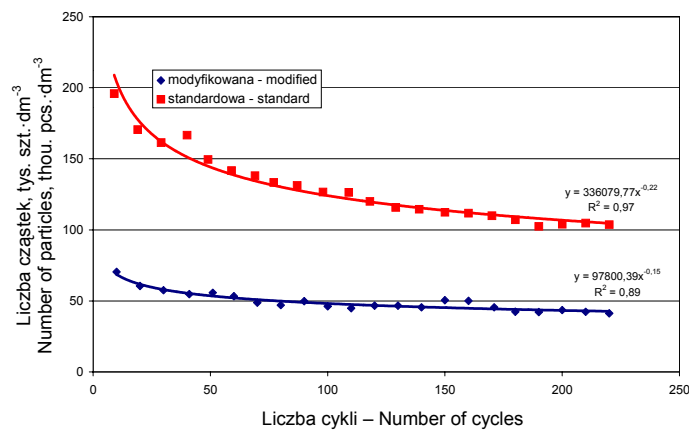
WYNIKI BADAŃ

Skuteczność separacyjna przy zmiennej prędkości filtracji

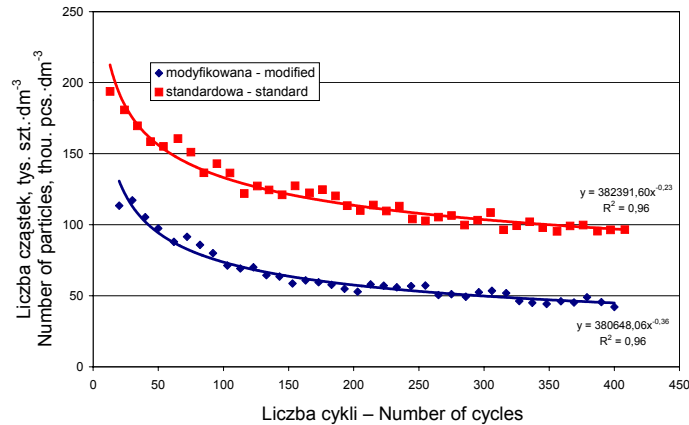
Kształtowanie się zawartości cząstek pyłowych w czasie powtarzających się cykli filtracyjnych ilustrują wykresy na rysunkach 2-5.



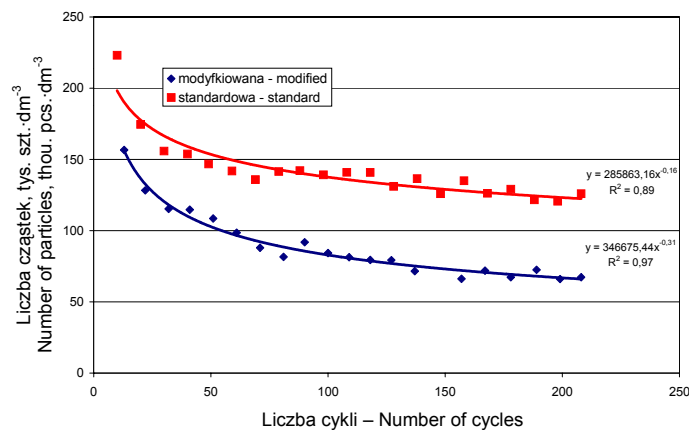
Rys. 2. Całkowita liczba cząstek pyłowych w oczyszczonym powietrzu po przeprowadzeniu filtracji z prędkością  $0,0405 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
 Fig. 2. Total quantity of dust particles in cleaned air after filtration carried with velocity of  $0.0405 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Rys. 3. Całkowita liczba cząstek pyłowych w oczyszczonym powietrzu po przeprowadzeniu filtracji z prędkością  $0,0484 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
 Fig. 3. Total quantity of dust particles in cleaned air after filtration carried out with velocity of  $0.0484 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Rys. 4. Całkowita liczba cząstek pyłowych w oczyszczonym powietrzu po przeprowadzeniu filtracji z prędkością  $0,0583 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
 Fig. 4. Total quantity of dust particles in cleaned air after filtration carried with velocity of  $0.0583 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Rys. 5. Całkowita liczba cząstek pyłowych w oczyszczonym powietrzu po przeprowadzeniu filtracji z prędkością  $0,0766 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
 Fig. 5. Total quantity of dust particles in cleaned air after filtration carried with velocity of  $0.0766 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Uzyskane w tej części badań rezultaty potwierdzają wyraźnie dodatnie oddziaływanie czasu napływu zapyłonego powietrza do materiału filtracyjnego na efektywność zatrzymywania cząstek pyłowych. Wraz z postępującym „zagęszczaniem” się warstwy filtrującej, składającej się ze struktury włóknistej i z osiadającego na niej pyłu, w czasie kolejnych cykli filtracyjnych zmniejsza się ogólna liczba tych cząstek w strumieniu powietrza opuszczającego odpylacz. Wyróżnia się przy tym zawsze początkową fazę gwałtownego ubytku liczby cząstek, po której przebieg tej zmienności charakteryzuje

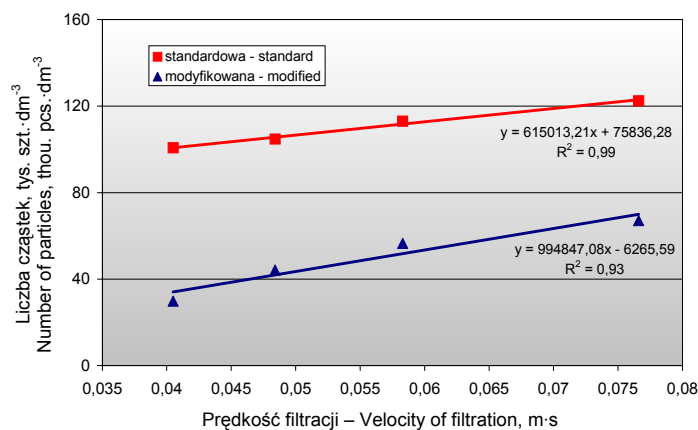
się powolniejszym już tylko zmniejszaniem się ich zawartości w oczyszczonym powietrzu.

Stwierdza się także szybsze pojawianie się stabilizacji separacyjnej włóknin modyfikowanych, co jest oznaką wcześniejszego ustalania docelowych właściwości układu podłoże filtracyjne–warstwa pyłowa i wskazuje na niewystępowanie zjawiska wnikania cząstek pyłowych do wnętrza struktury włóknistej, znajdującej się na drodze przepływu zapyłonego powietrza. Spostrzeżenie to wpływa przede wszystkim z analizy danych przedstawionych na rysunku 2 – dla prędkości filtracji najbardziej zbliżonej do występującej w warunkach przemysłowych.

Wykresy przedstawiające tę część badań zostały sporządzone na podstawie wartości średnich z pięciu kolejnych pomiarów liczby cząstek wykrywanych w oczyszczonym powietrzu za pomocą pracującego w sposób ciągły licznika laserowego. Na rysunkach 2 i 4 zaznaczono około 40 punktów dla obydwu badanych worków, co oznacza, iż przebiegi przedstawionych krzywych są aproksymacją danych doświadczalnych pochodzących z co najmniej dwustu pomiarów jednostkowych.

We wszystkich wypadkach, popartych materiałem doświadczalnym, następujące po sobie cykle filtracyjne potwierdzają, w sposób nie budzący wątpliwości, zbliżanie się do stanu osiągnięcia stałego poziomu sprawności separacyjnej. Jest to tym wyraźniej widoczne, im niższe są prędkości filtracji.

Syntezę przedstawionych wyników zawiera wykres zmienności całkowitej liczby cząstek w powietrzu filtrowanym z różną prędkością (rys. 6). Widoczne jest na nim wyraźne zróżnicowanie skuteczności wychwytywania cząstek zanieczyszczeń pyłowych przez włókninę standardową (KYS-serii PROGRESS) i włókninę modyfikowaną (KYS-serii FINESS). Przekonuje to o korzyściach, jakie można osiągnąć wprowadzając włókniny z powierzchniową warstwą mikrowłókien do powszechnego stosowania w urządzeniach odpylających w drzewnictwie.



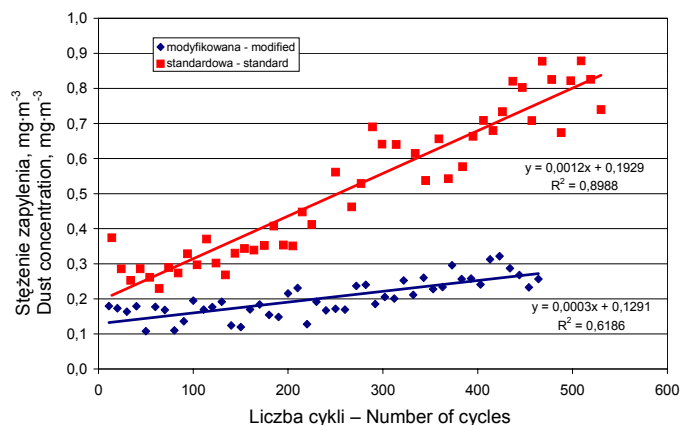
Rys. 6. Całkowita liczba cząstek pyłowych w oczyszczonym powietrzu po przeprowadzeniu 200 cykli filtracyjnych

Fig. 6. Total quantity of dust particles in cleaned air after 200 filtration cycles

Układ punktów reprezentujących liczby wszystkich cząstek w oczyszczonym powietrzu w funkcji prędkości filtracji, w zasadniczym stopniu odzwierciedlającej całkowitą skuteczność odpylania, wskazuje jednoznacznie, w wypadku obydwu materiałów filtracyjnych, na występowanie zależności liniowej między tymi dwoma wielkościami. Można zatem przyjąć, że przy oczyszczaniu powietrza z cząstek pyłu drzewnego przyrost prędkości filtracji powoduje proporcjonalne obniżanie się sprawności tego procesu (w wyniku przyrostu całkowitej liczby cząstek w oczyszczonym powietrzu). Jest przy tym bardzo istotne, że podczas stosowania włókniny z powierzchniową warstwą mikrowłókien ogólna zawartość cząstek pyłowych jest zawsze ponad 2,5-krotnie mniejsza.

### Masowe stężenie zapylenia w oczyszczonym powietrzu

Wyrażanie stopnia zanieczyszczenia powietrza pyłem liczbą cząstek zawartych w jednym decymetrze sześciennym nie dość wyraźnie określa stan jego czystości z punktu widzenia wymagań higienicznych. Wszelkie normy dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń wyrażają grawimetrycznie stężenie zapylenia – w miligramach na metr sześcienny. Stało się więc konieczne, w dokonywaniu ostatecznej oceny porównawczej i wynikającej stąd bezpośredniej przydatności badanych struktur filtracyjnych, doprowadzenie do tej formy wyrażenia zawartości cząstek pyłu drzewnego w oczyszczonym powietrzu. Zawartość cząstek pyłowych w sztukach na decymetr sześcienny przeliczono na ich masę w  $1 \text{ dm}^3$  i uzyskane wyniki zestawiono na wykresie (rys. 7). Przedstawiono na nim stężenie zapylenia w powietrzu filtrowanym z prędkością  $0,0405 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , określone na podstawie wszystkich pomiarów liczby cząstek pyłowych.

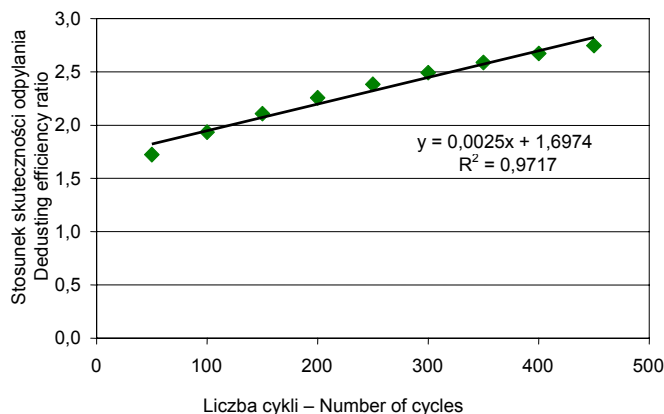


Rys. 7. Stężenie zapylenia w oczyszczonym powietrzu  
Fig. 7. Dust concentration in cleaned air

Znacznie wyraźniej niż w poprzednich porównaniach widać zalety włókniny KYS-serii FINESS w porównaniu z włókniną KYS-serii PROGRESS. Sprowadzony dla obydwu włóknin, w najprostszym przybliżeniu, przebieg zmienności stężenia zapylenia wyrażonego w miligramach na metr sześcienny do funkcji liniowej wskazuje, że zdol-



ności separacyjne włókniny ze zmodyfikowaną warstwą powierzchniową są znacznie lepsze (rys. 8). W końcowej fazie doświadczeń stężenie zapylenia w oczyszczonym powietrzu po zastosowaniu włókniny modyfikowanej kształtowało się na poziomie ponad 2,5-krotnie niższym.



Rys. 8. Relacje w stężeniach zapylenia w oczyszczonym powietrzu  
Fig. 8. Relations of dust concentration in cleaned air

## PODSUMOWANIE

W każdych warunkach prowadzenia procesu filtracyjnego włóknina KYS-serii FINNESS, posiadająca na powierzchni roboczej – od strony napływu zapyłonego powietrza – warstwę mikrowłókien o wymiarze grubościowym 0,8 dtex, odznacza się bardzo korzystnymi właściwościami separacyjnymi we wszystkich przedziałach wymiarowych zanieczyszczeń stałych, będących składnikami bardzo rozdrobnionego pyłu ze szlifowania gładzącego bukowych elementów meblowych.

Dla całego, bardzo szerokiego zakresu prędkości filtracji uwzględnionych w badaniach liczba cząstek pyłowych w oczyszczonym powietrzu – przyjęta za podstawowy miernik skuteczności separacyjnej – kształtuje się na poziomie od 2- do 3-krotnie niższym po zastosowaniu włókniny KYS-serii FINNESS niż włókniny standardowej. Najkorzystniejsze relacje występują przy prędkości filtracji około  $0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , która jest najbardziej zbliżona do prędkości stosowanych w warunkach pracy odpylaczy filtracyjnych w drzewnictwie.

## PIŚMIENNICTWO

- Badania porównawcze materiałów filtracyjnych o budowie standardowej i kaskadowej w skali zwiększonej. 1995. Maszyn. Kat. Obrab. Urz. Przem. AR Poznań.  
Badania porównawcze skuteczności filtracji włókien standardowych i plazmowanych. 1996. Maszyn. Kat. Obrab. Urz. Przem. AR Poznań.

- Dobak S., 2002. Nowe możliwości w dziedzinie filtracji pyłów drzewnych. *Zastos. Ergon.* 1-4, 41-46.
- Dolny S. 1999. Badania oporów przepływu podczas filtracyjnej separacji pyłów powstałych w procesach przerobu materiałów drzewnych. Wyd. AR. Poznań.
- Dolny S. 1996. Badania struktur kaskadowych włókien poliestrowych w zastosowaniu do pyłów drzewnych. *Pr. Kom. Technol. Drewn. PTPN* 14, 13-21.
- Filters and Filtration.* 1992. Elsev. Adv. Technol. Oxford.
- Filtration Management Info-Service.* 1995. Verbesserte Oberflächenfiltration mit NOMEX „Delta Micro“ DuPont.
- Gutowski W. 1977. Ocena i optymalizacja materiałów filtracyjnych. *Ochr. Pow.* 5, 116-120.
- Kabsch P. 1992. Odpylanie i odpylacze. T. 1. *Mechanika aerozoli i odpylanie suche.* WNT Warszawa.
- VDI-Richtlinien. Prüfung von Filtermedien. VDI 3926. 1992. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

### SEPARATION OF WOOD DUSTS ON THE UNWOVEN FABRIC COVERED WITH MICROFIBRES LAYER

**Abstract.** Comparative investigation carried out with both modified fiber cloth – KYS-type FINESS and standard fiber cloth with homogeneous structure on the whole thickness – KYS-type PROGRSS showed essential differences in the performance of both types of material used for filtration of air containing very small dust particles. It was concluded that separation properties of that material are very good in relation to the number of particles in the air. The amount of dust particles in the air which flew through filtration bag made of fiber cloth covered with microfibers (KYS-type FINESS) is from two and a half up to three times smaller than in case of standard cloth. It is very advantageous as it guarantees compliance with strictest air cleanness requirements in the production halls. Very high air cleaning efficiency of clothes covered with microfibers allows for total freedom in designing and exploitation of closed air systems used in furniture factories.

**Key words:** dedusting, filtration, wood dust, filtration materials

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 26.04.2004 r.*