

Oczyszczanie sprężonego powietrza z rozpylonego oleju

metodą
bezwładnościowego
wytrącania

dr inż. KAZIMIERZ BEDNAREK
Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Zakład Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn

W artykule przedstawiono opracowany i wypróbowany w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie sposób oczyszczania sprężonego powietrza z rozpylonego oleju metodą bezwładnościowego wytrącania, którego skuteczność może dochodzić do 97%. Opisano sposób wykonania i wyniki doświadczalnych badań oczyszczania sprężonego powietrza tą metodą – laboratoryjnych i w zakładzie przemysłowym, w których uzyskano skuteczność odolejania wynoszącą około 94%.

Purification of compressed air from pulverized oil with impactive oil reclassification

This article presents purification of compressed air from pulverized oil, using an original method of impactive oil reclassification. This method has been developed and tested in Cracow's AGH University of Science and Technology. Its efficiency can reach 97%. This article discusses experimental research and the results of this kind of purification in a laboratory and in an industrial plant. Its efficiency was 94%.

Wstęp

Podczas sprężania powietrza w sprężarkach tłokowych i śrubowych, w których powierzchnie elementów sprężających (tłoki, cylindry) smarowane są olejem, część tego oleju ulega rozpyleniu w sprężanym powietrzu, tworząc z nim aerozol.

Stosowane na stanowisku pracy sprężone powietrze, które zawiera rozpylony olej, przed wypłynięciem do otoczenia powinno być w odpowiednim stopniu oczyszczone z rozpylonego oleju. Ma to szczególnie duże znaczenie wówczas, gdy stanowiska pracy znajdują się w zamkniętych małych pomieszczeniach, a układy wentylacji tych pomieszczeń nie zawsze zapewniają skuteczną wymianę powietrza.

Wartość najwyższego dopuszczalnego stężenia fazy ciekłej oleju mineralnego (NDS) w powietrzu na stanowiskach pracy wynosi 5 mg/m^3 , a najwyższego dopuszczalnego stężenia chwilowego (NDSCH) wynosi 10 mg/m^3 [1].

Obecnie sprężone powietrze oczyszczane jest z rozpylonego oleju przeważnie

za pomocą odolejaczy: cyklonowych, labiryntowych i absorpcyjnych o różnorodnej budowie. Część rozpylonego oleju zostaje również zatrzymana w chłodniach, odwadniaczach, zbiornikach wyrównawczych (akumulatorach) i przewodach sprężonego powietrza. Skuteczność tych sposobów oczyszczania oraz koszt ich stosowania jest bardzo zróżnicowany i można je ustalić tylko doświadczalnie.

Skuteczność oczyszczania w dużym stopniu zależy także od zakresu średnic kropelek oleju, zwanego widmem kroplowym, co z kolei zależy od mechanizmu i parametrów rozpylania oraz od fizyko-chemicznych właściwości oleju.

Metoda bezwładnościowego wytrącania rozpylonego oleju ze sprężonego powietrza

W Zakładzie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie wykonywane są prace teoretyczne i badawczo-wdrożeniowe w zakresie techniki smarowania mechanizmów maszyn mgłą olejową.

W technice tej olej rozpylany jest w specjalnych agregatach, zwanych wytwornicami mgły olejowej. Wytworzona mgła olejowa przepływa rurkami do punktów smarowania, gdzie krople oleju wytrącają się z mgły olejowej przeważnie metodą bezwładnościową za pomocą specjalnych przyrządów, zwanych impaktorami.

W ramach tych prac opracowano rozwiązania konstrukcyjne i ustalono robocze parametry impaktorów, umożliwiające uzyskanie skuteczności (sprawności) wytrącania kropelek oleju ze strumienia mgły olejowej, dochodzące do około 97%.

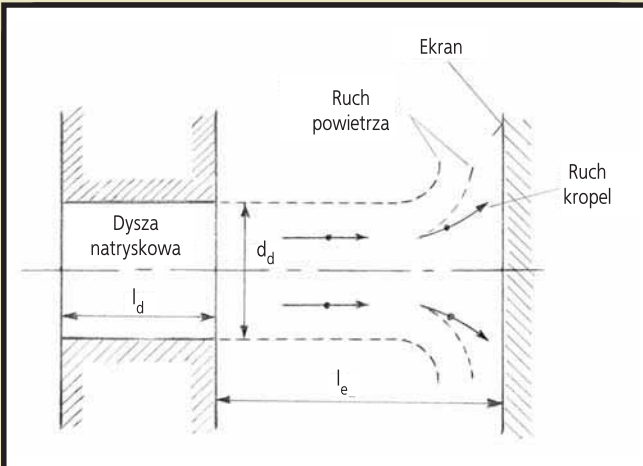
Podjęto również i wykonano opisaną poniżej próbę zastosowania tej metody do usuwania rozpylonego oleju ze sprężonego powietrza.

Teoretyczne podstawy i praktyczne sposoby bezwładnościowego wytrącania kropelek oleju ze strumienia aerozolu – w tym z mgły olejowej i sprężonego powietrza zanieczyszczonego rozpylonym olejem – opisane są w pracach badawczo-naukowych [2, 3, 4], w publikacjach [5, 6, 7], zgłoszeniach patentowych [8, 9] oraz w pracach badawczo-wdrożeniowych dla przemysłu [10].

Mechanizm bezwładnościowego wytrącania kropelek oleju ze strumienia aerozolu przedstawiono na schemacie, rys. 1. Zespół dyszy natryskowej (również dozującej strumień) i ekranu nazywany jest impaktorem.

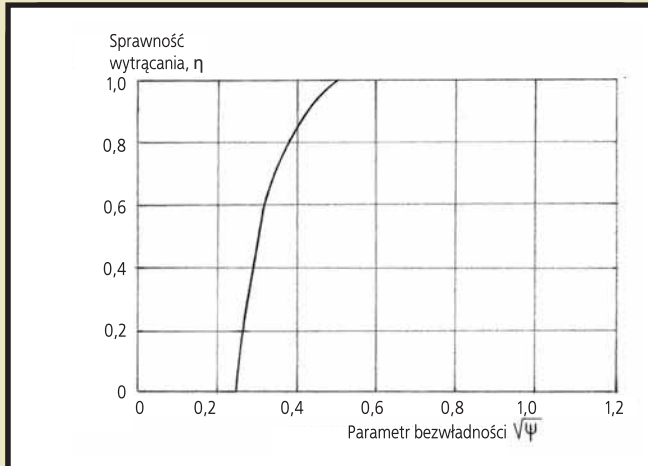
Sprawność η bezwładnościowego wytrącania w impaktorze kropelek oleju ze strumienia aerozolu, czyli stosunek masy wytrąconych kropelek do masy kropelek znajdujących się w strumieniu aerozolu można wyliczyć z zależności matematycznych podanych w piśmiennictwie [1], a na wykresie (rys. 2.), przedstawiono zależność sprawności bezwładnościowego wytrącania η od parametru bezwładności Ψ , dla impaktora z cylindrycznym otworem i płaskim ekranem.

Wymagane wymiary i parametry robocze impaktora można również ustalić według tych zależności matematycznych, lecz ze względu na duże trudności pomiaru śred-



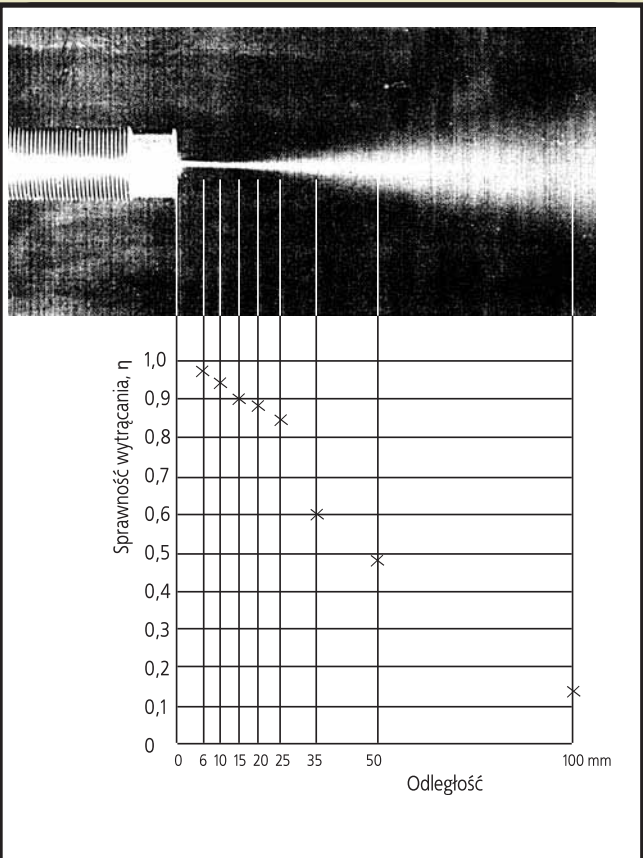
Rys. 1. Schemat impaktora do bezwładnościowego wytrącania kropeł oleju ze strumienia aerozolu

Fig. 1. A diagram of an impactor for impactive oil drop reclassification from an aerosol



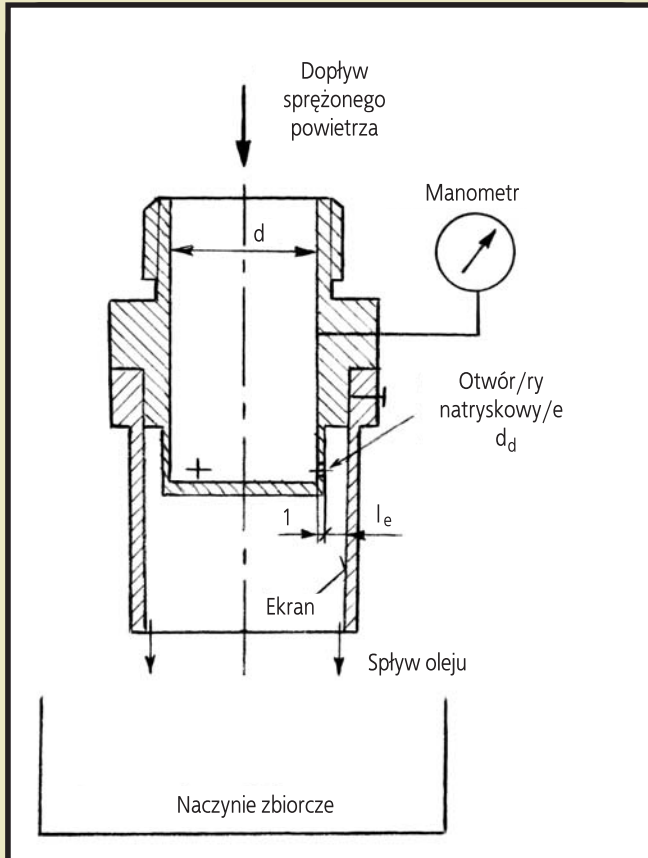
Rys. 2. Zależność sprawności bezwładnościowego wytrącania od parametru bezwładności \$\Psi\$, w impaktorze z cylindrycznym otworem i płaskim ekranem

Fig. 2. The relationship of impactive reclassification efficiency and inertness parameter \$\Psi\$ in an impactor with a cylindrical orifice and a flat screen



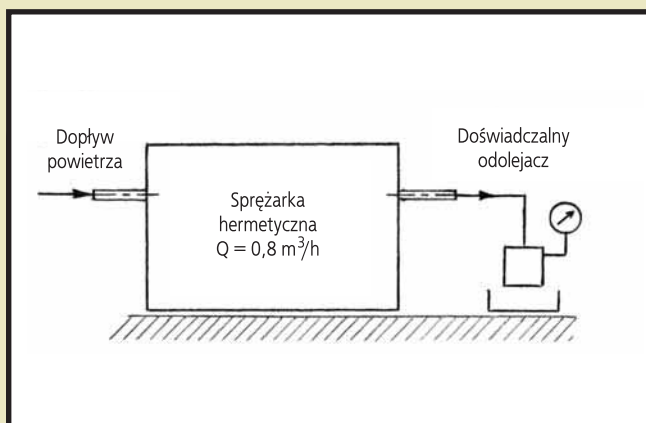
Rys. 3. Sprawność bezwładnościowego wytrącania kropeł oleju ze strumienia aerozolu (mgły olejowej) \$Q = 1 \text{ dm}^3/\text{s}\$, w impaktorze z cylindrycznym otworem \$d_d = 3,2 \text{ mm}\$, długości \$l_d = 2 \text{ mm}\$ i płaskim ekranem, w zależności od odległości od wylotu otworu do ekranu \$l_e\$

Fig. 3. The efficiency of impactive oil drop reclassification from an aerosol stream (oil mist) \$Q = 1 \text{ dm}^3/\text{s}\$, in an impactor with a cylindrical orifice \$d_d = 3.2 \text{ mm}\$, length \$l_d = 2 \text{ mm}\$, and a flat screen, depending on the distance between the orifice and screen \$l_e\$



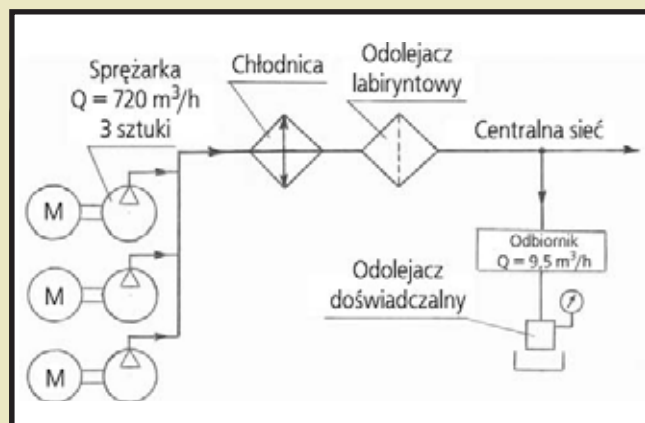
Rys. 4. Szkic doświadczenia, bezwładnościowego odolejacza sprężonego powietrza

Fig. 4. A sketch of an experimental, impactive compressed air reclassifier



Rys. 5. Schemat połączenia hermetycznej sprężarki powietrza z doświadczalnym odolejaczem – badanie laboratoryjne

Fig. 5. A diagram of a hermetic air compressor connection with an experimental oil reclassifier – laboratory research



Rys. 6. Schemat przyłączenia doświadczalnego odolejacza do układu sprężonego powietrza – badanie w zakładzie przemysłowym

Fig. 6. A diagram of an experimental oil reclassifier connection to a compressed air system – an experiment in an industrial plant

nicy kropeł oleju, która ma zasadniczy wpływ na bezwładnościowe wytrącanie kropeł, wyliczone wymiary i parametry impaktora praktycznie muszą być weryfikowane doświadczalnie.

Na wykresie (rys. 3. – str. 29), przedstawiono wyniki badania [1] sprawności wytrącania kropeł oleju ze strumienia aerozolu (mgły olejowej), $Q = 1 \text{ dm}^3/\text{sek.}$, w impaktorze z cylindrycznym otworem o średnicy $d_o = 3,2 \text{ mm}$, długości $l_o = 2 \text{ mm}$ i płaskim ekranem, w zależności od odległości l_e od wylotu otworu do ekranu. Ciśnienie aerozolu przed otworem wyniosło $0,17 \text{ bar}$.

Przebieg badania bezwładnościowego usuwania rozpylonego oleju ze sprężonego powietrza

Wykonano dwa rodzaje badań bezwładnościowego (impakcyjnego) usuwania rozpylonego oleju ze strumienia sprężonego powietrza wypływającego do otoczenia:

- badania laboratoryjne
- badania w zakładzie przemysłowym.

Konstrukcje i główne wymiary doświadczalnego, bezwładnościowego odolejacza sprężonego powietrza pokazano na rys. 4. (str. 29). Wytrącony w odolejaczach olej spływa grawitacyjnie do umieszczonego pod nim naczynia. W badaniach tych, na podstawie wyników przedstawionych na wykresie (rys. 3.), przyjęto, że ciśnienie powietrza przed otworem/otworami natryskowymi

będzie wynosiło: $0,2 \text{ bar}$, co zapewni wymaganą prędkość kropeł oleju.

Aby uzyskać to ciśnienie należy dobrać odpowiednią średnicę otworów natryskowych d_o i odpowiednią liczbę tych otworów.

W celu uzyskania małych oporów przepływu powietrza przez otwory natryskowe przyjęto ich długość: 1 mm .

Badania laboratoryjne

Do badań laboratoryjnych zastosowano hermetyczną sprężarkę tłokową, model SH 1,0 produkcji Zakładów EDA S.A. w Ponia-towej, o wydajności około $0,8 \text{ m}^3/\text{godzinę}$.

Sprężarkę tę zastosowano głównie z tego względu, że następuje w niej rozpylanie w sprężonym powietrzu dużej ilości oleju, co umożliwia dokładne ustalenie skuteczności bezwładnościowego wytrącania tego oleju z powietrza wypływającego do otoczenia.

W wykonanych badaniach ilość oleju rozpylanego w 1 m^3 powietrza wynosiła około $1,8 \text{ g}$. Do smarowania sprężarki zastosowano olej mineralny sprężarkowy VG22.

W doświadczalnym odolejaczach zastosowano jeden otwór natryskowy o średnicy $d_o = 1,4 \text{ mm}$, uzyskując założone ciśnienie powietrza przed otworem, wynoszące: $0,2 \text{ bar}$. Odległość od wylotu otworu do ekranu wynosi: $l_e = 2,5 \text{ mm}$. Średnica dopływu powietrza do odolejacza wynosi: $d = 8 \text{ mm}$. Schemat połączenia doświadczalnego odolejacza ze sprężarką przedstawiono na rys. 5.

Masę oleju rozpylonego w sprężarce oraz wytrąconego w odolejaczach mierzono wagowo z dokładnością: $\pm 0,5 \text{ g}$. Wykonano 5 wielogodzinnych badań, których wyniki podano w tabeli 1.

Badania w zakładzie przemysłowym

Doświadczalne badania bezwładnościowego wytrącania rozpylonego oleju ze strumienia sprężonego powietrza wykonano w zakładzie przemysłowym, w którym eksploatowany jest centralny układ sprężonego powietrza, zasilany zespołem trzech sprężarek tłokowych smarowanych olejem mineralnym, każda o wydajności $720 \text{ m}^3/\text{godz.}$ Z układu sprężone powietrze podawane jest do odbiorników, z których po użyciu wypływa do otoczenia, gdzie przeważnie znajdują się stanowiska pracy.

Badania te miały na celu porównanie skuteczności odolejania sprężonego powietrza zainstalowanym za sprężarkami specjalnym odolejaczem labiryntowym oraz doświadczalnym odolejaczem bezwładnościowym. Pomiar wykazały, że w stosowanym dotychczas odolejaczach usuwane jest około $19,3 \text{ mg}$ oleju z 1 m^3 powietrza. Ilość powietrza rozpylanego w sprężarce nie była mierzona.

W doświadczalnym odolejaczach zastosowano trzy otwory natryskowe o średnicy: $d_o = 2 \text{ mm}$, uzyskując założone ciśnienie powietrza przed otworami wynoszące $0,2 \text{ bar}$.

Odległość od wylotu otworów do ekranu wynosi: $l_e = 3 \text{ mm}$.

Tabela 1

WYNIKI BADANIA BEZWŁADNOŚCIOWEGO WYTRĄCANIA ROZPYLONEGO OLEJU ZE STRUMIENIA SPRĘŻONEGO POWIETRZA Z HERMETYCZNEJ SPRĘŻARKI TŁOKOWEJ $Q = 0,8 \text{ m}^3/\text{godz}$.

Study results of impactive oil reclassification from a compressed air stream in a hermetic piston compressor, $Q = 0.8 \text{ m}^3/\text{hr}$.

Parametr	Numer badania					Łącznie
	1	2	3	4	5	
Czas badania, godziny	18	20	17	18	18	91
Ilość sprężonego powietrza, m^3	14,4	16,0	13,6	14,4	14,4	72,8
Ilość rozpylonego oleju, gram	26	31	27	24	22	130
Ilość oleju rozpylonego w 1 m^3 powietrza, gram	1,8	1,9	2,0	1,7	1,5	1,8
Ilość oleju wytrąconego w odolejaczku, gram	25	29	25	22	21	122
Sprawność wytrącania	0,96	0,93	0,92	0,92	0,95	0,94

Tabela 2

WYNIKI BADANIA BEZWŁADNOŚCIOWEGO WYTRĄCANIA ROZPYLONEGO OLEJU ZE STRUMIENIA SPRĘŻONEGO POWIETRZA WYPŁYWAJĄCEGO Z URZĄDZENIA PRZEMYSŁOWEGO DO OTOCZENIA NA STAŃWISKACH PRACY

Study results of impactive oil reclassification from a compressed air stream which flows out from an industrial instrument into the working environment

Parametr	Numer badania		Łącznie
	1	2	
Czas badania, godziny	186	288	474
Ilość oczyszczanego powietrza, m^3	1767	2736	4503
Ilość oleju wytrąconego w odolejaczku, gram	5,8	11,8	17,6
Ilość oleju wytrąconego z 1 m^3 powietrza, mg	3,3	4,3	średnio 3,9

Średnica dopływu powietrza do odolejacza wynosi: $d = 22 \text{ mm}$.

Doświadczalny odolejacz zainstalowano na wypływie powietrza do otoczenia z jednego odbiornika o natężeniu przepływu: $9,5 \pm 0,5 \text{ m}^3$ na godzinę, jak pokazano na schemacie, rys. 6.

Masę oleju wytrąconego w odolejaczku mierzono wagowo z dokładnością $\pm 0,1 \text{ g}$. Wykonano dwa kilkudniowe badania, których wyniki podano w tabeli 2.

Ocena wyników badań

• Badania laboratoryjne (opisane w tym rozdziale) wykazały, że w sprężarce po-

wietrza rozpylony olej mineralny tworzy z powietrzem aerosol zawierający głównie wytrącaną w odolejaczku bezwładnościowym (impakcyjnym). W wykonanych badaniach sprawność bezwładnościowego wytrącania oleju była bardzo wysoka, wynosiła około: 0,94.

• Badania wykonane w zakładzie przemysłowym, gdzie eksploatowany jest centralny układ sprężonego powietrza (opisane w tym rozdziale) wykazały, że w stosowanym odolejaczku labiryntowym jest usuwane z 1 m^3 powietrza około 19,3 mg oleju. Natomiast w doświadczalnym odolejaczku bezwładnościowym z 1 m^3 powietrza wy-

trącano dodatkowo około 3,9 mg oleju, co stanowi około 17% łącznej ilości oleju usuniętego z powietrza w obu odolejaczach. Można zatem stwierdzić, że skuteczność odolejania sprężonego powietrza odolejaczem bezwładnościowym jest większa niż skuteczność odolejania odolejaczem labiryntowym.

• Na podstawie wyników badań doświadczalnych można wnioskować, że metoda bezwładnościowego wytrącania kropli oleju ze strumienia aerozolu może być stosowana do usuwania rozpylonego oleju ze strumienia sprężonego powietrza wypływającego do otoczenia i że będzie można uzyskać – analogicznie jak w układach smarowania mgłą olejową – skuteczność wytrącania rozpylonego oleju dochodzącą do około 97%.

PIŚMIENNICTWO

[1] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. DzU nr 217, poz. 1833, zm. DzU nr 212, poz. 1769

[2] K. Bednarek *Metodyka badania wpływu wybranych parametrów mgły olejowej na powstawanie filmu olejowego na roboczych powierzchniach koła zębatego*. Praca doktorska. AGH, Kraków 1980

[3] Z. Szydło *Badanie wpływu prędkości strumienia mgły olejowej na wytrącanie się kropli oleju w przewodach o przekroju kołowym*. Praca doktorska. AGH, Kraków 1984

[4] B. Zachara *Badanie rozmiarów cząstek aerozolu – mgły olejowej – metodą holograficzną*. Praca doktorska. AGH, Kraków 1982

[5] K. Bednarek, Z. Szydło *Problems of Oil Mist Lubrication in Industry*. "Lubrication Engineering", Vol. 44, No 11, 1988, Park Ridge, USA

[6] K. Bednarek, Z. Szydło *Metoda badania olejów do układów smarowania mgłą olejową*. „Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji” 82/2001

[7] E. Gawęda, K. Bednarek, Z. Szydło *Oznaczanie mgły olejowej w powietrzu na stanowiskach pracy metodą wagową*. „Bezpieczeństwo Pracy” 12(411)2005, s. 11-14

[8] Z. Szydło, K. Bednarek *Zgłoszenie patentowe nr P-346994. Sposób oraz urządzenie do oczyszczania sprężonego powietrza z kropli oleju*. 9.04.2001

[9] Z. Szydło, K. Bednarek *Patent nr P-347344. Sposób wytrącania oleju ze strumienia mgły olejowej oraz dysza do tego sposobu*. 10.10.2006

[10] Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. *Prace badawczo-wdrożeniowe dla przemysłu, numery: 5.391.23–1983 r., 5.130.492–1995 r., 5.5.130.14–2001 r., 5.5.130.54–2003 r.*