



Laboratorium Badawcze
Lotnictwa i Budownictwa
FLUCTUS Sp. z o.o.
37-127 Krzemienica 1b

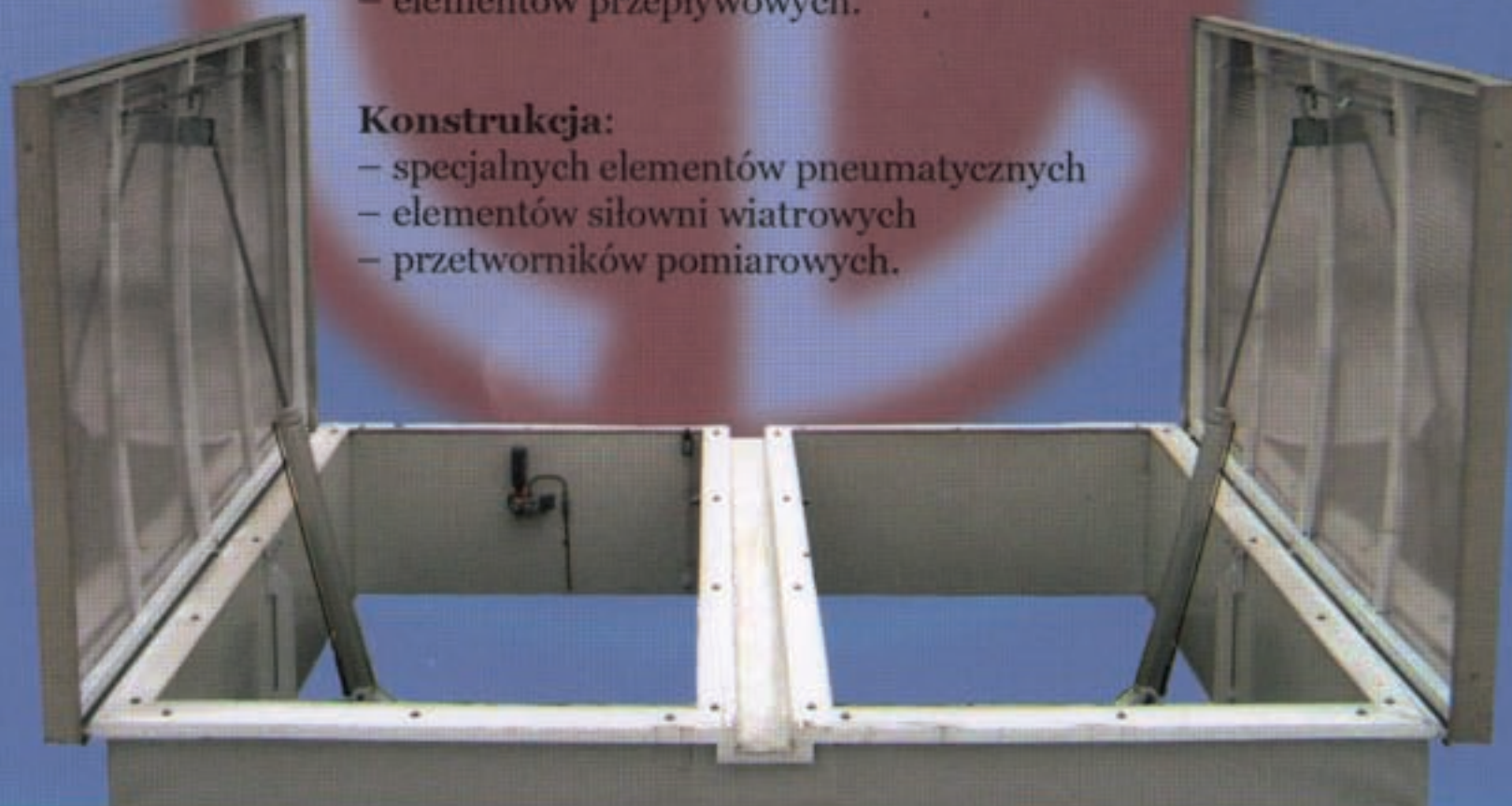


Badania:

- kłap dymnych, wentylacyjnych
- nasadek kominowych
- wentylatorów, sprężarek
- aerodynamiczne budowli
- elementów przepływowych.

Konstrukcja:

- specjalnych elementów pneumatycznych
- elementów siłowni wiatrowych
- przetworników pomiarowych.



Czujnik
pneumatyczny

Elementy
pneumatyczne

Kłapy dymne

Mięśnie
pneumatyczne

Pneumatyczny
manipulator
modułowy

Sterownik PLC

Sztuczna nerka

WYDAWNICTWO
pneumatyka



OŚRODEK BADAWCZO-ROZWOJOWY ELEMENTÓW I UKŁADÓW PNEUMATYKI Sp. z o.o.



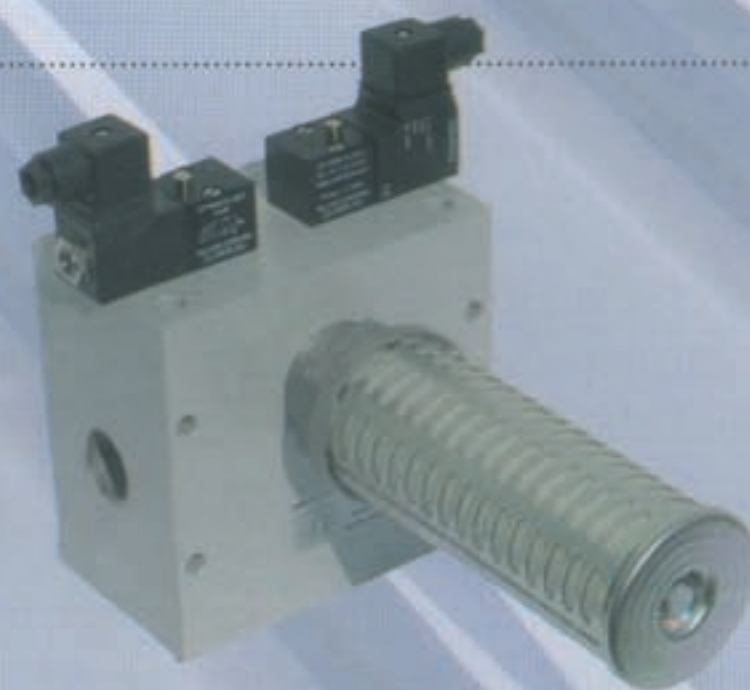
Ośrodek istnieje na polskim rynku od 35 lat. Powołany został w 1975 r. jako jedyna w kraju jednostka badawczo-rozwojowa w dziedzinie pneumatyki, a od czerwca 2008 r. w formie Spółki z o.o. Od początku działalności do chwili obecnej realizuje prace projektowe, badawcze i wdrożeniowe w szerokim zakresie pneumatyki, z zastosowaniem elementów i zespołów funkcjonalnych oraz urządzeń jednostkowych o niekonwencjonalnej konstrukcji, do wykorzystania w przemyśle.

Wieloletnia działalność OBREiUP Sp. z o.o. obejmuje opracowywanie, wykonawstwo, próby laboratoryjne oraz wdrażanie w praktycznych zastosowaniach elementów, zespołów i urządzeń pneumatycznych standardowych i specjalnych.



Szeroka oferta prac badawczo-rozwojowych oraz wykonawczych realizowanych w Ośrodku zawiera w szczególności:

- produkcję i sprzedaż elementów pneumatycznych (w tym wg norm ISO i EN)
- wykonanie i montaż układów napędowych i sterujących w maszynach przemysłowych
- opracowanie nowych wyrobów, w tym elementów i zespołów niestandardowych, dostosowanych do wymagań użytkowników oraz niekonwencjonalnych urządzeń i instalacji wykonawczych
- modernizację i automatyzację pracujących maszyn i urządzeń
- regenerację i naprawę elementów oraz dobór lub wykonawstwo zamienników wyrobów krajowych i zagranicznych.



W laboratorium Ośrodka prowadzone są badania elementów pneumatyki w tym próby szczelności, działania, pomiary czasów zadziałania, przepływu i innych parametrów charakterystycznych.

OBREiUP prowadzi ponadto doradztwo techniczne w zakresie wykorzystania energii sprężonego powietrza w zastosowaniach przemysłowych, informację naukowo-techniczną oraz kompleksową działalność normalizacyjną w dziedzinie pneumatyki.



Słowo wstępne

➤ **Małgorzata Wiewiórska**

Wakacje i brawura

Kończy się lato – długo i tęsknie wyczekiwany czas wakacji i urlopów. Młodzież wróciła do szkół, większość z nas do pracy, tylko studenci cieszą się jeszcze „wolnością” przed zbliżającym się wielkimi krokami rokiem akademickim.

O to, byśmy okres słodkiego leniuchowania wspominali jak najmilej, jeszcze przed wakacjami zadbały służby państwowe (policja, straż pożarna, kuratoria) i media. Dla dzieci i młodzieży organizowano liczne pogadanki i festyny, na których apelowano o rozważne korzystanie z wakacyjnych przyjemności i tłumaczono, jak można unikać zagrożeń.

Zainteresowanie akcją było ogromne. „Nauka przez zabawę to doskonały pomysł” – mówiła prelegentka na jednym ze spotkań z dziećmi. „Pamiętajcie jednak, że lekkomyślność i brawura są najczęstszymi powodami problemów i tragicznych zdarzeń, na przykład utonięć” – ostrzegała. Na wielu polskich uczelniach przeprowadzono cykl wykładów na temat promocji zdrowia seksualnego. „Bez seksu oczywiście można żyć, ale takie życie jest ubogie. Nie da się żyć bez jedzenia, picia i oddychania, ale uzupełnieniem tych czynności powinien być możliwie bezpieczny seks” – tłumaczyła studentom inna prelegentka.

Czy te rady i przestrogi odniosły pożądany skutek? Na ogół tak, choć – niestety, niejako już tradycyjnie – dorośli nie świecili młodym przykładem odpowiednich zachowań. Podczas ostatniego weekendu sierpnia policja przeprowadziła ogólnopolską akcję „Bezpieczny weekend”. Na drogi wyszły tysiące funkcjonariuszy, by skontrolować prędkość, z jaką kierowcy wracają z urlopów, ich trzeźwość oraz stan techniczny pojazdów. I co się okazało? Doszło do 397 wypadków, w których 41 osób zginęło, a 549 zostało rannych. Bilans tragiczny, i to mimo tylu apeli o rozwagę i rozsądek! Jednym z najbardziej drastycznych przykładów bezmyślności była śmierć trojga 18-latków, gdy ich samochód wpadł w nocy do wzburzonego nurtu rzeczki Frydrychówki. Powód? Nadmierna prędkość na zakręcie. Tym młodym ludziom nie udało się bezpiecznie wrócić do domu z wakacji...

O ile człowiek na prawo do beztróskiego urlopu, to zdrowego rozsądku z takiego prawa nikt nie zwolnił – zawsze musi być na służbie, aby nie dochodziło do bezmyślnych wypadków. Ani na chwilę nie wolno przestać używać rozumu, bo skutki tego mogą być – o czym świadczy choćby powyższy przykład – tragiczne.

Pneumatyka

Redakcja
doc. dr inż. Małgorzata Wiewiórska
(redaktor naczelny)
50-141 Wrocław, pl. Nowy Targ 28
tel. 071 343 18 12
fax 071 343 18 20
e-mail: pneumatyka@wiewiorowska.pl

Korekta
Sławomir Gruca

DTP
Marcin Maciński

Komitet naukowo-techniczny
prof. nadzw. dr hab. inż.
Łukasz N. Węsierski

prof. zw. dr hab. inż.
Tadeusz Mikulczyński

prof. nadzw. dr hab. inż.
Mariusz Olszewski

prof. dr hab. inż.
Franciszek Siemieniako

Drukarnia
UrDruk

WYDAWNICTWO
pneumatyka

Wydawca i prenumerata
Wydawnictwo Pneumatyka, 50-141 Wrocław, pl. Nowy Targ 28
tel./fax 071 343 18 12, 071 343 18 20
e-mail: pneumatyka@wiewiorowska.pl

Recenzenci wydania

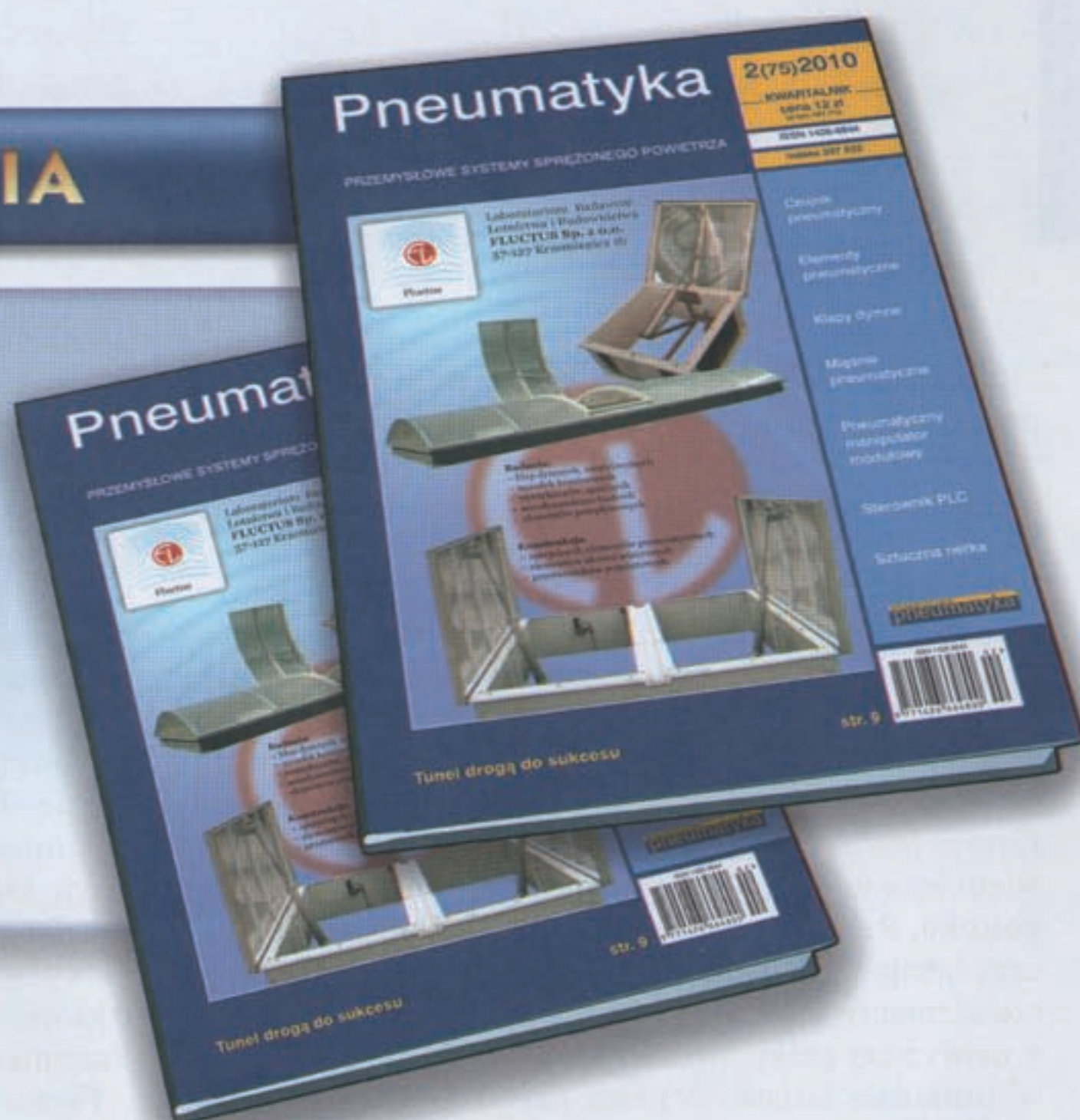
Jerzy Ickiewicz
Jerzy Iwaszko
Tadeusz A. Knap
Zbigniew Kulesza
Kazimierz Peszyński

Franciszek Siemieniako
Piotr Strzelczyk
Zygmunt Szczerba
Karol Szostek
Łukasz N. Węsierski

Zamówienia na ogłoszenia płatne, reklamy i teksty sponsorowane przyjmuje redakcja. Redakcja nie odpowiada za treść i formę ogłoszeń płatnych oraz publikacji sponsorowanych. W materiałach nadesłanych redakcja zastrzega sobie prawo do adiacji, doboru tytułów i dokonywania skrótów. Artykuły publikowane w czasopiśmie są recenzowane i kwalifikowane do druku po uzyskaniu pozytywnej opinii. Przedruk tekstów w całości lub w części wyłącznie za zgodą wydawcy.

TEMAT WYDANIA

Zastosowanie pneumatyki w przemyśle i medycynie



- | | | | |
|---|---------------|--|---------------|
| <p>➤ targi
Automaticon®2010</p> | 6..7 | <p>➤ zastosowanie pneumatyki
Stanowisko do wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych leżysk mebli tapicerowanych</p> | 20..24 |
| <p>➤ zastosowanie pneumatyki
Ciśnienie statyczne a ciśnienie spiętrzenia w modelach strumienia objętości wykorzystujących współczynnik wymiarowy K_v</p> | 15..19 | <p>➤ zastosowanie pneumatyki
Stanowisko dydaktyczne segregatora wyrobów z manipulatorem modułowym</p> | 26..28 |
| <p>➤ zastosowanie pneumatyki
Dynamika czujnika pneumatycznego w układach kontroli czynnej</p> | 10..14 | <p>➤ zastosowanie pneumatyki
Sztuczna nerka – ratunek czy przekleństwo dla pacjentów</p> | 40..49 |
| <p>➤ targi
HPS 2010</p> | 8 | <p>➤ nowości
Tunel drogą do sukcesu</p> | 9 |
| <p>➤ zastosowanie pneumatyki
Mechanizmy napędowe z mięśniami pneumatycznymi w automatyzacji produkcji</p> | 29..33 | <p>➤ zastosowanie pneumatyki
Wyznaczanie charakterystyki przepływowej oporów pneumatycznych metodą pośrednią</p> | 35..39 |
| <p>➤ targi
Namierz dobrą drogę z Targami Kielce</p> | 14 | <p>➤ konferencja
XVIII konferencja PNEUMA 2010</p> | 34 |
| <p>➤ aktualności
Potrzebna książka</p> | 8 | | |

Automaticon®2010 w Warszawie

W dniach od 23 do 26 marca br. w Warszawie odbyły się kolejne, szesnaste już targi Automaticon®2010 Automatyka Pomiary Elektronika. Na większej niż dotychczas powierzchni, po oddaniu nowej hali, prezentowało się kilkuset wystawców. Nas oczywiście najbardziej interesowali ci, którzy oferowali szeroko rozumianą pneumatykę.

Choć na targach nie byli obecni producenci sprężarek, ponad 10 wytwórców elementów pneumatyki miało własne stoiska, a kilkunastu innych – oprócz bogatej oferty automatyki – zaprezentowało również pneumatykę.

Pierwszy dzień targowy był tradycyjnie dniem edukacyjnym i młodzież tłumnie odwiedzała wystawców. Szczególnym zainteresowaniem cieszyły się wszystkie urządzenia mechatroniczne, których działaniem mogli sami sterować. Do tej grupy zwiedzających idealnie dostosowała się firma Festo, która pod hasłem *Uczelnia + Festo = innowacje w przemyśle* swoją powierzchnię wystawienniczą udostępniła studentom Politechnik z Białegostoku, Rzeszowa i Warszawy (fot. 1). Prezentowali oni urządzenia wykonane przez siebie w oparciu o najnowsze elementy tej właśnie firmy. A że były to elementy z najwyższej półki, świadczy zdobycie Złotego Medalu w konkursie targowym przez napęd EGC firmy Festo, który studenci stosowali w zaprojektowanych i wykonanych przez siebie urządzeniach. Ten liniowy napęd EGC z prowadnicą toczną charakteryzuje się wieloma zaletami, do których zaliczyć można: zdolność przenoszenia dużych obciążeń i momentów siły dzięki odpowiedniej

konstrukcji z zewnętrzną prowadnicą, zminimalizowanie wymiarów gabarytowych, zwiększenie bezpieczeństwa przez wbudowanie czujników oraz opcjonalne zde-rzaki awaryjne. W pierwszym dniu targów odbyła się także sesja prezentacyjna konkursu Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów na najlepszą pracę dyplomową Młodzi innowacyjni.

A oto kilka informacji o nowościach z zakresu elementów pneumatyki i ich niektórych nietypowych zastosowaniach. W tym miejscu kierujemy nasze zaproszenie do wszystkich producentów, aby przysyłali do nas informacje o swoich nowych produktach i aplikacjach. Dzięki temu będziemy mogli na bieżąco informować Państwa o nowościach, o których często są wzmianki wyłącznie w wewnętrznych biuletynach firmowych, i które – co oczywiste – nie mają takiego zasięgu jak Pneumatyka.

Firma ARA Pneumatyk zaoferowała na targach Automaticon®2010 udoskonaloną wersję siłowników (tzw. siłowników czwartej generacji Air Torque) produkowanych przez włoską firmę Air Torque, a ukierunkowanych szczególnie na klientów z przemysłu chemicznego. Są to siłowniki obrotowe wielopozycyjne (od 90° do



Fot. 1 Firma Festo pod hasłem *Uczelnia + Festo = innowacje w przemyśle* swoją powierzchnię wystawienniczą udostępniła studentom



Fot. 2 Firma Bosch Rexroth przedstawiła siłownik obrotowy dużej mocy we współpracy z robotem spawalniczym



Fot. 3 Firma Metal Work jako nowość pokazała przemysłowy system komunikacji bezprzewodowej, zasilanej sprężonym powietrzem

180°), wykonane z aluduru anodyzowanego, z powłokami ochronnymi, przeznaczone do pracy w różnych środowiskach.

Siłownik obrotowy dużej mocy firmy Bosch Rexroth można było zobaczyć we współpracy z robotem spawalniczym (fot. 2).

Firma Metal Work jako nowość pokazała przemysłowy system komunikacji bezprzewodowej, zasilanej sprężonym powietrzem (fot. 3). Składa się on z trzech elementów. Pierwszym jest mikrogenerator zasilany sprężonym powietrzem, który pozwala na zasilanie sterownika PLC, kamer przemysłowych, czujników i daje możliwość sterowania zaworami elektropneumatycznymi. Drugim jest węzeł komunikacji bezprzewodowej, który umożliwia przekazywanie informacji od czujników, przycisków itp. oraz steruje odbiornikami. Trzecim elementem jest konwerter energii, który pozwala na odzyskiwanie energii z powietrza wylotowego i przetwarza ją na energię elektryczną. System można wykorzystać przy automatyzacji rozległych obiektów, poruszających się czy też zagrożonych wybuchem. Pozwala na wyeliminowanie przewodów i złączy elektrycznych obrotowych, a także źródeł zasilania baterijnego.

Korporacja Parker Hannifin prezentowała się na jednym z większych stoisk z uwagi na szeroką ofertę elementów i aplikacji dla przemysłu różnych gałęzi. Związane to było ze znacznym rozszerzeniem zakresu pneumatyki zarówno własnej, jak i firm dołączonych w ostatnim czasie do korporacji. Firmami, które zostały wchłonięte przez Parker Hannifin, są: Origa (znany producent siłowników beztłoczyskowych, KV (zajmująca się produkcją elementów specjalnych i aplikacjami pneumatyki, np. w pojazdach), Rectus Tema (specjalizująca się w szybkozłączkach) i Legris (produkcja elementów sieci sprężonego powietrza, przyłączy i zaworów przepływowych). Z nowości firmy Parker wymienić można specjalną wyspę zaworową EExPress™. Jest ona przeznaczona do sterowania siłownikami pneumatycznymi pracującymi w strefach zagrożonych wybuchem. Wyspa ta nie wymaga kosztownych obudów odpornych na wybuchy dzięki zastosowaniu tzw. ciśnienia ochronnego (50 mbar), które zabezpiecza układ elektryczny przed gazem powodującym wybuch. Dzięki takiemu rozwiązaniu wyspę można montować blisko siłowników.

Spółka Prema w czasie kryzysu znalazła swoje miejsce w różnych specjalnych aplikacjach, które pokazała na swoim stoisku. Jedną z nich jest pneumatyczne sterowanie otwieraniem klap bocznych wagonów FALS454V przy wyładunku materiałów sypkich. Jest to układ spełniający wszelkie wymogi bezpieczeństwa i przystosowany do pracy w skrajnych warunkach termicznych (od 223 do 333 K).

Firma Rectus Polska oferowała dwa nowe produkty. Pierwszym jest zawór zaciskowy, sterowany pneumatycznie, stosowany w transporcie pneumatycznym granulatów, proszków, cieczy itp. Nadaje się do układów transportu produktów ściernych, powodujących korozję, włóknistych itp. Drugim produktem jest siłownik obrotowy Puretorq, stosowany do napędu zaworów i przepustnic. Elementem ruchomym jest specjalnie ukształtowana łopatką, a zastosowane nowe uszczelnienie zapewnia dużą żywotność siłownika.

Siłownik typu Fail-Safe tym różni się od dotychczasowych, standardowych wykonaw, że sprężynę zastąpiono zbiornikiem awaryjnym powietrza.

Porównując udział firm w dwóch kolejno po sobie następujących targach z automatyki pneumatycznej, widać wyraźnie, że producenci preferują warszawski Automaticon® – i to mimo rosnącej konkurencji ze strony firm elektronicznych. Pneumatyka, chcąc nie chcąc, została wchłonięta przez mechatronikę i to w niej powinna szukać swojego miejsca, a nie próbować samodzielnie się prezentować. Inną kwestią jest, że organizacja tak tematycznie zbliżonych do siebie imprez w odstępie zaledwie 3 tygodni nie wydaje się mieć przyszłości.

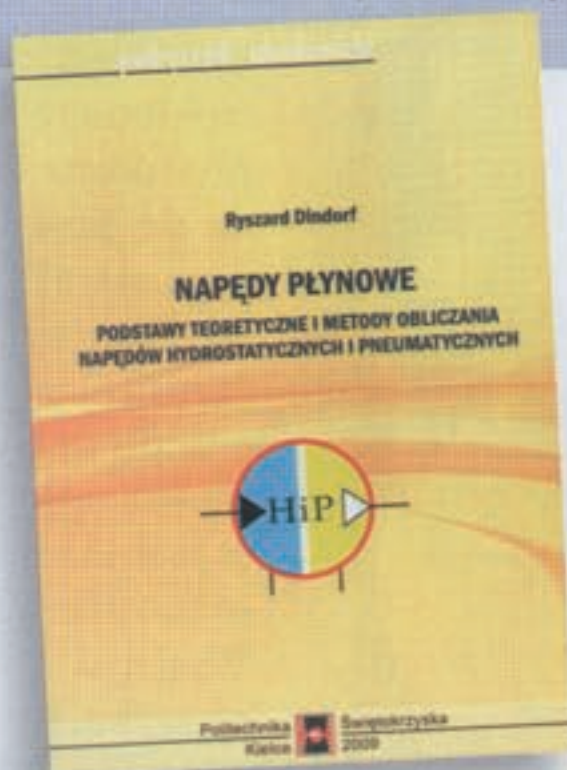


Fot. 4 Stoisko firmy SMC

Potrzebna książka

Ryszard Dindorf: Napędy płynowe. Podstawy teoretyczne i metody obliczania napędów hydrostatycznych i pneumatycznych.

Nakładem Wydawnictwa Politechniki Świętokrzyskiej ukazał się podręcznik akademicki poświęcony napędom płynowym, w tym pneumatycznym. Jest to tym cenniejsze, że od dłuższego czasu na rynku brak było publikacji książkowych o tej problematyce. W podręczniku napędy płynowe rozpatrywane są z punktu widzenia systemów mechatronicznych i wyodrębnione z nich jako podsystemy – hydrotroniczne i pneumotroniczne. To nowatorskie podejście do napędów płynowych wpisuje



się w nowoczesne metody projektowania układów. Wprawdzie napędy pneumatyczne są w podręczniku omawiane jakby dodatkowo, ale zawarte są w nim zarówno podstawy teoretyczne, jak i metody obliczeniowe napędów pneumatycznych. Uwzględniono w nim aktualny stan wiedzy i normy: ISO oraz EN. Zaprezentowana wiedza jest zobrazowana prostymi przykładami obliczeń układów pneumatycznych i wynikającym z nich doбором podstawowych elementów tych układów.

HPS 2010

VIII Międzynarodowe Targi Katowickie
Pneumatyki, Sterowania i Napędów
19-21.10.2010

Międzynarodowe Targi Katowickie zapraszają do udziału w 8. edycji Międzynarodowych Targów Hydrauliki, Pneumatyki, Sterowania i Napędów HPS 2010.

Katowicki HPS, organizowany co dwa lata to doskonała okazja do zapoznania się z krajową i zagraniczną ofertą z dziedziny systemów oraz napędów hydraulicznych i pneumatycznych, technik pomiarowych, sterowników – a także systemów automatycznych.

HPS to prezentacja najnowszych urządzeń i technologii pojawiających się na światowych rynkach.

W programie m.in.

- ♦ Seminarium naukowo – techniczne nt. „Krajowy, europejski i globalny sektor hydrauliki i pneuma-

tyki maszynowej w okresie przezwyciężania kryzysu gospodarczego” – prowadzenie Korporacja Napędów i Sterowań Hydraulicznych i Pneumatycznych

- ♦ Prelekcja pt. „Napędy hydrauliczne w przemyśle górnym z wykorzystaniem silników Hägglunds.” – prowadzenie firma Bosch-Rexroth.

Kontakt:

Kierownik Projektu
Katarzyna Wójcik
k.wojcik@mtk.katowice.pl
hps@mtk.katowice.pl
www.hps.mtk.katowice.pl
tel. + 48 32 78 99 176
tel. + 48 32 78 99 101
fax + 48 32 25 40 227

Weź udział w konkursie
i zdobądź statuetkę za

PRODUKT HPS 2010

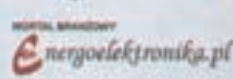
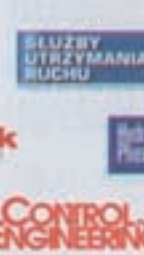
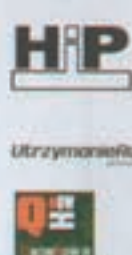
Organizatorami konkursu są:



Katowicki HPS – jedyne miejsce, gdzie rozwiniesz swoje kontakty handlowe! Zgłoś swój udział i znajdź się w centrum branżowych wydarzeń Zarejestruj się online i skorzystaj z rabatu www.hps.mtk.katowice.pl

Patronat honorowy

Patronat medialny



Międzynarodowe Targi Katowickie Sp. z o.o., 40-955 Katowice, ul. Bytkowska 1B, Polska
www.hps.mtk.katowice.pl, e-mail: hps@mtk.katowice.pl, tel. +48 32 78 99 176, 103, fax +47 32 25 40 227
Zarejestrowana w Sądzie Rejonowym w Katowicach, VIII Wydział Gospodarczy Krajowego Rejestru Sądowego
pod numerem KRS 0000049485, wysokość kapitału zakładowego: 50 000,00 zł, NIP 634-013-54-69, REGON nr 270729298

Z Jolantą Głodowską, wiceprezes firmy Laboratorium Badawcze Lotnictwa i Budownictwa Fluctus Sp. z o.o., rozmawiała Małgorzata Wiewiórowska.

Tunel drogą do sukcesu

♦ **Pneumatyka: Proszę przedstawić nam swoją firmę.**

Jolanta Głodowska: Laboratorium Badawcze Lotnictwa i Budownictwa Fluctus Sp. z o.o. powstało 17 listopada 2008 roku z inicjatywy kilku osób z branży budowlanej i pracowników Politechniki Rzeszowskiej. Celem działalności firmy jest prowadzenie badań naukowych i certyfikacji w dziedzinie nauk technicznych, ze szczególnym uwzględnieniem lotnictwa i budownictwa.

♦ **Gdzie mieści się siedziba firmy?**

W Krzemienicy koło Łańcuta, gdzie na wniosek Gminy Czarna i Powiatu Łańcuckiego ma powstać podstrefa Specjalnej Strefy Ekonomicznej EURO-PARK Mielec. Firma Fluctus kupiła tam działki na budowę hali laboratoryjnej. Na tym obszarze działają już między innymi firmy Bimex-Bollhoff i Angel Intertech.

♦ **Z jakimi instytucjami współpracuje Fluctus?**

Podpisaliśmy umowę z Politechniką Rzeszowską, dzięki której mamy możliwość korzystania z jej laboratorium. Równocześnie na terenie Politechniki budujemy stanowisko badawcze składające się z symulatora wiatru i komory badawczej, przeznaczone do badań w budownictwie, szczególnie klap dymnych i nasadek kominowych – zgodnie z normami Unii Europejskiej. Współpracujemy też z Instytutem Techniki Budowlanej w Warszawie i kilkoma firmami krajowymi, między innymi z InTech, a także ze słowacką firmą Fires.

♦ **Możecie pochwalić się jakimiś osiągnięciami?**

Wykonaliśmy kilka badań, na przykład słupów oświetleniowych dla firmy Alumast S.A. z Wodzisławia Śląskiego czy modelu samolotu dla firmy Zakłady Lotnicze Margański & Mysłowski z Bielska-Białej. Obecnie pracujemy nad wdrożeniem dwóch patentów autorstwa naszych pracowników: konstrukcji elementów zaworu pneumatycznego i przetwornika pomiarowego.

♦ **Jakie są wasze najbliższe zamierzenia?**

Planujemy wybudowanie wielkogabarytowego tunelu aerodynamicznego o obiegu zamkniętym, z przestrzenią pomiarową 10 na 12 metrów, umożliwiającego badania

obiektów lub ich modeli o dużym przekroju poprzecznym i prędkościach przepływu w przestrzeni pomiarowej do około 30 metrów na sekundę. Jest to podstawowe narzędzie w badaniach doświadczalnych własności opływowych obiektów rzeczywistych lub ich modeli. Dzięki temu firma Fluctus będzie mogła prowadzić badania eksperymentalne, których celem jest weryfikacja obliczeń teoretycznych oraz doskonalenie pod względem przepływowym nowych lub istniejących konstrukcji.

♦ **Nie obawiacie się konkurencji?**

W tej chwili zamiar budowy tunelu o podobnych parametrach ma tylko jedna firma niemiecka z branży samochodowej. Zapotrzebowanie na tego rodzaju badania jest duże, a ich koszty są w Polsce zdecydowanie niższe niż w Europie Zachodniej. Sądzę, że dzięki temu nie będziemy narzekać na brak zleceń.

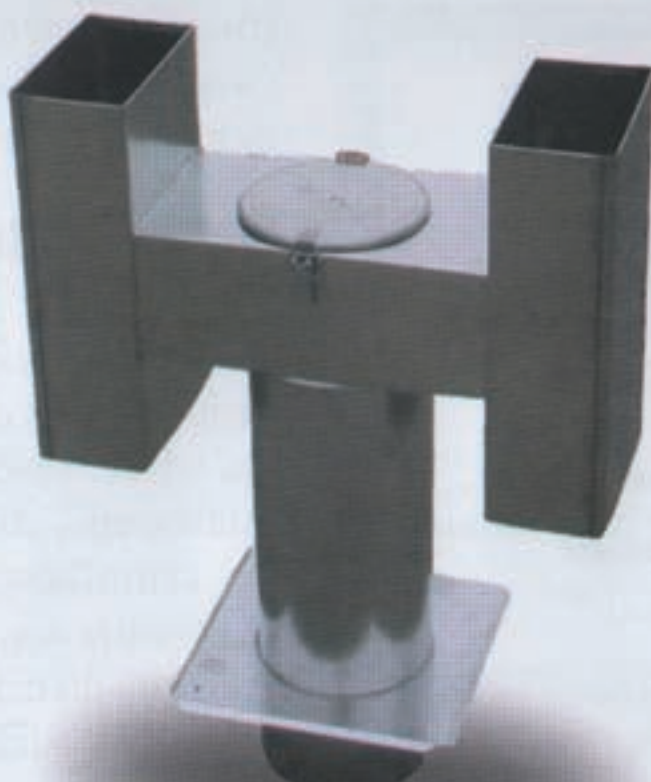
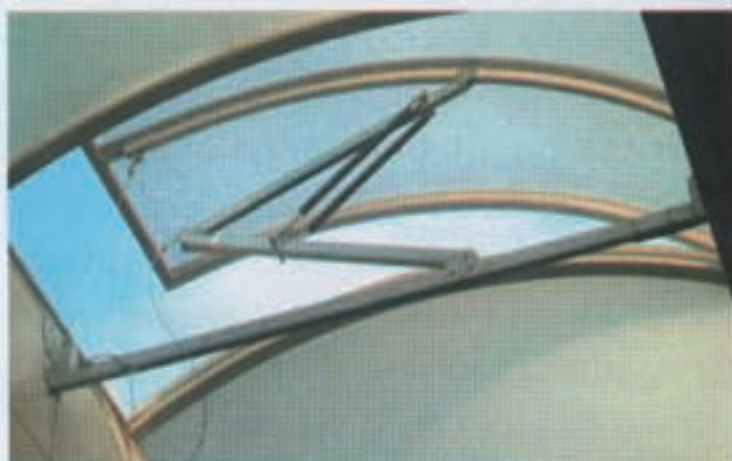
♦ **Jak liczna jest wasza kadra badawcza i czy widzicie możliwość wykorzystania potencjału intelektualnego i wiedzy dzisiejszych absolwentów opuszczających mury uczelni?**

Obecnie kadram badawczą stanowi dwóch samodzielnych pracowników, jeden doktor i dwóch magistrów, ale możemy stale korzystać z doświadczenia kadry Politechniki Rzeszowskiej, z którą ściśle współpracujemy. W przyszłości liczymy na zatrudnienie absolwentów tej uczelni, szczególnie po kierunku lotnictwo i kosmonautyka.

♦ **Jesteście młodą firmą. Jak, w czasie światowego kryzysu gospodarczego, chcecie osiągnąć mocną pozycję na rynku i stworzyć sobie możliwość aktywnego kształtowania przyszłości?**

Według mnie taką pozycję można osiągnąć przez stworzenie nowoczesnego narzędzia badawczego. W naszym przypadku jest to wspomniany wcześniej tunel aerodynamiczny, wyposażony w odpowiednią, nowoczesną aparaturę naukową. Do tego dochodzi solidna, kreatywna praca całego zespołu badawczego. Myślę, że dysponując takimi atutami, możemy osiągnąć sukces.

♦ **Dziękuję za rozmowę.**



➤ **Mirosław Rucki, Czesław Jermak, Aleksander Bogorosz**

Dynamika czujnika pneumatycznego w układach kontroli czynnej

Dynamiczne właściwości czujników pneumatycznych są uważane za jedno z poważniejszych ograniczeń w ich zastosowaniu, dlatego doskonalenie tych urządzeń jest związane przede wszystkim z polepszeniem charakterystyki dynamicznej.

Wprowadzenie

Powietrze zostało po raz pierwszy wykorzystane do pomiarów wielkości geometrycznych pod koniec pierwszej wojny światowej, ale dopiero w 1932 roku zasada pomiaru pneumatycznego została opisana naukowo (Mennesson, 1932). Ponowny wzrost zainteresowania czujnikami pneumatycznymi odnotowano na początku XXI wieku. Powodem tego jest ich niezawodność, wysoka rozdzielczość, możliwość wykonania pomiaru bezstykowego, łatwość w obsłudze i stosunkowo niska cena – atuty, które wzbudzają zainteresowanie w przemyśle już od ponad 70 lat (Hennessy, 2005). Coraz częściej sięga się do pomiarów bezstykowych również w analizie mikrogeometrii powierzchni (Minoni i Cavalli, 2008), gdzie sprawdzają się także czujniki pneumatyczne. Spełniają one również warunki odtwarzalności, ponieważ minimalizują wpływ czynnika ludzkiego na wyniki pomiarów (Wirandi i inni, 2008). Już w latach 60. XX wieku pojawiały się nowe rozwiązania o ulepszonych parametrach metrologicznych (Ped, 1961), a w latach 70. istniała cała gama różnorodnych konstrukcji bezkontaktowych czujników pneumatycznych (Sentiakow i Isupow, 1977).

Dynamiczne właściwości czujników pneumatycznych są uważane za jedno z poważniejszych ograniczeń w ich zastosowaniu, dlatego doskonalenie tych urządzeń jest związane przede wszystkim z polepszeniem charakterystyki dynamicznej. Ma to znaczenie szczególnie w układach kontroli czynnej, zwłaszcza operacyjnej, gdzie pomiar jest wykonywany bezpośrednio w czasie obróbki na stanowisku obróbczym. W takich zastosowaniach bezkontaktowe czujniki pneumatyczne spisują się najlepiej,

ponieważ są niewrażliwe na zanieczyszczenia, a dysze pomiarowe nie ulegają zniszczeniu.

Pneumatyczne pomiary w układach kontroli czynnej

Kontrola czynna oznacza wykorzystanie wyniku pomiaru obrabianego przedmiotu do sterowania procesem obróbki (Białas, 2006). Rozróżnia się kontrolę czynną przedoperacyjną (pomiar przed rozpoczęciem obróbki), operacyjną (pomiar w czasie obróbki) oraz pooperacyjną (pomiar po zakończeniu obróbki), jak również kombinacje tych odmian. W układach kontroli czynnej w czasie obróbki różnymi technologiami często stosuje się czujniki pneumatyczne. Rys. 1 przedstawia przykładowy schemat zastosowania pomiaru pneumatycznego średnicy toczzonego elementu, wykorzystywanego do sterowania napędem hydraulicznym (Yandayan i Burdekin, 1998).

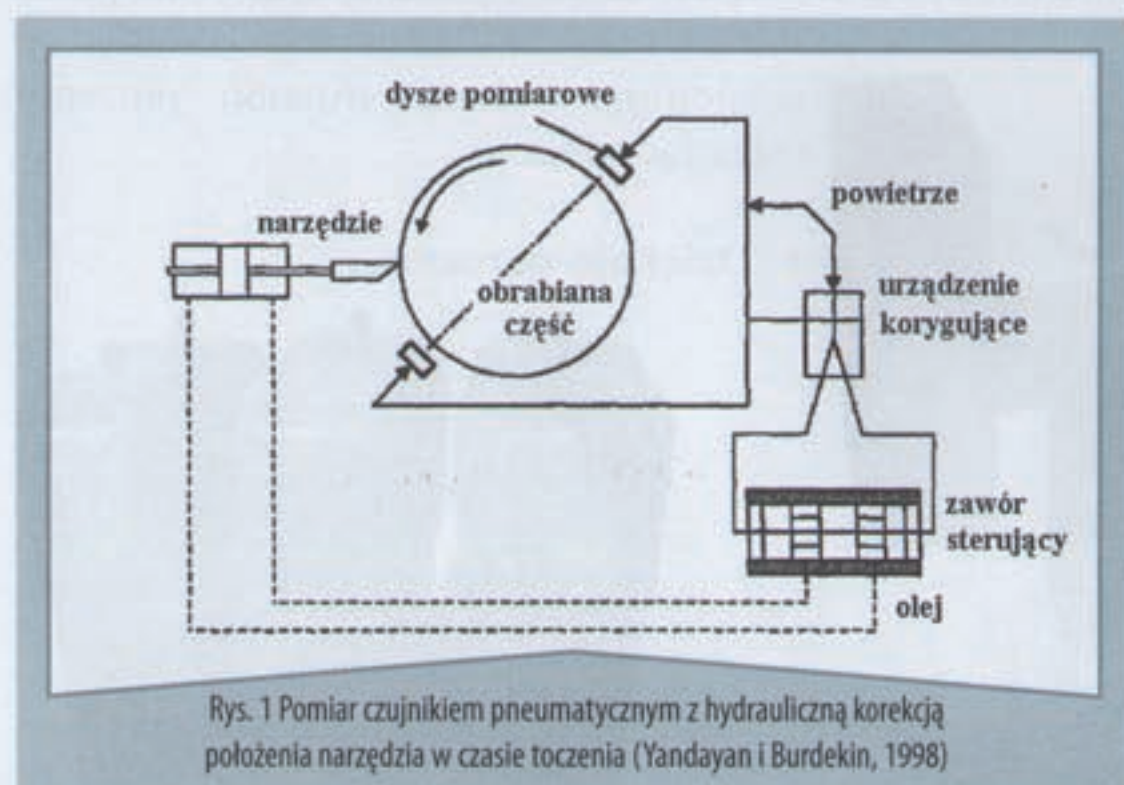
W czasie obróbki średnica mierzonego elementu ulega zmianie (zmniejsza się), co powoduje spadek ciśnienia w pneumatycznym układzie pomiarowym. Urządzenie korygujące, reagując na spadek ciśnienia pomiarowego, wywołuje działanie zaworu sterującego. Zawór uruchamia układ hydrauliczny, zmieniający nastawy ostrza skrawającego.

Czujniki pneumatyczne znajdują zastosowanie w pomiarach dynamicznych w czasie toczenia, w układach sortowania, w procesie obróbki wkładki do łożysk ślizgowych. Od dawna stosuje się pneumatyczne czujniki do kontroli czynnej w procesach honowania i szlifowania.

Wśród czynników kształtujących właściwości dynamiczne pneumatycznych czujników do pomiaru długości należy wyodrębnić przede wszystkim objętość komory pomiarowej, średnice dysz wlotowej i pomiarowej, ale również zewnętrzną średnicę czoła dyszy pomiarowej (względnie znormalizowaną szerokość czoła jako stosunek średnicy zewnętrznej do średnicy otworu dyszy).

Wpływ objętości komory pomiarowej

Zastosowanie przetworników mieszkowych, rurki Bourdona i innych mechanicznych układów znacznie pogarsza właściwości dynamiczne pneumatycznego układu pomiarowego, dlatego dalsze badania ograniczono jedynie do czujników z przetwornikiem piezorezystancyjnym. Przyjmuje się, że dynamika przetwornika ciśnienia jest zbliżona do członu inercyjnego pierwszego rzędu (Doebelin, 2003), a ich stała czasowa jest rzędu 0,1 ms.



Wpływ średnic dysz pomiarowej i wlotowej

W większości rozwiązań czujników pneumatycznych dysza wlotowa jest o zmiennej (regulowanej) powierzchni przepływu. Pozwala to regulować właściwości metrologiczne (czułość K) czujnika pneumatycznego po wymianie głowicy (inne średnice dysz pomiarowych) lub do innych zadań pomiarowych. Zmniejszenie średnic dysz pomiarowej i wlotowej wiąże się ze zmniejszeniem natężenia przepływu powietrza i w konsekwencji ze zmianami właściwości dynamicznych.

Uważa się, że stała czasowa jest proporcjonalna do czułości statycznej przetwornika pneumatycznego (Ped, 1981), zatem błąd dynamiczny czujnika pneumatycznego będzie wzrastał wraz z czułością statyczną K i ze wzrostem stałej czasowej.

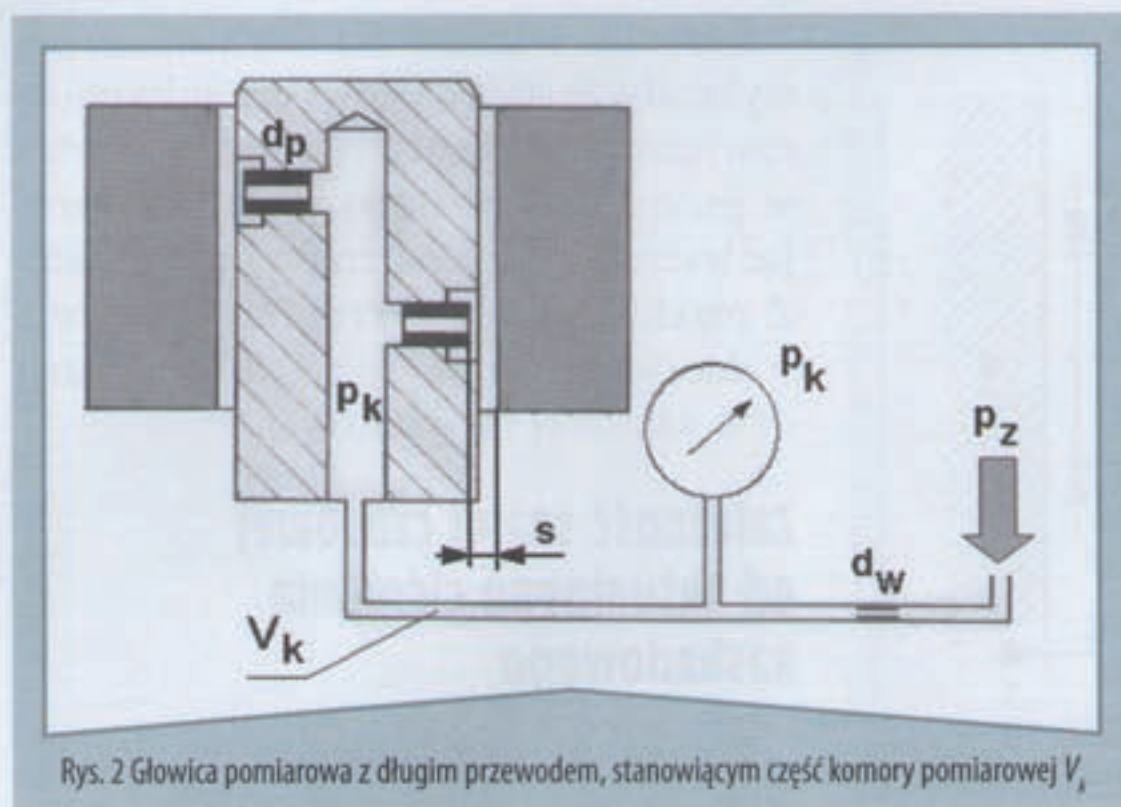
Różnica w warunkach przepływu powietrza między poszczególnymi punktami charakterystyki statycznej powoduje, że czas przejścia ciśnienia kaskadowego z wartości $p_k(s_0)$ do wartości $p_k(s_0 + \Delta s)$ może być inny w zależności od wartości s_0 (Rucki, 2007). Wynika to również z rozważań opisanych w (Kościelny i Woźniak, 1995), gdzie stała czasowa dla mniejszych początkowych nadciśnień p_0 jest inna niż dla wyższych, według proporcji:

$$T = \frac{1}{M} \left(1 - \frac{p_a}{p_0} \right) \quad (2)$$

gdzie M – współczynnik proporcji.

Wpływ czoła dyszy pomiarowej

Szerokość czoła dyszy pomiarowej odgrywa znaczącą rolę w kształtowaniu właściwości metrologicznych czujnika pneumatycznego. Przede wszystkim należy zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku swobodnego wypływu powietrza z dyszy pomiarowej sygnał pomiarowy (ciśnienie kaskadowe p_k) jest bardziej stabilny niż w sytuacji, gdy obecna jest przesłona pomiarowa, a rozprężanie powietrza zachodzi w szczelinie. Dla przykładu, w czujniku pneumatycznym z dyszą pomiarową $d_p = 2,0$ mm i wlotową $d_w = 0,8$ mm wahania ciśnienia w komorze pomiarowej sięgają 0,03-0,07



Rys. 2 Głowica pomiarowa z długim przewodem, stanowiącym część komory pomiarowej V_k

Dotyczy to również kaskady pneumatycznej, dla której stała czasowa T obliczana jest według wzoru (Kondaszewski i Lotze, 1979):

$$T = 2,7 V_k \frac{\sqrt{p_z}}{d_w} \quad (1)$$

gdzie:

V_k – objętość komory pomiarowej czujnika pneumatycznego

p_z – ciśnienie zasilania

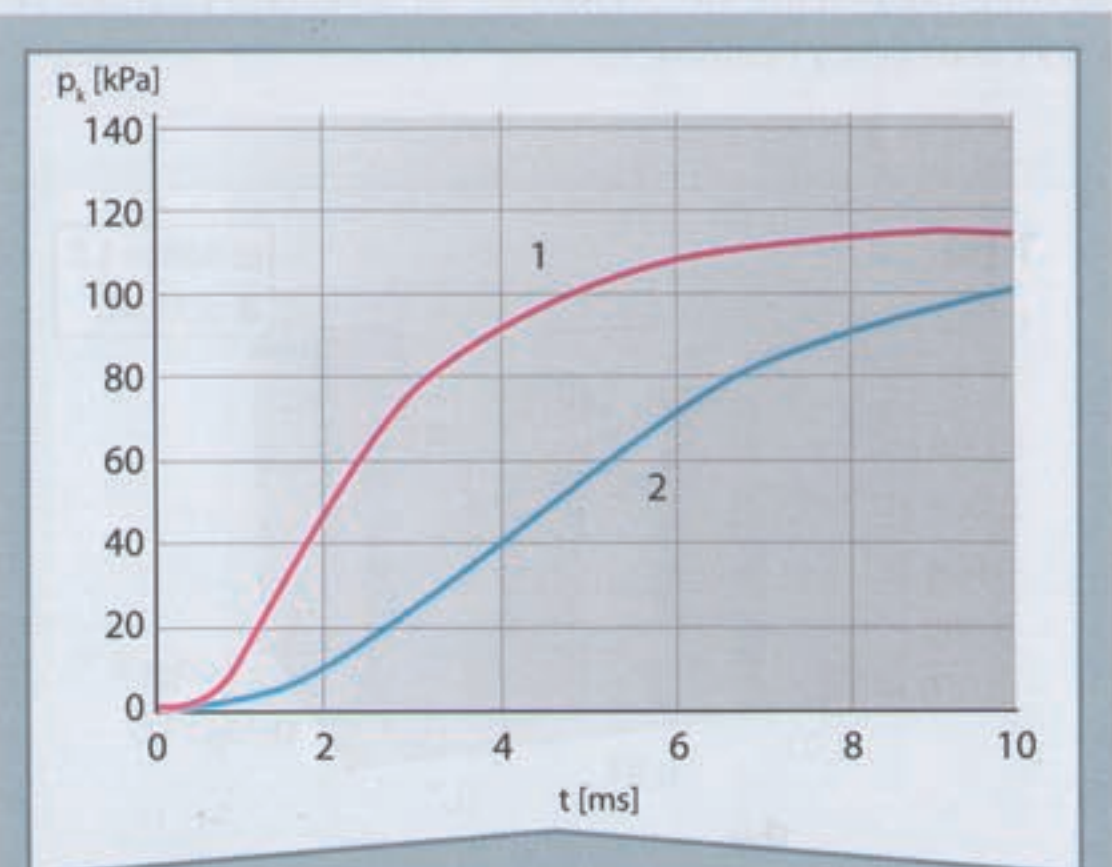
d_w – średnica dyszy wlotowej.

Podstawiając wartości objętości w cm^3 , ciśnienia w at, a średnicy w mm, otrzymuje się stałą czasową w ms. Jednak otrzymana ze wzoru (1) wartość T jest zaniżona w stosunku do rzeczywistej, co wynika z elastyczności węża, którego objętość zwiększa komorę pomiarową (rys. 2), oraz ze zmian objętości w przypadku zastosowania elementów sprężystych typu membrana lub rurka Bourdona (Kondaszewski i Lotze, 1979).

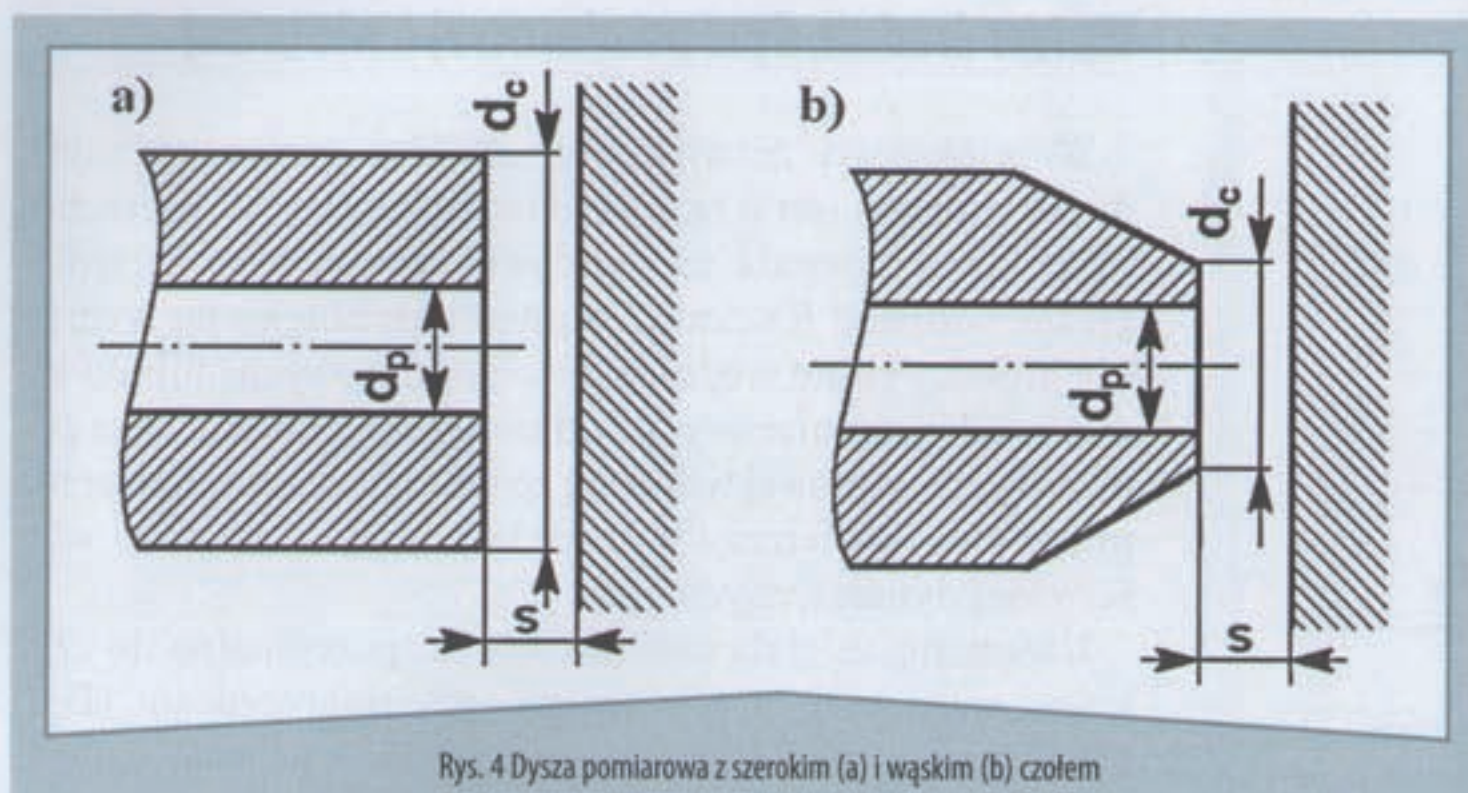
Wpływ długości linii pneumatycznej na właściwości dynamiczne był powodem do podjęcia badań czujników pneumatycznych o małych komorach pomiarowych z przetwornikiem piezorezystancyjnym wbudowanym bezpośrednio do komory pomiarowej (Jermak, 1983).

Należy zdecydowanie podkreślić, że najbardziej skuteczną metodą uzyskania lepszych właściwości dynamicznych czujnika pneumatycznego jest pozyskanie sygnału elektronicznego bezpośrednio z komory pomiarowej o zmniejszonej objętości (z wyłączeniem z niej przewodu łączącego głowicę pomiarową z czujnikiem). Model i badania takiego czujnika zostały opisane w pracy (Rucki i inni, 2010). Na rys. 3 przedstawiono wykresy odpowiedzi na wymuszenie skokowe tego samego czujnika, tylko w przypadku (1) piezorezystancyjny przetwornik ciśnienia został wmontowany bezpośrednio w ściankę komory pomiarowej, zaś w przypadku (2) połączony z komorą pomiarową rurką o długości 30 mm i średnicy 2 mm.

Z racji zmniejszenia komory pomiarowej i zastosowania czujników piezorezystancyjnych w praktyce wydaje się uzasadnione traktowanie kaskady pneumatycznej czujnika pomiarowego jako członu pierwszego rzędu (Rucki, 2007).



Rys. 3 Odpowiedź na wymuszenie skokowe czujnika pneumatycznego: (1) zintegrowanego z przetwornikiem ciśnienia, (2) z przetwornikiem oddalonym od komory pomiarowej

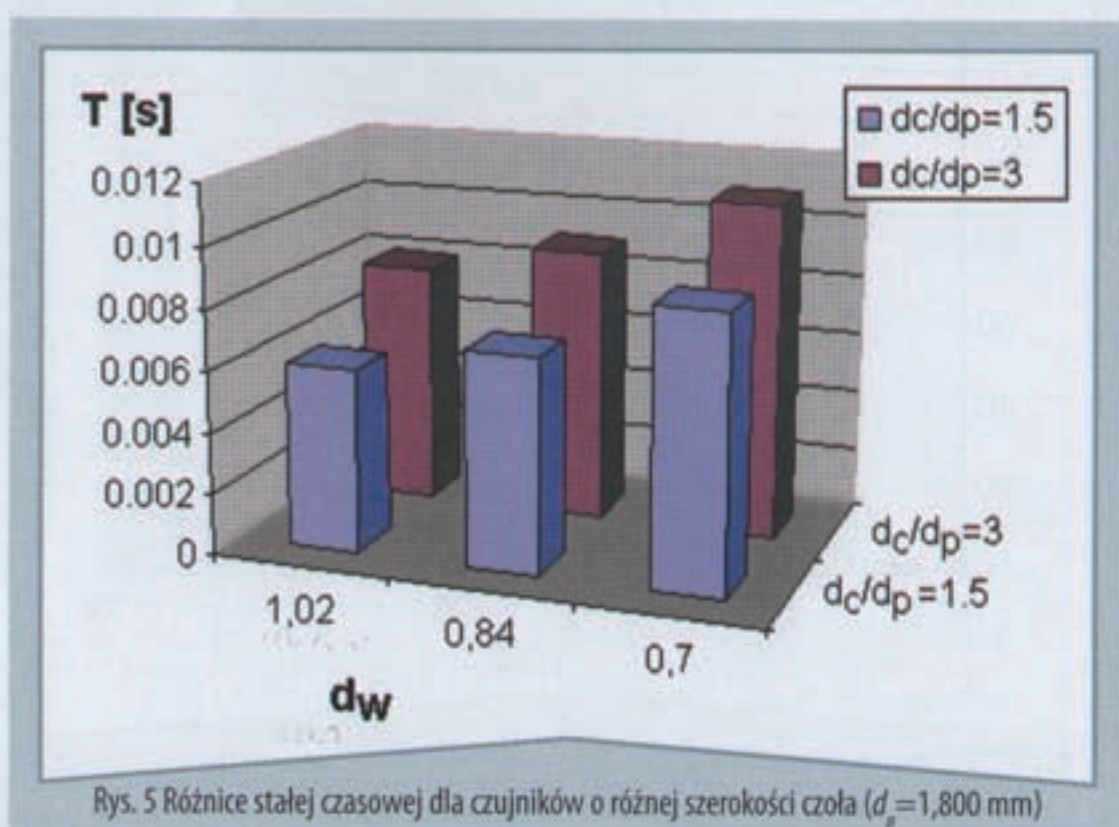


Rys. 4 Dysza pomiarowa z szerokim (a) i wąskim (b) czołem

kPa, co odpowiada wielkości około $0,1 \mu\text{m}$ mierzonej długości. Dla czujnika o większym przepływie ($d_p = 2,0 \text{ mm}$ i $d_w = 1,21 \text{ mm}$) wahania te są większe i sięgają $0,06\text{--}0,25 \text{ kPa}$. Ponieważ czujnik ten posiada czułość $K=0,43 \text{ kPa}/\mu\text{m}$, zakłócenia odpowiadałyby już wielkości ponad $0,5 \mu\text{m}$.

Wielkość czoła dyszy pomiarowej wywiera znaczący wpływ na zjawiska towarzyszące rozprężaniu powietrza w szczelinie pomiarowej. Istotną rolę odgrywa również sposób przejścia z powierzchni otworu dyszy w powierzchnię czołową. Oprócz najczęściej spotykanego przejścia ostrokrawędziowego spotyka się również stożkowe oraz promieniowe. Geometria dyszy pomiarowej kształtuje przebieg rozprężania powietrza, a tym samym wpływa również na charakterystykę metrologiczną czujnika: na jej czułość, zakres pomiarowy oraz nacisk pomiarowy (Jermak i Rucki, 2005). Na rysunku 4 pokazano przykładowe dysze pomiarowe o szerokim i wąskim czołe.

Wpływ ten można krótko scharakteryzować w oparciu o ważniejsze parametry wykresu $K=f(s)$, a mianowicie: maksymalną wartość K_{max} na wykresie, obecność gwałtownych skoków oraz długość odcinka prostoliniowego odpowiadającego zakresowi pomiarowemu czujnika. Zmniejszenie czoła zawsze powoduje obniżenie wartości K_{max} (spowodowane wzrostem oporów przepływu α_p) – nawet o 20%. Przy większych czołach zjawisko przemieszczenia strumienia powietrza przebiega na tyle gwałtownie, że powoduje pojawienie się „skoków” na wykresie charakterystyki statycznej i czułości.



Rys. 5 Różnice stałej czasowej dla czujników o różnej szerokości czoła ($d_p=1,800 \text{ mm}$)

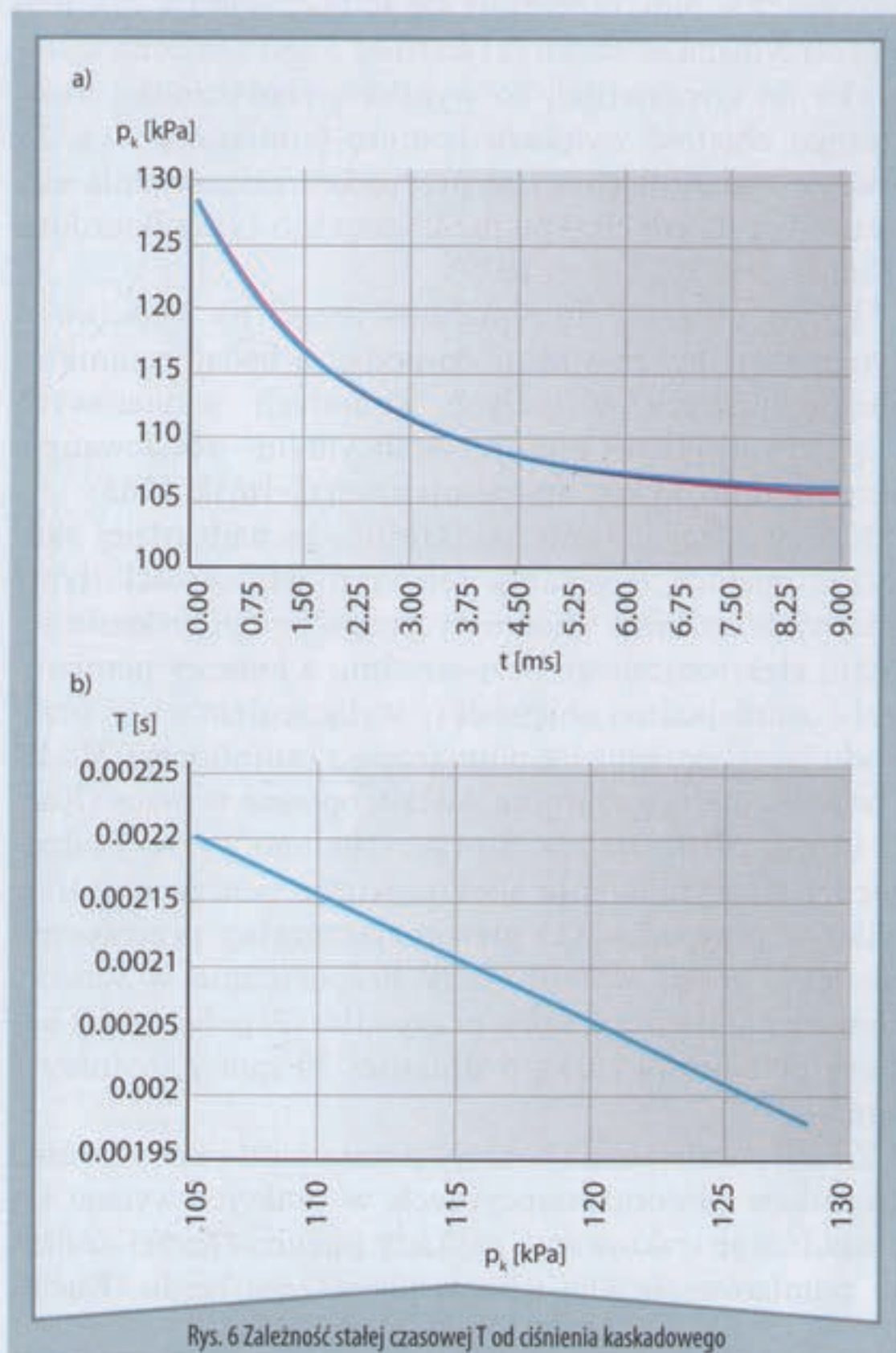
Badania właściwości dynamicznych wykazały, że stała czasowa czujnika pneumatycznego z reguły jest nieco większa w przypadku szerszego czoła (zachowując wszystkie inne parametry bez zmian). Z przykładowego wykresu na rysunku 5 widać, że dotyczy to różnych kombinacji dysz wlotowej i pomiarowej.

Zależność stałej czasowej od aktualnego ciśnienia kaskadowego

Na rys. 6a przedstawione są wykresy odpowiedzi na wymuszenie skokowe zestawu, gdzie dysza wlotowa i pomiarowa $d_p = d_w = 1,21 \text{ mm}$ (wąskie czoło $d_c/d_p = 1,5$), z pominięciem czasu trwania zmiany wymuszenia. Błąd aproksymacji nie przekracza 3%. W wyniku obliczeń $T = f(p_k)$ z uwzględnieniem zależności (2) uzyskano zmienność stałej czasowej w zakresie od $T = 1,98 \text{ ms}$ dla ciśnienia kaskadowego 128 kPa – do $T = 2,20 \text{ ms}$ dla $p_k = 106 \text{ kPa}$. Wyniki te są zbliżone z wynikami uzyskanymi eksperymentalnie z wymuszenia sinusoidalnego. Funkcję $T = f(p_k)$, przedstawioną graficznie na rys. 6b, można opisać równaniem prostej:

$$T = -0,010p_k + 3,212$$

z którego po podstawieniu nadciśnienia p_k w kPa uzyskuje się wartość T w ms.



Rys. 6 Zależność stałej czasowej T od ciśnienia kaskadowego

W praktyce pomiarowej w układach kontroli czynnej z reguły mierzony wymiar systematycznie się zmniejsza w wyniku obróbki (jak np. w sytuacji na rys. 1). Powoduje to ciągły spadek ciśnienia pomiarowego p_k do wartości zadanej, sygnalizującej koniec procesu. Oznacza to, że najbardziej odpowiedzialnym fragmentem zakresu pomiarowego z_p jest jego koniec, odpowiadający najmniejszym wartościom ciśnienia pomiarowego p_k . W związku z tym należy uwzględnić zależność stałej czasowej – zarówno od aktualnej wartości ciśnienia, jak i od kierunku jego zmiany (spadek).

Wnioski

Badania stałej czasowej potwierdziły, że jej wartość zależy od aktualnego ciśnienia w komorze pomiarowej, czyli zmienia się wraz ze zmianą wielkości mierzonej. Ma to ogromne znaczenie dla układów kontroli czynnej operacyjnej, gdzie pomiar jest wykonywany w czasie obróbki. Błąd dynamiczny czujnika wzrasta w miarę zwiększenia ciśnienia kaskadowego, co odpowiada zmniejszeniu wymiaru obrabianego przedmiotu. Największy błąd dyna-

miczny czujnika pneumatycznego zostanie osiągnięty pod koniec obróbki ubytkowej, kiedy wymiar mierzony jest najmniejszy. Jest to obszar najbardziej odpowiedzialny, gdyż właśnie wtedy wynik pomiaru decyduje o przełączeniu układu sterującego.

dr inż. Mirosław Rucki, dr inż. Czesław Jermak

Politechnika Poznańska
Instytut Technologii Mechanicznej
pl. M. Curie-Skłodowskiej 5, 60-965 Poznań

e-mail: mirosław.rucki@put.poznan.pl
e-mail: cz.jermak@interia.pl

Aleksander Bogorosz

Narodowy Uniwersytet Ukrainy
„Kijewski Instytut Politechniczny”
prospekt Peremogi 37, 03056 Kijów

e-mail: fondfti@ntu-kpi.kiev.ua

» Literatura

1. **Białas S.:** *Metrologia techniczna z podstawami tolerowania wielkości geometrycznych dla mechaników*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
2. **Doebelin E.O.:** *Measurement Systems: Application and Design*. 5th ed., McGraw-Hill Science/Engineering/Math, New York, 2003.
3. **Hennesy R.:** *Use air to improve measurements; manufacturers turn to air gaging for high-resolution measurements*, Quality Magazine (May) pp. 30-33, 2005.
4. **Jermak Cz. J.:** *Analiza wybranych właściwości metrologicznych dwukaskadowego czujnika pneumatycznego, zintegrowanego z piezorezystancyjnym przetwornikiem ciśnienia*. Praca doktorska, Poznań, 1983.
5. **Jermak Cz., Rucki M.:** *Metrologiczne aspekty stosowania czujników pneumatycznych*. Inżynieria Maszyn R.10, z. 3, s. 138-147, 2005.
6. **Kondaszewski W.W. i Lotze W.:** *Urządzenia pomiarowo-sterujące obrabiarek*. WNT, Warszawa, 1979.
7. **Kościelny W. i Woźniak C.:** *Eksperymentalna ocena modeli przepływu w oporach pneumatycznych*. Materiały konferencji PNEUMA'95, Koszalin-Kielce, s. 83-92, 1995.
8. **Mennesson M.:** *Methode de Mesure de Haute Precision des Longueurs et Epaisseurs*. Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences 194 (25.4.1932), pp. 1459-1461, 1932.
9. **Minoni U., Cavalli F.:** *Surface quality control device for on-line applications*, Measurement No 41, pp. 774-782, 2008.
10. **Ped E.I.:** *Szyrokopredelnyj pnevmatičeskij pribor dla awtomatičeskogo kontorola*. Izmeritelnaja tehnika nr 12, s. 12-14, 1961.
11. **Ped E.I.:** *Optimizacija wybora konstruktivnyh elementow pnevmatičeskich preobrazowatelej pri dinamičeskich izmerenijah*. Izmeritelnaja tehnika nr 7, s. 29-31, 1981.
12. **Rucki M., Barisic B., Varga G.:** *Air Gauges as a Part of the Dimensional Inspection Systems*. Measurement Vol. 43, Issue 1, pp. 83-91, 2010.
13. **Rucki M.:** *Step Response of the Air Gauge*, Metrology and Measurement Systems Vol. 14, No. 3, pp. 429-436, 2007.
14. **Sentiakow B.A. i Isupow G.P.:** *Klassifikacija beskontaktnych pnevmatičeskich datčikow położenija*. Stanki i instrument Nr 1, s. 27-28, 1977.
15. **Tanner C.J.:** *Air gauging – history and future developments*. „Institution of Production Engineers Journal”, Vol. 37, Issue 7, pp. 448-462, 1958.
16. **Wirandi J. i inni:** *Human factor validation in an industrial measurement system*, Measurement No 41, pp. 705-718, 2008.
17. **Yandayan T. i Burdekin M.:** *In-process dimensional measurement and control of workpiece accuracy*. „International Journal of Machine Tools and Manufacture”, Vol. 37, Issue 10, pp. 1423-1439, 1997.

➤ Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z zastosowaniem pneumatycznych urządzeń pomiarowych w układach kontroli czynnej. Omówiono czynniki wpływające na właściwości dynamiczne czujnika pneumatycznego, wśród których wyodrębniono przede wszystkim objętość komory pomiarowej, średnice dysz wlotowej i pomiarowej, a także nieanalizowany dotąd w literaturze wpływ szerokości czoła dyszy pomiarowej na stałą czasową. Badania stałej czasowej potwierdziły, że jej wartość zależy również od aktualnego ciśnienia w komorze pomiarowej, czyli zmienia się wraz ze zmianą wielkości mierzonej. Ma to ogromne znaczenie dla układów kontroli czynnej w czasie obróbki. Błąd dynamiczny czujnika wzrasta bowiem w miarę zwiększenia ciśnienia kaskadowego, co odpowiada zmniejszeniu wymiaru obrabianego przedmiotu.

➤ Summary

DYNAMICS OF AN AIR GAUGE DESIGNED FOR IN-PROCESS CONTROL

In the paper, the application of the air gauges in the systems of in-process control is described. The factors of high influence on the dynamical characteristics of the air gauges underwent analysis. Among them, the measuring chamber volume was pointed out, as well as the inlet and measuring nozzles diameters. Additionally, the measuring nozzle head surface was taken into consideration, whose influence on the time constant of air gauge has never been analyzed in the publications. Investigations confirmed also that the time constant depends on the actual back-pressure in the measuring chamber. That means, that during the measurement of a machined detail, the dynamic characteristic of the air gauge are changing together with the measured dimension changes.

Namierz dobrą drogę z Targami Kielce (28-30 IX 2010 r.)

Swoje stoiska na targach CONTROLTECH mają największe w Polsce firmy zajmujące się dystrybucją pomiarowych maszyn współrzędnościowych oraz ręcznych przyrządów pomiarowych. Odwiedza je coraz więcej kontrahentów, chcących nawiązać kontakty biznesowe, jak i przedstawiciele szeroko pojętej nauki, zainteresowanych nowościami rynkowymi i poszerzaniem wiedzy.



Podczas tegorocznych, listopadowych targów można zobaczyć między innymi twardościomierze, mikroskopy inspekcyjne i pomiarowe, urządzenia do pomiaru chropowatości, wagi przemysłowe, narzędzia, wiskozymetry laboratoryjne i przemysłowe oraz wiele innych urządzeń związanych z kontrolą jakości i pomiarami.

Na stoiskach pojawia się wiele nowości i rynkowych hitów. W 2010 roku będzie można zobaczyć między innymi ofertę firmy Carl Zeiss, która zaprezentuje kompletne rozwiązania systemowe najwyższej jakości, a wśród nich maszyny pomiarowe dla produkcji, portalowe maszyny pomiarowe, metrotomografy czy wysięgnikowe maszyny pomiarowe. Z kolei firma Faro zademonstruje całą gamę urządzeń: FARO Arm, FARO ScanArm, FARO Gage, FARO Laser Tracker ION oraz FARO Laser Scanner Proton. W ofercie tego producenta znajdują się także przenośne systemy pomiarowe 3D. PCB Service to najnowocześniejsze rozwiązania z zakresu badań radiograficznych, które umożliwiają wykrywanie wad wewnętrznych, powierzchniowych oraz podpowierzchniowych badanych obiektów.

Czołowy polski producent zaworów przemysłowych, firma Varimex, zaprezentuje wszystkie nowości związane między innymi z armaturą przemysłową. Natomiast najmocniejszym punktem kolejnego z wystawców – firmy Struers – jest opracowywanie i produkcja urządzeń laboratoryjnych półautomatycznych i automatycznych różnej wielkości, przeznaczonych do przemysłowych laboratoriów badawczo-rozwojowych i kontroli jakości. Bogate doświadczenie metalograficzne pozwoliło Struersowi na opracowanie urządzeń łączących w sobie możliwie najlepszą jakość uzyskiwanej preparatyki z niespotykaną łatwością obsługi.

Kieleckie targi CONTROL-TECH są doskonałym połączeniem świata nauki i biznesu. Ze względu na duże zainteresowanie imprezą, wystawa przemysłowych technik pomiarowych odbywa się w Kielcach również w sezonie wiosennym i towarzyszy m.in. Salonowi Technologii Obróbki Metali STOM.

Równolegle do jesiennej edycji targów CONTROL-TECH odbywają się także Międzynarodowe Targi Technologii dla Odlewnictwa METAL oraz Międzynarodowe Targi Aluminium i Technologii, Materiałów i Produktów Metali Nieżelaznych ALUMINIUM&NONFERMET.

➤ Szymon Grymek, Tomasz Kiczowski

Jedną z wielkości wykorzystywanych do opisu właściwości przepływowych elementu pneumatycznego jest współczynnik wymiarowy K_v . Jego znajomość umożliwia wyznaczenie wartości strumienia objętości powietrza, o ile znane są wartości ciśnień statycznych przed i za elementem.

Ciśnienia statyczne a ciśnienia spiętrzenia w modelach strumienia objętości wykorzystujących współczynnik wymiarowy K_v

Wprowadzenie

Do wyznaczania strumienia masy bądź strumienia objętości czynników ściśliwych wykorzystywanych jest wiele formuł. Niektóre są funkcjami ciśnień statycznych; inne ciśnień spiętrzenia. Podczas pomiaru ciśnienia statycznego zaniebuje się ruch płynu (ciśnienie dynamiczne). Ciśnienie spiętrzenia mierzy przy braku przepływu – tzn. średnia prędkość cząstek płynu jest zerowa.

Z punktu widzenia zastosowania wspomnianych formuł w komputerowej symulacji układów pneumatycznych istotnym wydaje się problem utożsamiania ciśnień statycznych i ciśnień spiętrzenia. W literaturze praktycznie analizowany jest tylko jeden przypadek – zastąpienie w formułach wykorzystujących ciśnienia spiętrzenia p_0 ciśnieniem p_1 (rys. 1).

W *Pneumatische Antriebe* (1991) podano informację jakościową, że dla wypływu powietrza przez dyszę błąd wspomnianego zastąpienia jest nieduży jeżeli pole otworu dyszy jest znacznie mniejsze od pola przekroju przewodu zasilającego. Bialas podał, że ciśnienia p_0 i p_1 nie różnią się więcej niż 3,5% jeżeli średnica dyszy to 70% średnicy przewodu lub mniej (za Beater, 2007), a Andersen – że nie więcej niż 1% jeżeli stosunek średnicy przewodu do średnicy otworu dyszy jest większy od 2,212 (za Beater, 2007). W dynamice gazów dla przepływów jednowymiarowych traktuje się ten błąd jako pomijalnie mały gdy liczba Macha

dla danego przepływu nie przekracza wartości 0,2 (Jungowski, 1978) lub średnia prędkość powietrza jest mniejsza od 40 m/s (Szargut, 2000).

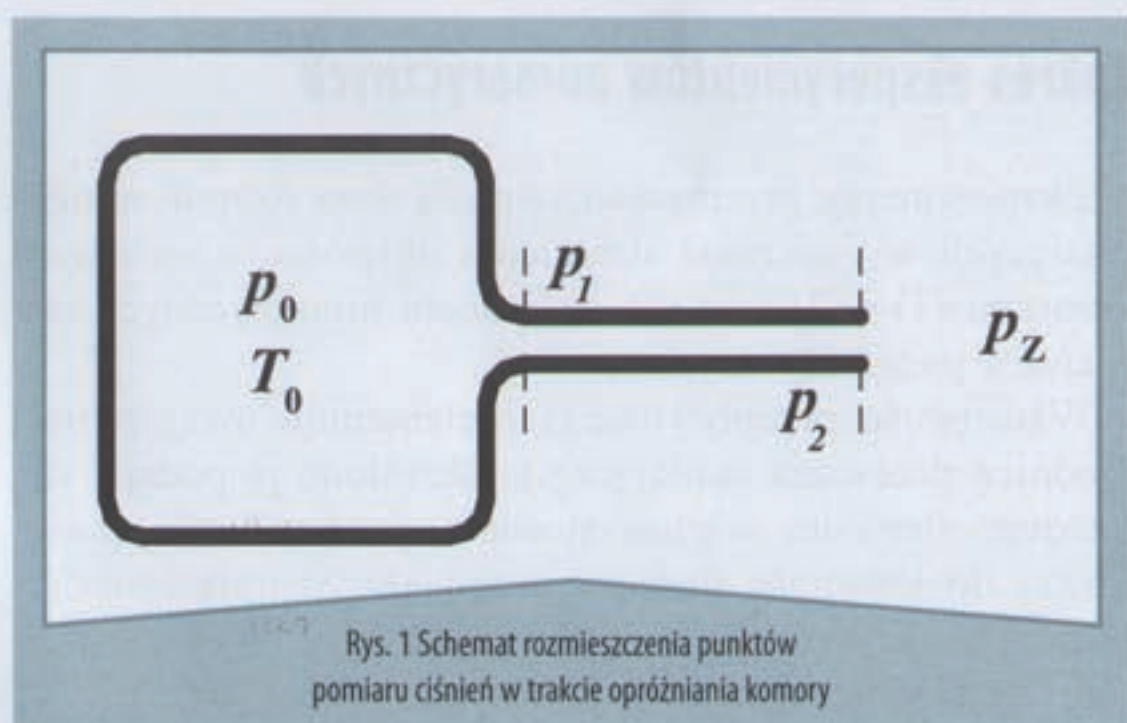
W obliczeniach symulacyjnych układu pneumatycznego, gdzie mamy do czynienia z elementami o przewidywalnym zakresie oporów, określonymi wielkościami opisującymi ich właściwości przepływowe i konkretnymi formułami umożliwiającymi wyliczenie strumienia masy bądź strumienia objętości, bezpośrednie zastosowanie podawanych w literaturze wyników jest w znacznym stopniu utrudnione. Wyrazem tego jest analiza jaką wykonał Iwaszko (1999). Określił on wpływ zastąpienia ciśnienia p_0 ciśnieniem p_1 we wzorze Saint-Venanta i Wantzela dla oporu pneumatycznego o właściwościach przepływowych zdefiniowanych przy pomocy przewodności dźwiękowej C i krytycznego stosunku ciśnień b , zasilanego przez rurę o średnicy d dla pełnego zakresu zmian stosunku ciśnień p_z/p_0 .

W niniejszej pracy przedstawiono wpływ zastąpienia ciśnień statycznych (p_1 i p_2) ciśnieniami spiętrzenia (p_0 i p_z) w dwóch formułach wykorzystujących współczynnik wymiarowy K_v [m^3/h], dla hipotetycznego elementu pneumatycznego o właściwościach przepływowych określonych przez wartości C [$\text{m}^3/\text{s}/\text{Pa}$], b [-] i d [m].

Współczynnik wymiarowy K_v

Współczynnik wymiarowy K_v został wprowadzony w 1944 roku przez firmę Masoneilan. Jego ścisłą definicję i metodykę pomiaru po raz pierwszy podano w 1962 roku w normie VID/VDE 2173 (1962). Według niej współczynnik K_v jest to takie objętościowe natężenie przepływu w m^3/h cieczy (płynu nieściśliwego) o gęstości $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ i lepkości kinematycznej $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, która przepływając przez element wywołuje stratę ciśnienia równą $1 \text{ kG}/\text{cm}^2$ (obecnie 105 Pa).

Formułę określającą strumień objętości płynu nieściśliwego dla znanego współczynnika wymiarowego K_v [m^3/h] przy dowolnej wartości spadku ciśnienia na elemencie i gęstości płynu można określić wychodząc z równania Bernoulliego. W przypadku płynu ściśliwego (np. powietrza) konieczne są dodatkowe założenia co do parametrów stanu płynu przed



i za elementem. Wskutek tego może istnieć kilka takich formuł. Do analizy przyjęto dwie z nich:

$$Q_{Nfiz} = \frac{K_V}{385,2} \cdot \frac{p_1}{\sqrt{T_0 \cdot \rho_{Nfiz}}} \cdot \Phi(\varepsilon) \quad (1)$$

$$\Phi(\varepsilon) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } \varepsilon \leq 0,5 \\ 2 \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot (1-\varepsilon)} & \text{gdy } \varepsilon > 0,5 \end{cases}$$

$$Q_{Nfiz} = \frac{K_V}{192,6} \cdot \frac{p_1}{\sqrt{T_0 \cdot \rho_{Nfiz}}} \cdot \Phi(\varepsilon) \quad (2)$$

$$\Phi(\varepsilon) = \sqrt{1-\varepsilon}$$

gdzie:

Q_{Nfiz} – strumień objętości płynu w warunkach normalnych fizycznych ($T_{Nfiz} = 273,15 \text{ K}$ i $p_{Nfiz} = 101\,325 \text{ Pa}$) [m^3/h]

ρ_{Nfiz} – gęstość płynu w tych warunkach [kg/m^3]

T_0 – temperatura płynu na wlocie do elementu [K]

ε – stosunek ciśnienia p_2 [Pa] na wylocie z elementu do ciśnienia p_1 [Pa] na wlocie.

Wzór (1) jest zgodny ze wzorem z nieobowiązującej już normy PN-83/M-74201. Wzór (2) podał Kamiński (2007); wg niego jest on zgodny ze wzorem z obowiązującej od 2001 roku normy PN-EN 60534.

Zastąpienie ciśnień statycznych ciśnieniami spiętrzenia

Czynnik ściśliwy o ciśnieniu p_0 i temperaturze T_0 wpływa poprzez opór pneumatyczny do przestrzeni w której panuje ciśnienie p_z (rys. 1). Na wlocie do oporu pneumatycznego panuje ciśnienie p_1 , a na jego wylocie p_2 . Należy ocenić wpływ zastąpienia ciśnień p_1 i p_2 ciśnieniami p_0 i p_z na wartość strumienia objętości Q_{Nfiz} wyznaczonego ze wzoru (1) bądź (2).

Podstawy teoretyczne

Do oceny błędu spowodowanego zastąpieniem ciśnień statycznych ciśnieniami spiętrzenia przyjęto następująco zdefiniowaną miarę względną:

$$\delta = \frac{Q(p_0, p_z) - Q(p_1, p_2)}{Q(p_1, p_2)} \cdot 100\% \quad (3)$$

Podstawiając do (3), w miejsce strumienia objętości Q , formułę (1) bądź (2) otrzymujemy:

$$\delta = \left(\frac{\frac{p_0}{p_1} \cdot \frac{\Phi\left(\frac{p_z}{p_0}\right)}{\Phi\left(\frac{p_2}{p_1}\right)} - 1 \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

gdzie Φ to funkcja ekspansji z formuły (1) bądź (2).

Założono, że czynnikiem jest powietrze traktowane jako gaz doskonały, przepływ jest jednowymiarowy i może być traktowany jako quasi ustalony oraz że brak jest wymiany energii i masy między strugą powietrza i otoczeniem. Właściwości przepływowe analizowanego oporu pneumatycznego określone są przez wartości przewodności dźwiękowej C [$\text{m}^3/\text{s}/\text{Pa}$] i krytycznego stosunku ciśnień b [-], a zasilany jest on przez przewód o średnicy d [m].

Stosunek ciśnienia spiętrzenia p_0 do ciśnienia statycznego p_1 można przedstawić jako funkcję liczby Macha M_1 (w przekroju strugi w którym panuje ciśnienie p_1) i wykładnika adiabaty κ (Jungowski, 1978):

$$\frac{p_0}{p_1} = \left(1 + \frac{\kappa-1}{2} \cdot M_1^2 \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad (5)$$

W warunkach przepływu podkrytycznego ciśnienie spiętrzenia p_z równe jest ciśnieniu p_2 . Wykorzystując tę zależność wzór (5) można przekształcić do postaci:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_z}{p_0} \cdot \left(1 + \frac{\kappa-1}{2} \cdot M_1^2 \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} \quad (6)$$

Jednocześnie stosunek ciśnienia p_2 do ciśnienia p_1 można przedstawić w postaci [9]:

$$\frac{p_2}{p_1} = b + (1-b) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\pi \cdot M_1 \cdot \sqrt{\kappa R T_N}}{4 \cdot p_N \cdot \frac{C}{d^2}} \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{\kappa-1}{2} \cdot M_1^2 \right)} \quad (7)$$

gdzie:

T_N, p_N – temperatura i ciśnienie w warunkach znormalizowanej atmosfery odniesienia ANR (293,15 K i 100000 Pa)

R – indywidualna stała gazowa powietrza.

Algorytm obliczania wartości błędu względnego δ można przedstawić następująco:

1. z układu równań (6) i (7) wyznaczyć wartości M_1 oraz p_2/p_1 ,
2. ze wzoru (5) wyznaczyć wartość p_0/p_1 ,
3. ze wzoru (4) wyznaczyć wartość δ .

Zakres eksperymentów numerycznych

Eksperymenty przeprowadzono dla dwu formuł umożliwiających wyznaczenie strumienia objętości, a opisanych wzorami (1) i (2) oraz dla dziewięciu hipotetycznych elementów pneumatycznych.

Właściwości przepływowe tych elementów uwzględniają średnicę przewodu zasilającego. Określono je podając dla każdego elementu wartość stosunku przewodności dźwiękowej do kwadratu średnicy przewodu zasilającego C/d^2 [$\text{s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}$] i krytyczny stosunek ciśnień b [-]. Wybrane wartości zestawiono w tab. 1.

Tab. 1 Zestawienie właściwości przepływowych analizowanych oporów pneumatycznych

Nr	C/d^2 [s·m ⁴ /kg]	b [-]
1	0,0015	0,1
2	0,0015	0,5
3	0,0015	0,8
4	0,0005	0,1
5	0,0005	0,5
6	0,0005	0,8
7	0,0001	0,1
8	0,0001	0,5
9	0,0001	0,8

Wybrane wartości C/d^2 odpowiadają wartościom rzeczywistych oporów pneumatycznych (elementów instalacji pneumatycznej). W przypadku krytycznego stosunku ciśnień b jego wartość dla pojedynczych elementów pneumatycznych rzadko przekracza 0,6 – np. większość rozdzielaczy pneumatycznych ma wartość b w zakresie od 0,2 do 0,25. W przypadku szeregowego połączenia kilku oporów pneumatycznych (analizy instalacji pneumatycznej) wartość b rzadko przekracza wartość 0,2, a często przyjmuje się, że jest równa 0,0.

Wyniki obliczeń

Na rys. 2, 3 i 4 oraz 5, 6 i 7 przedstawiono wyniki obliczeń błędu względnego δ w funkcji stosunku ciśnień p_z/p_0 uzyskane z zastosowaniem odpowiednio formuły (1) bądź formuły (2).

Na każdym z rys. zaprezentowano wyniki dla trzech oporów pneumatycznych o identycznej wartości C/d^2 , ale różnej wartości b . Rysunek 4, ze względu na duże różnice uzyska-

nych wartości δ dla różnych wartości b , został narysowany w skali logarytmicznej.

W tabelach 2 i 3 zestawiono minimalne i maksymalne wartości błędu względnego δ oraz odpowiadające im wartości (lub zakresy wartości) stosunku ciśnień p_z/p_0 odpowiednio dla formuły (1) i formuły (2). Numeracja wierszy w obu tabelach odpowiada numeracji oporów pneumatycznych w tab. 1.

Analiza wyników

Analizując wyniki uzyskane z zastosowaniem formuły (1) stwierdzono, że:

1. dla oporów pneumatycznych określonych wartościami $C/d^2 \leq 0,0015$ s·m⁴/kg oraz $b \leq 0,5$ wartość błędu względnego δ nie przekracza wartości 4,7% w całym zakresie stosunku ciśnień p_z/p_0 (tj. zarówno dla przepływu podkrytycznego, jak i krytycznego),
2. wzrost wartości C/d^2 (czyli wzrost wartości przewodności dźwiękowej C oporu pneumatycznego lub zmniejszenie średnicy przewodu zasilającego d) zawsze powoduje wzrost błędu względnego δ ,
3. wzrost wartości krytycznego stosunku ciśnień b zawsze skutkuje wzrostem błędu względnego δ ,
4. zarówno minimalne, jak i maksymalne wartości błędu względnego δ występują zarówno w zakresie przepływu podkrytycznego, jak i krytycznego,
5. zakresy stałej wartości błędu względnego δ występują jedynie dla przepływu krytycznego,
6. na wszystkich wykresach można zaobserwować punkty charakterystyczne dla $p_z/p_1 = b$ oraz $p_z/p_1 = 0,5$ (wartość charakterystyczna dla funkcji ekspansji formuły (1)).

Analizując wyniki uzyskane z zastosowaniem formuły (2) stwierdzono, że:

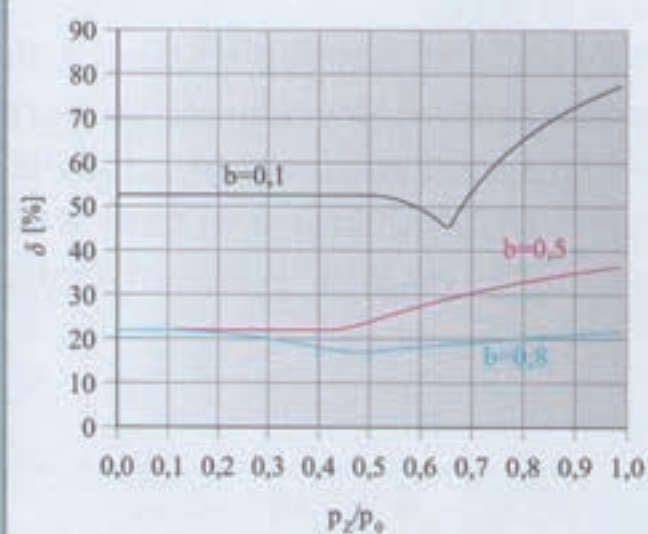
1. jedynie dla oporu pneumatycznego o minimalnych analizowanych właściwościach przepływowych ($C/d^2 =$

Tab. 2 Minimalne i maksymalne wartości błędu względnego δ uzyskane dla formuły (1)

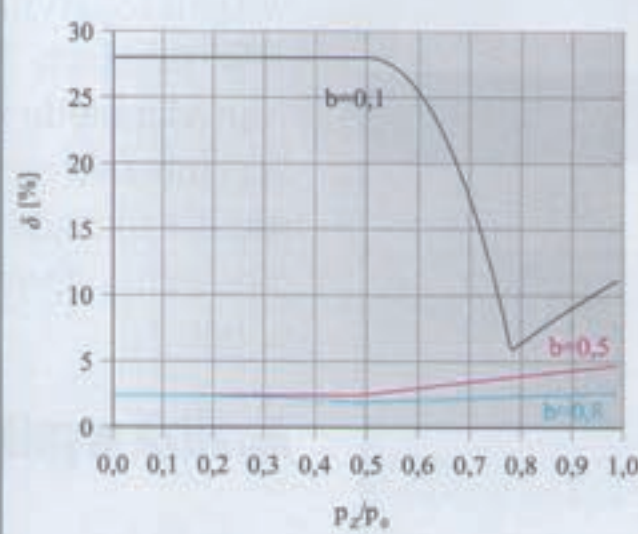
Nr	$\delta_{\min}$ [%]	p_z/p_0 dla $\delta_{\min}$	$\delta_{\max}$ [%]	p_z/p_0 dla $\delta_{\max}$
1	21,84	0,99	28,61	0,00
2	32,57	0,41	72,55	0,00
3	61,16	0,66	177,82	0,00
4	2,55	0,10	7,95	0,00
5	3,62	0,49	44,83	0,00
6	7,38	0,79	129,00	0,00
7	0,10	0,10	5,51	0,00
8	0,14	0,50	41,56	0,00
9	0,29	0,80	123,82	0,00

Tab. 3 Minimalne i maksymalne wartości błędu względnego δ uzyskane dla formuły (2)

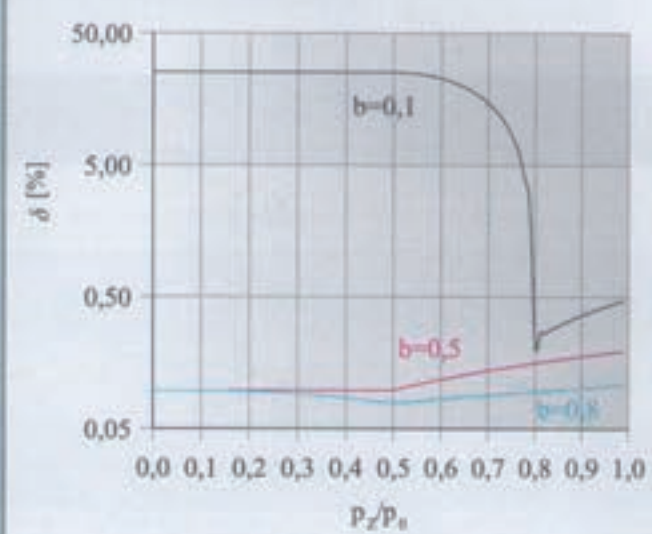
Nr	$\delta_{\min}$ [%]	p_z/p_0 dla $\delta_{\min}$	$\delta_{\max}$ [%]	p_z/p_0 dla $\delta_{\max}$
1	17,03	0,47	22,01	0,00 – 0,09
2	22,01	0,00 – 0,41	36,47	0,99
3	45,49	0,65	77,49	0,99
4	1,93	0,50	2,63	0,99
5	2,41	0,00 – 0,49	4,66	0,99
6	6,06	0,78	28,01	0,00 – 0,50
7	0,08	0,50	0,11	0,99
8	0,10	0,00 – 0,49	0,19	0,99
9	0,24	0,80	25,12	0,00 – 0,50



Rys. 2 Przebiegi wartości błędu względnego δ w funkcji stosunku ciśnień spiętrzenia p_2/p_0 przy $C/d^2 = 0,0015 \text{ s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}$ dla formuły (1)



Rys. 3 Przebiegi wartości błędu względnego δ w funkcji stosunku ciśnień spiętrzenia p_2/p_0 przy $C/d^2 = 0,0005 \text{ s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}$ dla formuły (1)



Rys. 4 Przebiegi wartości błędu względnego δ w funkcji stosunku ciśnień spiętrzenia p_2/p_0 przy $C/d^2 = 0,0001 \text{ s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}$ dla formuły (1)

- 0,0001 $\text{s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}$ oraz $b = 0,1$) wartość błędu względnego δ nie przekracza wartości 5,6%,
- wzrost wartości C/d^2 zawsze powoduje wzrost błędu względnego δ ,
- wzrost wartości krytycznego stosunku ciśnień b zawsze skutkuje wzrostem błędu względnego δ ,
- minimalne wartości błędu względnego δ występują zarówno w zakresie przepływu podkrytycznego, a maksymalne w zakresie przepływu krytycznego,
- zakresy stałej wartości błędu względnego δ nie zostały zaobserwowane,
- na wszystkich wykresach można zaobserwować punkty charakterystyczne dla $p_2/p_1 = b$.

Na podstawie powyższych obserwacji można wysnuć dwa wnioski o charakterze ogólnym:

- liczba Macha M_1 jest dobrą miarą różnicy wartości ciśnienia spiętrzenia p_0 i ciśnienia statycznego p_1 (patrz wzór (5)). Największa różnica wartości p_0 i p_1 występuje dla przepływu krytycznego, gdyż wtedy M_1 osiąga wartość maksymalną. Nie jest natomiast dobrą miarą błędu względnego δ (wzór (4)). Dowodzi tego występowanie maksymalnych wartości δ dla określonego elementu pneumatycznego (C/d^2 , b) również w zakresie przepływu podkrytycznego, kiedy M_1 ma wartość mniejszą od wartości maksymalnej a ciśnienie statyczne p_2 jest równe ciśnieniu otoczenia p_z . Dopiero jednocześnie znajomość wartości M_1 i postaci funkcji ekspansji umożliwia wyznaczenie wartości błędu względnego δ ;
- zastąpienie wartości ciśnienia statycznego p_2 wartością ciśnienia otoczenia p_z ma znaczenie jedynie w zakresie przepływu krytycznego. W tym przypadku na wartość błędu względnego δ decydujący wpływ ma wartość krytycznego stosunku ciśnień przyjęta w funkcji ekspansji analizowanego modelu (formuły) masowego bądź objętościowego natężenia przepływu.

Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono wpływ zastąpienia ciśnień statycznych ciśnieniami spiętrzenia w formułach służą-

cych do wyznaczania strumienia objętości czynnika ściśliwego, a wykorzystujących współczynnik wymiarowy K_v .

Stwierdzono, że w przypadku wykorzystania formuły (1) przedstawionej w normie PN-83/M-74201 (1983) dla elementów pneumatycznych określonych wartościami $C/d^2 \leq 0,0015 [\text{s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}]$ oraz $b \leq 0,5$ wartość błędu względnego δ określonego wzorem (3) nie przekracza 5% zarówno w obszarze przepływu podkrytycznego, jak i krytycznego.

W przypadku wykorzystania formuły (2) jedynie dla minimalnych analizowanych wartości $C/d^2 = 0,0001 [\text{s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}]$ oraz $b = 0,1$ uzyskano wartości błędu względnego δ mniejsze niż 6%.

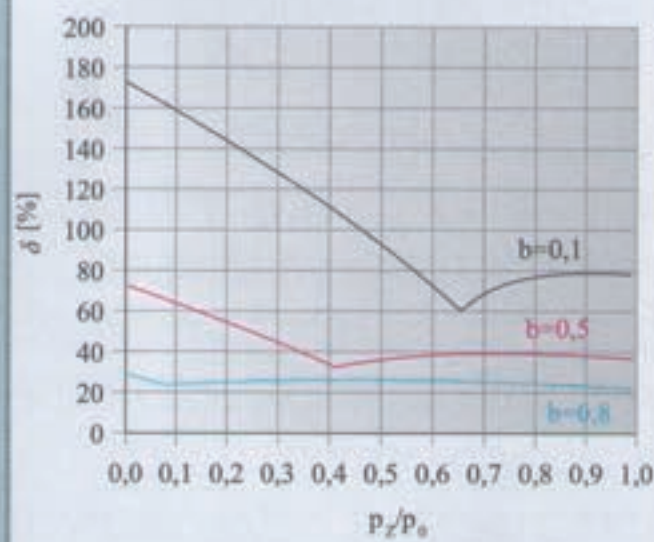
Konkludując, można stwierdzić, że wyniki badań eksperymentalnych określających możliwość utożsamiania ciśnienia spiętrzenia p_0 i ciśnienia statycznego p_1 nie powinny być wprost wykorzystywane do oceny możliwości zastosowania konkretnych modeli (formuł) objętościowego bądź masowego natężenia przepływu w symulacji pneumatycznych układów napędowych. Wartość błędu względnego obliczonego strumienia masy lub strumienia objętości zależy bowiem w sposób krytyczny od postaci funkcji ekspansji wybranego modelu oraz faktu dodatkowego utożsamiania bądź nie ciśnienia spiętrzenia p_z i ciśnienia statycznego p_2 .

Szymon Grymek

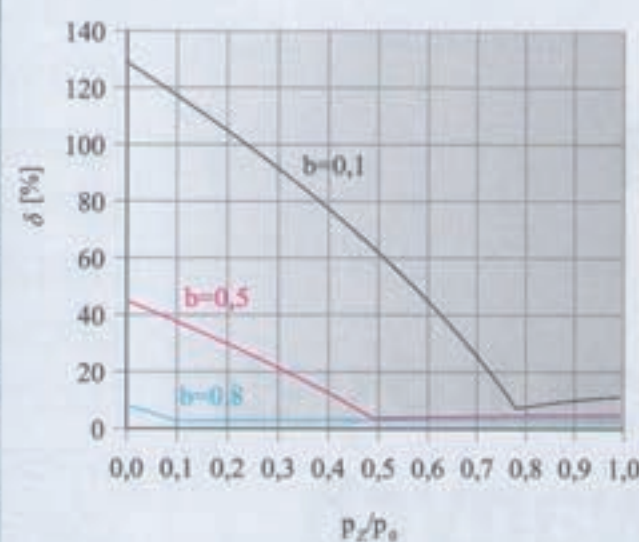
Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Wydział Mechaniczny
Politechnika Gdańska
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk
sgrymek@pg.gda.pl

Tomasz Kiczowski

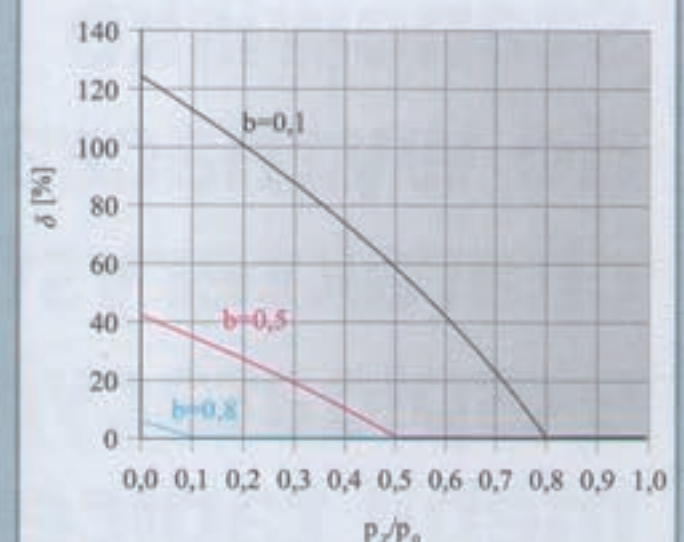
Zakład Napędów i Sterowań
Politechnika Koszalińska
ul. Racławicka 15-17, 75-620 Koszalin
tomasz.kiczowski@tu.koszalin.pl



Rys. 5 Przebiegi wartości błędu względnego δ w funkcji stosunku ciśnień spiętrzenia p_z/p_0 przy $C/d^2 = 0,0015 \text{ s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}$ dla formuły (2)



Rys. 6 Przebiegi wartości błędu względnego δ w funkcji stosunku ciśnień spiętrzenia p_z/p_0 przy $C/d^2 = 0,0005 \text{ s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}$ dla formuły (2)



Rys. 7 Przebiegi wartości błędu względnego δ w funkcji stosunku ciśnień spiętrzenia p_z/p_0 przy $C/d^2 = 0,0001 \text{ s} \cdot \text{m}^4/\text{kg}$ dla formuły (2)

► Literatura

1. Pneumatische Antriebe: Ölhydraulik und Pneumatik 35, nr 3, 1991.
2. **Beater P.**: *Pneumatic Drives*, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
3. **Jungowski W.**: *Podstawy dynamiki gazów*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1978.
4. **Szargut J.**: *Termodynamika*, PWN, Warszawa, 2000.
5. **Iwaszko J.**: *Opory przepływu powietrza przez elementy pneumatyczne*, Prace naukowe, Mechanika Z. 177, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1999.
6. VID/VDE 2173: *Richtlinien: Strömungstechnische Kenngrößen von Stellventilen und deren Bestimmung*, 1962.
7. PN-83/M-74201: *Armatura przemysłowa. Zawory regulujące. Wymagania i badania*, 1983.
8. **Kamiński Z.**: *Metody określania właściwości przepływowych elementów pneumatycznych*, Hydraulika i Pneumatyka, nr 5/2007.
9. **Grymek Sz., Kiczowski T.**: *Conversion of the sonic conductance C and the critical pressure ratio b into the airflow coefficient μ* , Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 19, No 9/2005.

► Summary

The flow factor K_v is commonly applied to describe flow properties of pneumatic devices. K_v

When one knows the flow factor value as well as the values of inlet static pressure and outlet static pressure, one is able to calculate the volume flow rate value. An influence of the substitution of the inlet static pressure by the total inlet pressure and the outlet static pressure by the ambient space pressure on the value of volume flow rate is presented in this paper.

The calculation was conducted for two formulas which utilise the flow factor K_v .

It was observed that with the improvement of the flow properties of a pneumatic component the influence of the substitution was increased.

► Streszczenie

Jedną z wielkości wykorzystywanych do opisu właściwości przepływowych elementu pneumatycznego jest współczynnik wymiarowy K_v . Jego znajomość umożliwia wyznaczenie wartości strumienia objętości powietrza, o ile znane są wartości ciśnień statycznych przed i za elementem. W pracy przedstawiono wpływ zastąpienia wartości ciśnienia statycznego na dopływie do elementu wartością ciśnienia spiętrzenia i zastąpienia wartości ciśnienia statycznego na wypływie z elementu wartością ciśnienia panującego w obszarze, do którego następuje wypływ, na wartość obliczanego strumienia objętości powietrza. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch formuł wykorzystujących współczynnik wymiarowy K_v . Stwierdzono, że ze wzrostem oporów przepływu przez element wpływ zastąpienia ciśnień na wartość błędu wyznaczanego strumienia objętości maleje.

➤ Krzysztof Matecki, Stanisław Kozioł, Tomasz Samborski, Andrzej Zbrowski

Stanowisko do wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych leżysk mebli tapicerowanych

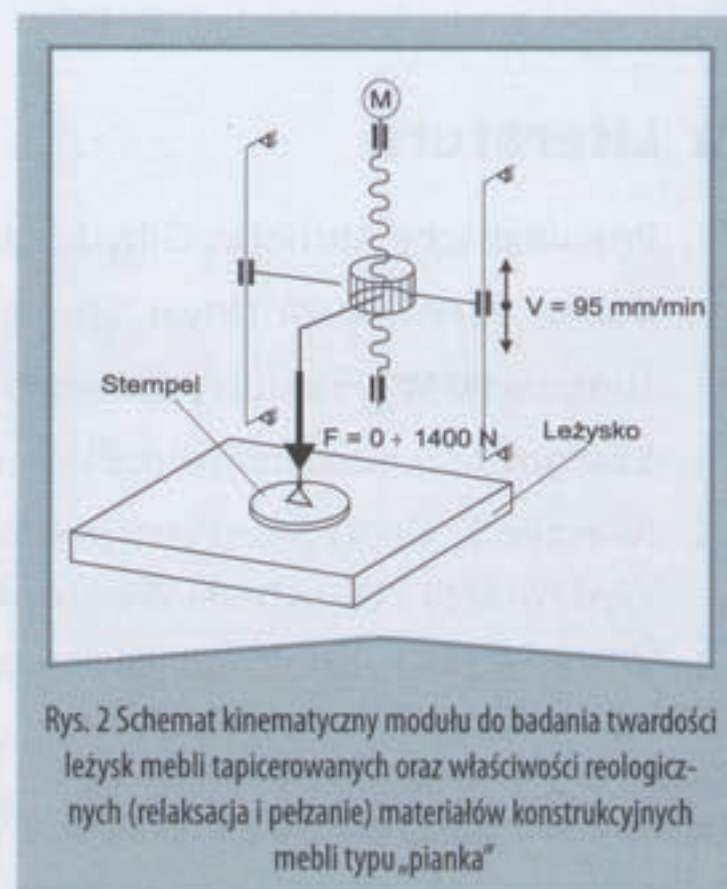
W Instytucie Technologii Eksploatacji PIB w Radomiu podjęto prace nad zaprojektowaniem i wykonaniem stanowiska do badań atestacyjnych leżysk mebli tapicerowanych przewidzianych obowiązującą normą, na którym realizować można również badania eksperymentalne właściwości reologicznych niektórych materiałów konstrukcyjnych stosowanych w przemyśle meblarskim.

Wprowadzenie

Rosnące wymagania stawiane zarówno przez konsumentów jak i producentów wyrobom przemysłu meblarskiego, dostosowanie polskich przepisów prawa do norm europejskich i coraz większa konkurencja w branży meblarskiej wymusza wprowadzanie nowoczesnych technologii w zakresie konstruowania, wytwarzania, badania wyrobów oraz stosowania przez firmy meblarskie materiałów o odpowiednich właściwościach konstrukcyjnych spełniających wymagania trwałościowe, funkcjonalne oraz estetyczne.[1] Na szczególną uwagę zasługują zagadnienia związane z zapewnieniem bezpieczeństwa użytkowania mebli oraz z uzyskaniem odpowiednio wysokiej jakości eksploatacyjnej, ocenianej na podstawie obiektywnych wskaźników [2, 3]. Właśnie te wymagania stanowiły przesłanki uregulowań normatywnych wprowadzonych w krajach Unii Europejskiej. Przykładem jest norma EN-1957:2000 opracowana przez Komitet Techniczny CENT/TC 207 zawierająca metodykę realizacji badań trwałości oraz twardości leżysk, wymagania technologiczne dotyczące sposobu przygotowania próbek do badań, wytyczne odnośnie konstrukcji mechanicznej stanowisk badawczych oraz zbior wskaźników dla obiektywnej oceny jakości leżysk. Dla polskiego rynku meblarskiego obowiązuje od 2002 roku jako PN-EN 1957:2002 [4].

W Instytucie Technologii Eksploatacji PIB w Radomiu podjęto prace nad zaprojektowaniem i wykonaniem sta-

nowiska do badań atestacyjnych leżysk mebli tapicerowanych przewidzianych obowiązującą normą, na którym realizować można również badania eksperymentalne właściwości reologicznych niektórych materiałów konstrukcyjnych stosowanych w przemyśle meblarskim.



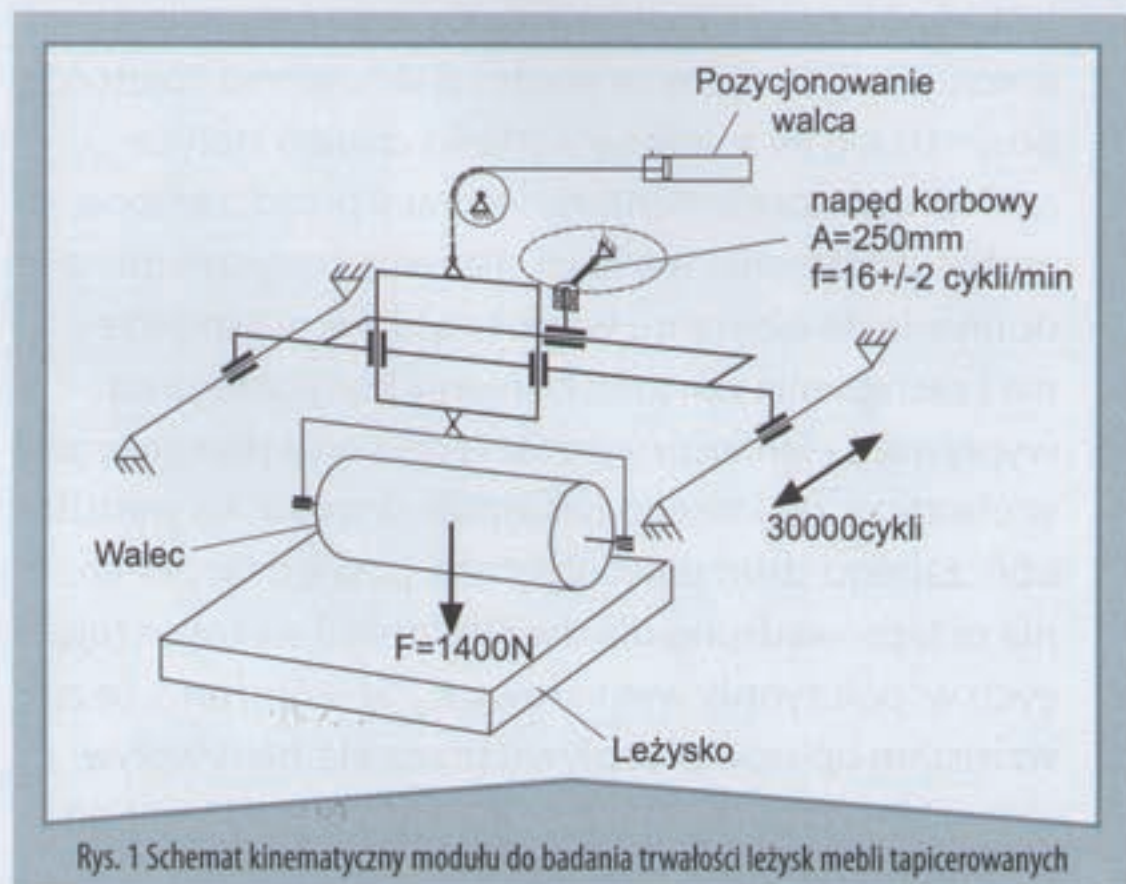
Rys. 2 Schemat kinematyczny modułu do badania twardości leżysk mebli tapicerowanych oraz właściwości reologicznych (relaksacja i pełzanie) materiałów konstrukcyjnych mebli typu „pianka”

Koncepcja stanowiska

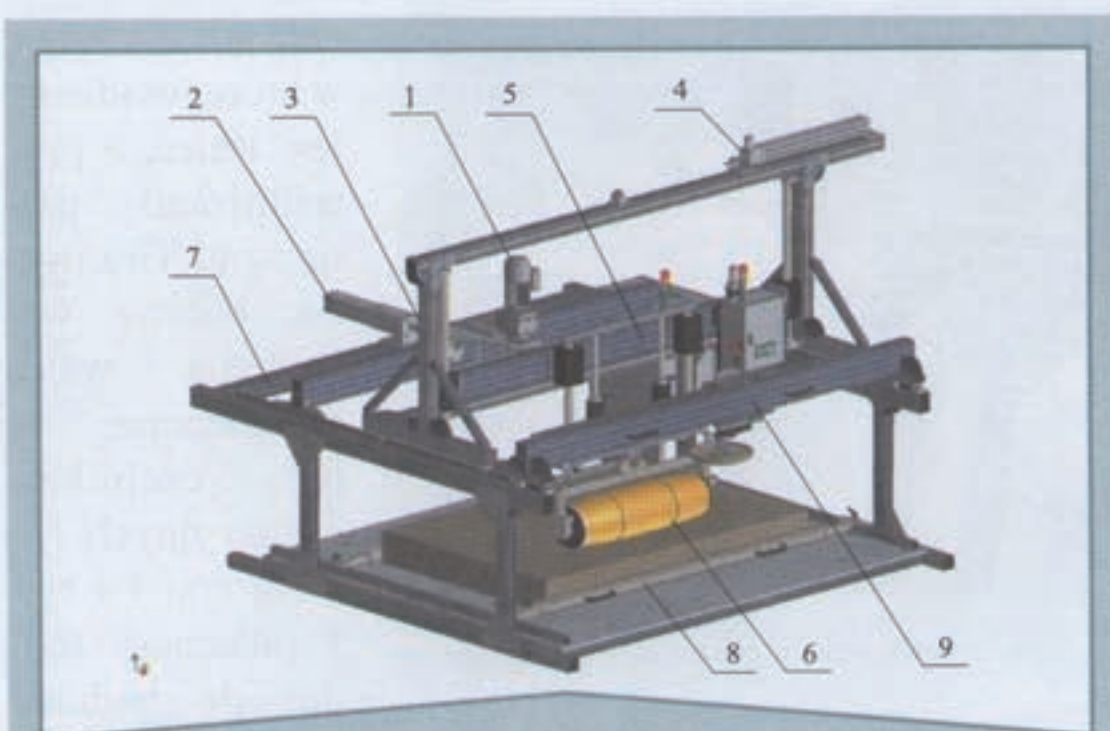
W oparciu o analizę uregulowań zawartych w normach: PN-EN 1957:2002, EN 1334, EN 1725:1998, ISO 1101, ISO 8295 powstała koncepcja stanowiska do wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych leżysk mebli realizującego badania takich parametrów, jak trwałość i twardość.

Przyjęto, że:

- stanowisko przeznaczone będzie do badań atestacyjnych mebli o masie do 70 kg z materacami o maksymalnych wymiarach 1 x 2 m; 2 x 2 m oraz mebli kanapo-tapczanów rozkładanych z leżyskami o wysokości do 70 cm
- stanowisko zawrze w sobie dwa specjalizowane moduły umożliwiające realizację badania trwałości i twardości zgodnie z normą PN-EN-1957:2002, [1]
- konstrukcja stanowiska spełni wymagania mechaniczne i wytrzymałościowe normy PN-EN-1957:2002, [1]
- system sterowania wyposażony w programowalne sterowniki PLC pozwoli na realizację określonych norm procedur badawczych i uruchamiania nowych metod badań z wykorzystaniem opracowanego systemu
- moduły sterowania połączone z aplikacją komputerową umożliwią akwizycję danych pomiarowych w trybie on-line i ich analizę w trybie off-line, przy czym możliwa będzie:

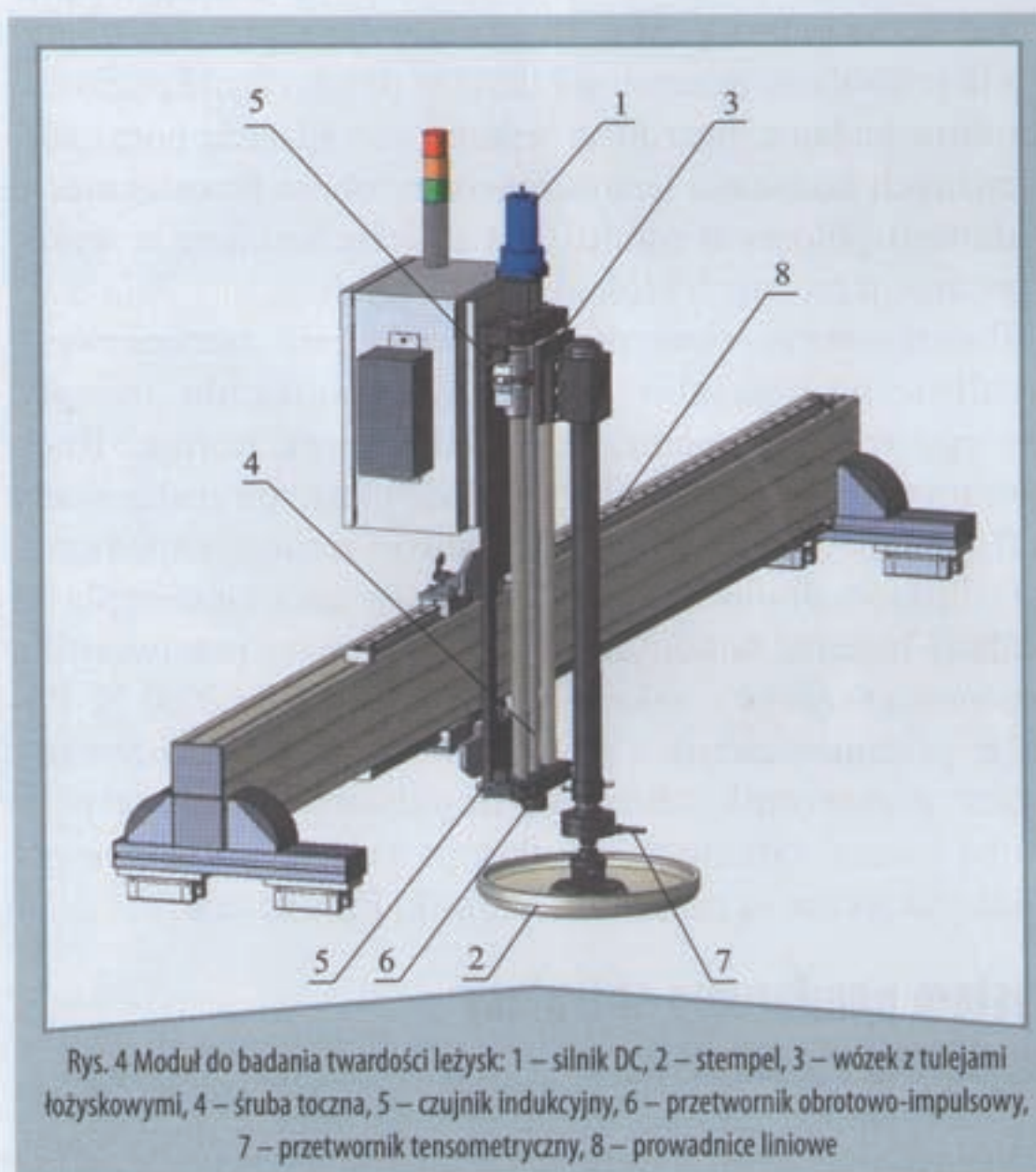


Rys. 1 Schemat kinematyczny modułu do badania trwałości leżysk mebli tapicerowanych



Rys. 3 Stanowisko do wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych leżysk mebli tapicerowanych.

1 – silnik AC z motoreduktorem napędzający korbę, 2 – siłownik ramy jezdnej walca, 3 – rama jezdna walca, 4 – siłownik podnoszenia walca, 5 – zespół zawieszenia walca, 6 – walec, 7 – rama urządzenia, 8 – profil do podparcia, 9 – moduł oznaczania twardości leżyska



Rys. 4 Moduł do badania twardości leżysk: 1 – silnik DC, 2 – stempel, 3 – wózek z tulejami łożyskowymi, 4 – śruba toczna, 5 – czujnik indukcyjny, 6 – przetwornik obrotowo-impulsowy, 7 – przetwornik tensometryczny, 8 – prowadnice liniowe

- wielokrotna realizacja cykli badawczych przy wyznaczaniu klasy twardości bez konieczności ponownego uruchamiania maszyny
- realizacja badań pełzania i relaksacji zachodzących w materiałach leżysk
- wyznaczenie klasy twardości na podstawie modeli matematycznych: podanego w normie PN-EN 1957:2002, zaproponowanego przez firmę IKEA lub oryginalnych modeli opracowanych przez autorów.

W obszarze konstrukcyjnym założono, że stanowisko będzie wykonane, zgodnie z panującymi w branży meblarskiej światowymi trendami, z konstrukcyjnych profili aluminiowych, co znacznie przyspiesza wykonanie oraz zapewnia ewentualnie późniejszą, efektywną modyfikację konstrukcji. Zastosowanie profili aluminiowych umożliwia również efektywne wykorzystanie kanałów montażowych do bezpiecznego prowadzenia przewodów elektrycz-

nych i pneumatycznych. Założono, że do podnoszenia i pozycjonowania walca wzdłuż leżyska będą zastosowane siłowniki pneumatyczne wyposażone w samozaciskowe hamulce zwalniane pneumatycznie ze względu na wyeliminowanie niekontrolowanego przemieszczenia. Przemieszczanie elementów modułów stanowiska (walca wałującego, stempla) będzie zrealizowane z wykorzystaniem tocznych tulei łożyskowych oraz tocznych prowadnic liniowych. Rozwiązanie takie pozwoli na realizację ruchów liniowych z wymaganą dokładnością i stabilnością w trakcie długotrwałych testów (droga walca po powierzchni leżyska w trakcie próby wałowania wynosi 30 km).

Rodzaje prowadzonych badań

Zgodnie z wymaganiami normy [1] PN-EN 1957:2002 stanowisko realizować będzie następujące badania leżysk:

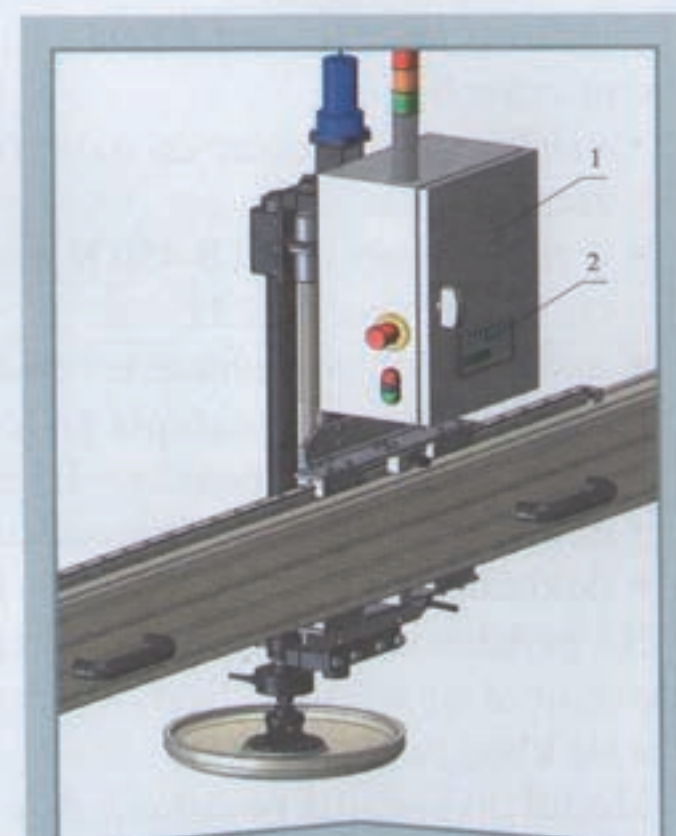
- badanie trwałości leżysk
- badanie twardości leżysk.

Badanie trwałości leżysk polega na wykonaniu 30 000 rolowań (ruchów posuwisto-zwrotnych) walca po powierzchni leżyska umieszczonego na płycie stołu (rys. 1) W trakcie badania, po wykonaniu określonej liczby rolowań, dokonuje się pomiaru grubości i twardości leżyska oraz ocenia się jego wygląd. Dodatkowo po wykonaniu wszystkich rolowań ocenia się stan wewnętrznej konstrukcji.

Badania przeprowadzane są w następujących warunkach technicznych:

- wartość całkowitej odchyłki płaskości płyty nie powinna przekraczać 2 mm/1000 mm, a pod naciskiem 1000 N ugięcie jej nie powinno być większe niż 1mm
- walec powinien mieć moment bezwładności $0.5 \text{ kgm}^2 \pm 10\%$
- siła nacisku mierzona statycznie przez układu wywierania nacisku powinna wynosić $F = 1400 \pm 7 \text{ N}$
- układu przemieszczania poziomego walca – ruch w przybliżeniu sinusoidalny o amplitudzie $A = 250 \text{ mm}$ i częstotliwości $f = 16 \pm 2$ cykli/minutę
- kierunek działania siły poziomej, gdy walec jest na linii środkowej leżyska od 0° do $+2^\circ$.

Badanie twardości leżysk (rys. 2) polega na obciążaniu, a następnie odciążaniu przy użyciu stempla. Rezultatem badania są krzywe obciążenie/ugięcie rejestrowane przy obciążaniu podczas wciskania stempla w leżysko. Zaleca się, o ile to możliwe, rejestrację krzywej histerezy dla pełnego cyklu obciążanie-odciążanie.



Rys. 5 Moduł do badania twardości leżysk: 1 – szafa sterująca, 2 – panel operatora

Badania prowadzone są w następujących warunkach technicznych:

- należy zarejestrować co najmniej 250 wartości obciążenie/ugięcie
- w zakresie obciążeń 0-450 N wartości obciążenie/ugięcie rejestrować co 2 N
- maksymalne obciążenie leżyska (nacisk) 1000 N
- prędkość posuwu stempla podczas obciążania i odciążania powinna wynosić $v = 1,5 \pm 0,12$ mm/s
- dokładność pomiaru przemieszczenia $\pm 0,5$ mm
- dokładność pomiaru siły $\pm 1\%$ FS.

Na podstawie zarejestrowanej krzywej obciążenie/ugięcie wylicza się wartości liczbowe twardości H oraz wyznacza się klasę twardości HS .

Moduł do badania twardości daje także możliwości prowadzenia prac badawczych dotyczących właściwości reologicznych materiałów leżysk (pełzanie i relaksacja).

Budowa stanowiska

Widok ogólny stanowiska do wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych leżysk mebli tapicerowanych przedstawiono na rys. 3.

Rama stanowiska wykonana jest z systemu profili aluminiowych wraz z elementami złącznymi zapewniającymi niezbędną sztywność podczas badań trwałości, któremu towarzyszy ruch posuwisto zwrotny układu wałującego o masie bliskiej 200 kg. Podłoże, na którym spoczywa badany obiekt tworzą: stelaż ze spawanych profili stalowych oraz pokrywająca go płyta MDF o grubości 25 mm i wymiarach 3000 mm na 3000 mm. Na ramie stanowiska osadzono, z wykorzystaniem dwóch równoległych liniowych prowadnic tocznych, ramę jezdnią walca wykonującą ruch rewersyjny w trakcie badania trwałości. Ruch ten realizowany jest poprzez napęd korbowodowy z motoreduktorem, silnikiem AC i falownikiem wektorowym. Pozwala to na uzyskanie sinusoidalnego przebiegu rolowania o założonej amplitudzie 250 mm względem środkowej linii leżyska oraz regulację okresu cyklu. Położenie korbowodu jest kontrolowane za pomocą czterech zbliżeniowych czujników indukcyjnych. Napęd korbowodowy osadzono na ramie z przesuwą belką pozwalającą na pozycjonowanie walca przed rozpoczęciem testu za pomocą siłownika pneumatycznego z hamulcem o skoku 300 mm (wycofanie zespołu przed badaniem trwałości lub po skończeniu badań trwałościowych). Rama jezdna walca wyposażona jest w pionowe prowadnice, po których przemieszcza się zespół zawieszenia walca w trakcie pionowych ruchów ustawczych związanych z przygotowaniem stanowiska do badań. Położenie ramy jezdnej oraz zespołu zawieszenia walca identyfikowane jest za pomocą czujników kontaktronowych zamocowanych na siłownikach pneumatycznych. Zespół zawieszenia walca posiada parę pionowych prowadnic tocznych, po których przemieszcza się rama z osadzonym w niej, na wahlowych łożyskach, drewnianym walcem. Rozwiązanie to pozwala na pionowe dopasowywanie walca do bieżącego kształtu badanych leżysk, a więc utrzymanie równoległego do powierzchni leżyska kierunku działania siły prowadzenia walca. Stały kontakt walca z leżyskiem w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku ruchu zapewnia wahlowe połą-

czenie ramy, w której osadzony jest walec, z prowadnicami pionowymi. Graniczne, boczne wychylenia walca ograniczone są parą czujników indukcyjnych.

Na rys. 4 i rys. 5 pokazano moduł do badania twardości leżysk.



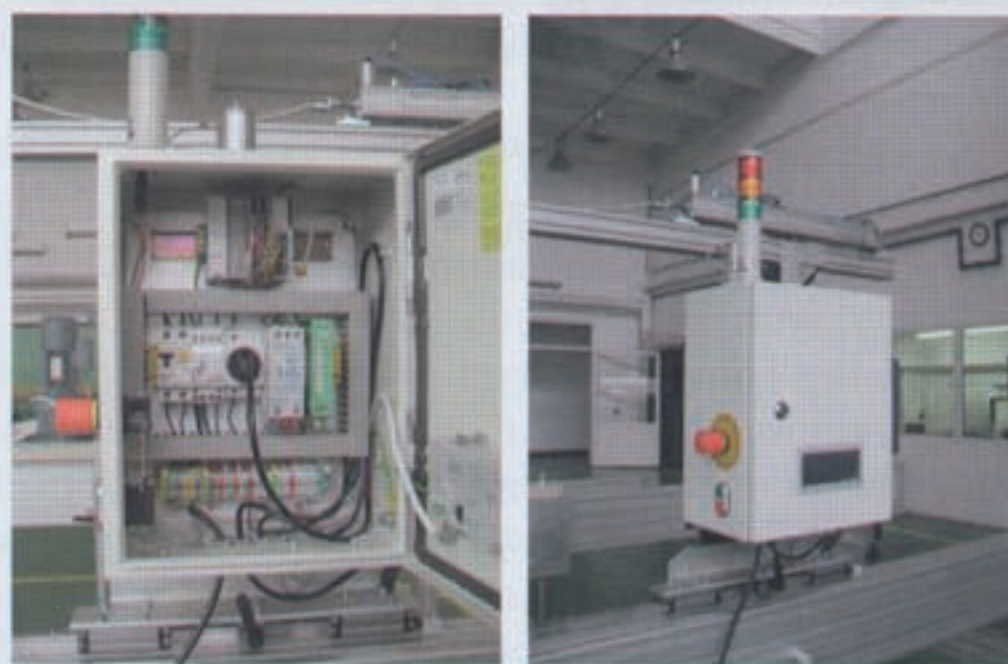
Rys. 6 Sterowanie modułem do badania trwałości leżysk

Moduł do badania twardości leżysk zamontowany jest na profilowej, aluminiowej belce za pośrednictwem umieszczonych w płaszczyźnie pionowej tocznych prowadnic liniowych. Belka połączona jest ze stanowiskiem do badania trwałości za pomocą czterech wózków tocznych. Konstrukcja ta pozwala na przemieszczanie w płaszczyźnie poziomej modułu badania twardości celem prowadzenia pomiarów w różnych miejscach testowanych wyrobów. Po osiągnięciu żądanego położenia moduł jest unieruchamiany z wykorzystaniem ręcznych blokad zaciskowych.

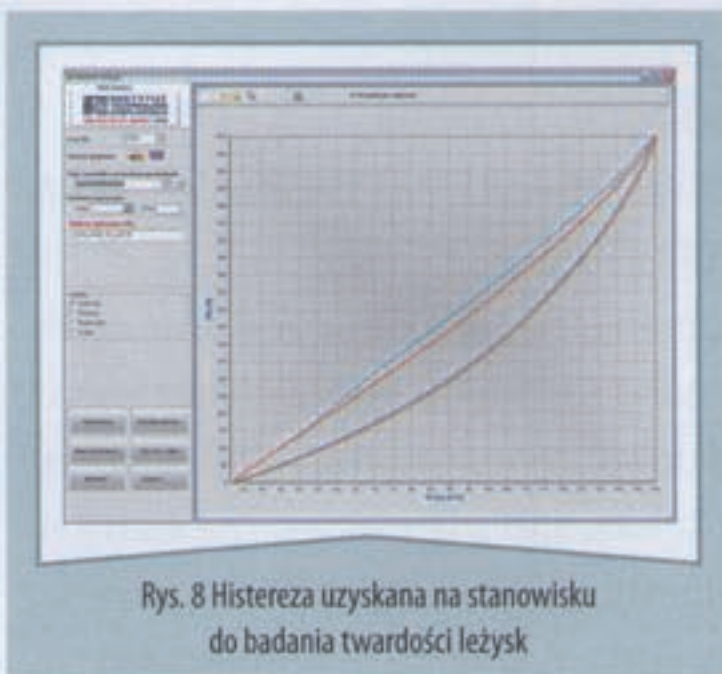
Podstawowym elementem modułu jest zamontowany wahlwie na przegubie wykonany z poliamidu stempel, którego wymiary definiuje przedmiotowa norma. Ruch pionowy stempla wzdłuż prowadnic tocznych realizowany jest za pomocą mechanizmu śrubowo-tocznego napędzanego silnikiem prądu stałego. Pomiar siły nacisku stempla na badany materac dokonywany jest za pomocą przetwornika tensometrycznego o zakresie pomiarowym do 2000 N. Pomiar przemieszczenia i prędkości ruchu jest realizowany przez przetwornik obrotowo-impulsowy sprzęgnięty ze śrubą toczną. Graniczne punkty przemieszczania stempla identyfikowane są przez dwa czujniki indukcyjne.

System pomiarowo-sterujący modułów stanowiska

System pomiarowo-sterujący realizowany indywidualnie za pomocą sterownika PLC z modułami analogowymi, umożliwia niezależną pracę modułów stanowiska. Sterowanie i przygotowanie modułów do pracy odbywa się poprzez



Rys. 7 Sterowanie modułem do badania trwałości leżysk



Rys. 8 Histereza uzyskana na stanowisku do badania twardości leżysk

dotykowy pulpit operatora. Obydwa sterowniki PLC są połączone w sieć za pomocą modułów RS485. Komputer PC poprzez koncentrator danych komunikuje się przy użyciu transmisji szeregowej z obydwoma stanowiskami.

Przyjęta koncepcja systemu pomiarowo-sterującego, jako otwartego systemu rozproszonego pozwala na elastyczną konfigurację i łatwą zmianę w przypadku zaistnienia potrzeby zmian konstrukcyjnych stanowiska.

W module do badania trwałości materacy zadaniem systemu sterująco-pomiarowego (rys. 6) jest prowadzenie ciągłego pomiaru liczby cykli oraz ich okresu zadawanego każdorazowo przed przystąpieniem do badań. Dodatkowo niezbędna jest, zgodnie z przyjętymi założeniami, kontrola równoległości przetaczania walca. Wymagania pomiarowo-sterujące odnośnie tego stanowiska zostały zrealizowane następująco:

- równoległość przetaczania walca jest kontrolowana za pomocą dwóch zbliżeniowych czujników indukcyjnych
- liczba cykli oraz okres cyklu rolowania jest mierzony z wykorzystaniem 4 zbliżeniowych czujników indukcyjnych, które kontrolują położenie korbowału
- częstotliwości cykli rolowania zadawana jest za pośrednictwem falownika wektorowego zasilającego silnik AC (dla cyklu 0.25 Hz pracuje na ok. 90% swojej częstotliwości znamionowej).

System pomiarowo-sterujący modułu do badania twardości materacy (rys. 7) został zrealizowany następująco:

- pomiar siły nacisku dokonywany jest za pomocą przetwornika tensometrycznego siły obustronnego działania ze wzmacniaczem z wyjściem analogowym 4-20 mA, w sterowniku PLC zastosowano moduł przetwornika A/D o rozdzielczości 50 000 działek
- pomiar przemieszczenia stempla i pomiar prędkości przemieszczenia jest zrealizowany z wykorzystaniem przetwornika obrotowo-impulsowego sprzęgniętego ze śrubą napędową współpracującego ze sterownikiem PLC
- przemieszczenie stempla odbywa się z wykorzystaniem silnika DC, który napędza śrubę toczną mechanizmu prowadnicy stempla. Silnik DC jest sterowany za pomocą sterownika elektronicznego pracującego w tzw. układzie H, pozwalającego na ustawienie prędkości silnika oraz kierunku obrotów. Zbudowany układ pozwala na pomiar przemieszczeń z dokładnością do 2.5 μm .

W obydwu sterownikach zrealizowano procedury: diagnostyczne, badawcze, oraz definiujące cykl badań. Relaksacja i pełzanie są badane dla 4 wartości przemieszczeń i sił, które mogą być podawane w dowolnej kolejności. Cykl badań jest zapisany w pamięci sterownika, dlatego obydwie urządzenia mogą pracować bez nadzoru komputera PC.

Opracowana aplikacja komputerowa [5] przeznaczona do monitorowania procesu badań, akwizycji wyników pomiarów oraz do obliczania klasy twardości umożliwia:

- wybór metody badań (pomiar histerezy, pomiary pełzania, relaksacji lub pomiary trwałości)
- zaprogramowanie sił obciążenia lub przesuwu zastosowanych w badaniach
- zaprogramowanie liczby cykli badawczych obciążenie/odciążenie
- zarejestrowanie daty rozpoczęcia pomiarów oraz wprowadzenie danych identyfikujących prowadzącego badania
- graficzną prezentację wyników pomiarów w trybie online
- zapis wyników do pliku tekstowego umożliwiające dalsze wykorzystanie pozyskanych danych
- wydruk raportu z realizacji badań
- obliczenie klasy twardości leżyska.

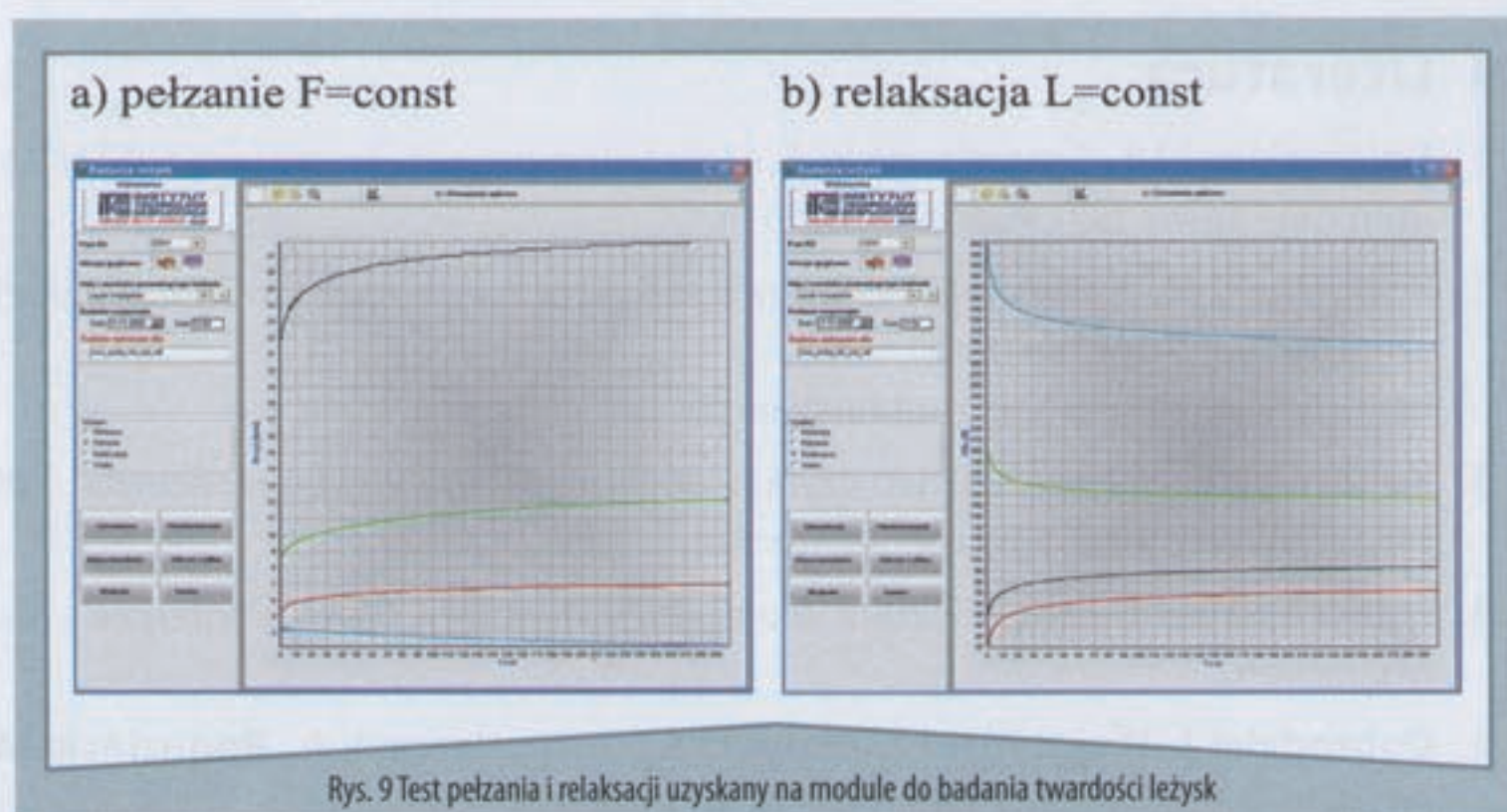
Na rys. 8 i 9 przedstawiono przykładowe charakterystyki uzyskane w trakcie prowadzenia badań.

Aplikacja wykonana została przy użyciu pakietu Delphi i jest przeznaczona do pracy w systemach Windows. Nie wymaga dodatkowych bibliotek typu DLL oraz OCX. Aplikacja posiada polski i angielski interfejs użytkownika.

Na rys. 10 przedstawiono fotografię prototypu stanowiska do wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych leżysk mebli tapicerowanych prezentowanego na Międzynarodowych Targach Poznańskich MEBLE 2008.

Podsumowanie

Opracowane stanowisko badawcze przeznaczone jest do prowadzenia badań atestacyjnych zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 1957:2002, jak również zaawansowanych prac badawczo-rozwojowych nad materiałami konstrukcyjnymi stosowanymi już w przemyśle meblarski. Realizacja szerokiego spektrum analiz odkształceń materiałów



Rys. 9 Test pełzania i relaksacji uzyskany na module do badania twardości leżysk



Rys. 10 Stanowisko do wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych leżysk mebli tapicerowanych

elementów tapicerowanych stwarza możliwości nowych przedsięwzięć badawczych oraz normalizacyjnych. Nowatorskim rozwiązaniem jest jednolita konstrukcja łącząca moduły stanowiska do badania trwałości i oznaczania twardości leżysk mebli, co pozwala prowadzić niezależnie badania trwałości oraz twardości leżysk w jednym miejscu. Innym nowatorskim w skali europejskiej rozwiązaniem konstrukcyjnym jest zastosowanie układu kompensacji odkształceń materacy, poprzez dynamiczne poziomowanie urządzenia wałującego.

Pracę wykonano w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004-2008”.

mgr inż. Krzysztof Matecki, dr inż. Tomasz Samborski,
dr inż. Stanisław Koziol, dr inż. Andrzej Zbrowski

Instytut Technologii Eksploatacji
– Państwowy Instytut Badawczy
ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom

Krzysztof.Matecki@itee.radom.pl,
Tomasz.Samborski@itee.radom.pl,
Stanisław.Koziol@itee.radom.pl,
Andrzej.Zbrowski@itee.radom.pl

Summary

THE STAND TO WORK CHARACTERISTICS ESTIMATION OF SEAT CUSHIONS AND MATTRESS APPLIED IN UPHOLSTERED FURNITURE

The article presents the idea, construction and work principles of the stand for maintenance characteristics estimation of upholstered furniture bed systems, especially seat cushions and mattresses. The stand is intended for certification purposes involving assessment of durability and inflexibility of upholstered furniture padding accordance with PN-EN 1957:2002 standards. Presented device allows development activity and reologic properties research of construction materials used in furniture industry. The stand is characterised by modular structure that allows flexible adaptation to the potential changes in standards or specific client requirements.

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję, konstrukcję oraz zasadę działania stanowiska do wyznaczania charakterystyk eksploatacyjnych leżysk i siedzisk mebli tapicerowanych. Stanowisko jest przeznaczone do badań certyfikacyjnych, zgodnych z normą PN-EN 1957:2002, obejmujących wyznaczanie trwałości i twardości poduszek oraz materacy stosowanych w tapicerowanych łóżkach, fotelach i krzesłach. Prezentowane stanowisko umożliwia działalność rozwojową oraz prowadzenie badań właściwości reologicznych materiałów konstrukcyjnych stosowanych w przemyśle meblarskim. Modułowa budowa stanowiska umożliwia elastyczną adaptację do potencjalnych zmian wymagań normatywnych oraz dopasowanie do indywidualnych wymagań użytkownika.

Literatura

1. **Dzięgielewski S., Smardzewski J.:** *Meblarstwo projekt i konstrukcja*, ISBN 83-09-01642-5 Państwowe Wydawnictwa Rolnicze i Leśne (52), Poznań, 1995.
2. **Rogoziński M., Kalbrun M.:** *Zmiany wynikające z wymogów Unii Europejskiej w zakresie wymagań dotyczących bezpieczeństwa użytkowania mebli*, 2003.
<http://www.technologia.meblarstwo.pl>
3. **Kokorniak Ł.:** *Bezpieczeństwo użytkowania i jakość mebli tapicerowanych*, 2006.
<http://www.technologia.meblarstwo.pl>
4. Polska Norma PN-EN 1957:2002, *Meble mieszkaniowe – Łóżka i materace – Metody badania w celu określenia cech funkcjonalnych*.
5. **Dobrodziej J., Wojutyński J., Matecki K., Gospodarczyk A., Rogoziński M.:** *System badań trwałości i twardości leżysk mebli*, PROBLEMY EKSPLOATACJI, 1/2009.

TargiKielce



CONTROL-TECH

XII Targi Przemysłowej Techniki Pomiarowej

28-30.09.2010, Kielce

Zakres branżowy targów:

1. Pomiary długości i kąta
2. Przyrządy pomiarowe
3. Maszyny pomiarowe
4. Urządzenia pomiarowe specjalnego zastosowania
5. Elementy do urządzeń pomiarowych i badawczych
6. Badanie materiału
7. Aparatura do prób nieniszczących
8. Aparatura analityczna
9. Przyrządy do pomiaru wytrzymałości
10. Aparatura do określania innych wielkości fizycznych
11. Inne urządzenia
12. Oprogramowanie do komputerowego wspomagania zapewnienia jakości
13. Analiza obrazu oraz systemy przetwarzania obrazu
14. Systemy optyczno-elektroniczne
15. Organizacje/ wydawnictwa/ usługi

Patronat medialny:

Elektronik
MAGAZYN ELEKTRONIKI PROFESJONALNEJ

apa

automatyka
podzespoły aplikacje

ELEKTRONIKA
PRAKTYCZNA

QI

Targi Kielce, ul. Zakładowa 1, 25-672 Kielce
Menedżer Targów - **Joanna Adamczyk**
tel. 041 365 12 14, fax 041 365 13 13
e-mail: adamczyk.j@targikielce.pl

www.control-tech.pl



➤ Łukasz Ptak, Marcin Rawicki, Zygmunt Szczurba, Marta Żyłka

Stanowisko dydaktyczne segregatora wyrobów z manipulatorem modułowym

Manipulatory robotów modułowych budowane są z zespołów sprzężonych mechanicznie, energetycznie i sygnałowo, które nazywane są modułami. Każdy z tych modułów realizuje ruch w ramach jednego stopnia swobody.

Wprowadzenie

W niniejszym artykule przedstawiono segregator wyrobów z zastosowaniem manipulatora modułowego. Aby poprawnie zbudować i uruchomić segregator, niezbędne stało się wykonanie następujących zadań: zaprojektowanie, wykonanie i zmontowanie przenośników, skonfigurowanie i zmontowanie modułowego manipulatora, wykonanie elementów identyfikacji optycznej segregatora, zamodelowanie ruchu manipulatora, opracowanie algorytmu segregacji, napisanie program dla sterownika PLC oraz przetestowanie działania układu.

Segregator został zaprojektowany i wykonany przez studentów w ramach pracy dyplomowej inżynierskiej. Zakupione zostały jedynie podstawowe elementy (np. enkodery), a nie całe zespoły. Znacznie obniżyło to koszty, a równocześnie podniosło walory dydaktyczne, co ma szczególne znaczenie, gdyż segregator stanowi wyposażenie Laboratorium Automatyzacji Procesów w Zakładzie Mechaniki Płynów i Aerodynamiki.

Budowa segregatora wyrobów

W skład segregatora wyrobów, przedstawionego na rys. 1, wchodzi: modułowy manipulator pneumatyczny z czterema elektrozaworami, dwa przenośniki segregowanych części, elementy identyfikacji optycznej (enkodery, fotodetektory), sterownik PLC, czujniki, wyłączniki położenia pulpitu do sterowania w trybie ręcznym oraz układ przygotowania powietrza. Manipulator usytuowany jest między dwoma przenośnikami. Po identyfikacji elementu, z transportera podającego przenosi się go na transporter odbierający, ustawiając w dwóch szeregach posegregowane części.



Rys. 1 Widok ogólny segregatora wyrobów

Pneumatyczny manipulator modułowy

Manipulatory robotów modułowych budowane są z zespołów sprzężonych mechanicznie, energetycznie i sygnałowo, które nazywane są modułami. Każdy z tych modułów realizuje ruch w ramach jednego stopnia swobody. Realizują one przemieszczenia liniowe lub kątowe w zaprogramowanej kolejności. W podstawowych rozwiązaniach konstrukcyjnych moduły są pozycjonowane dwupołożeniowo, natomiast w rozwiązaniach zaawansowanych technicznie stosowane jest pozycjonowanie wielopołożeniowe. W wielu zastosowaniach przemysłowych chętnie stosowane są (ze względu na swoje zalety) manipulatory modułowe z napędem pneumatycznym.

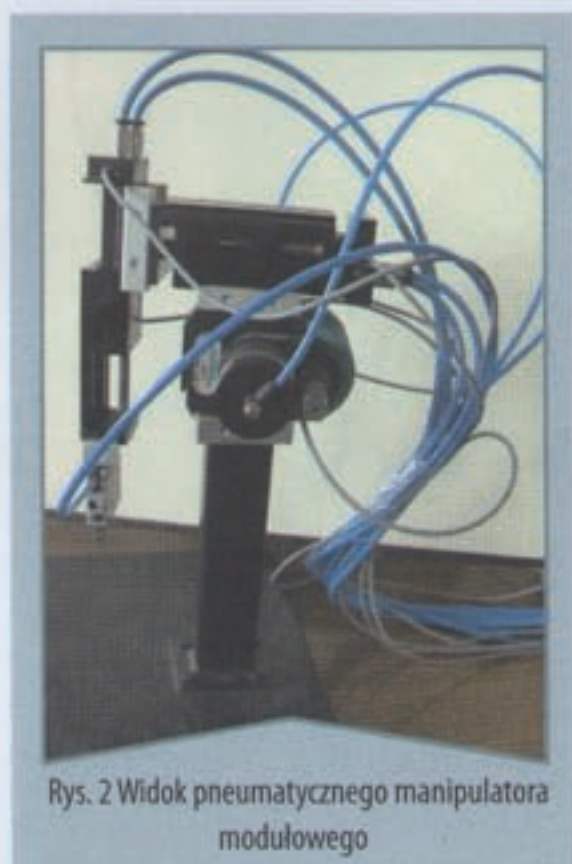
Warianty struktury manipulatorów otrzymuje się poprzez utworzenie łańcucha kinematycznego o kolejnych osiach par kinematycznych, usytuowanych pod kątem prostym. W ten sposób, w zależności od kolejno usytuowanych par kinematycznych obrotowych i postępowych, powstają łańcuchy kinematyczne o ruchu członów w układach współrzędnych prostokątnych, cylindrycznych i sferycznych.

Zastosowany w segregatorze wyrobów manipulator modułowy, pokazany na rys. 2, wykorzystany do segregacji elementów, posiada konfigurację cylindryczną. Pierwszy przegub jest obrotowy i wykonuje obrót wokół podstawy, a kolejne przeguby (drugi i trzeci) są liniowo przystawne. Manipulator jest zbudowany z siłownika obrotowego dwustronnego działania, dwóch siłowników pneumatycznych liniowych dwustronnego działania oraz chwytaka pneumatycznego o imadłowym sposobie przemieszczania komórek chwytanych.

Przenośniki

Przenośniki składają się z: płyty transportowej (poruszającej się w prowadnicy w dwóch łożyskach tocznych między dwiema podporami i napędzanej przez śrubę pociągową z nakrętką poprzez opaskę łączącą) oraz sprzęgła łączącego wałek napędu ze śrubą pociągową. Na końcu śruby znajduje się enkoder. Na rys. 3 i 4 przedstawiono schematycznie przenośniki, na których transportowane są części przed i po segregacji.

Na przenośniku odbierającym układane są kolejno najpierw elementy niskie, a potem wysokie – na odpowiednich półkach. Aby elementy można było kolejno układać, konieczna jest znajomość pozycji wstawienia ostatniego elementu wysokiego oraz ostatniego elementu niskiego na przenośniku odbierającym. Do ustalenia tych pozycji wykorzystano układ z enkoderem w sprzężeniu zwrotnym napę-



Rys. 2 Widok pneumatycznego manipulatora modułowego

du przenośnika odbierającego oraz licznik impulsów. Za pomocą enkodera oraz licznika impulsów określone jest także aktualne położenie płyty transportowej przenośnika.

Do napędu przenośników wykorzystano odpowiednio dostosowany serwomechanizm elektryczny. W jego skład wchodzi silnik prądu stałego z dodatkowymi przekładniami oraz układem sterującym, którym jest enkoder i odpowiednio zaprogramowany sterownik PLC. Układ ten wykorzystywany jest

równocześnie do określenia pozycji wałka napędowego oraz kierunku jego przemieszczenia.

Sterownik FEC-FC20-FST

Zaprojektowany segregator wyrobów sterowany jest za pomocą sterownika FEC-FC20-FST firmy Festo, pokazanego na rys. 5. Sterownik posiada niewielką obudowę z tworzywa sztucznego, 12 wejść i 8 wyjść przekaźnikowych. Zasilany jest napięciem 24 V DC. Posiada także dwa przekaźnikowe i tranzystorowe interfejsy szeregowo wejście/wyjście. Zaletą sterownika jest trimmer dla prostych wartości analogowych (rozdzielczość 7 bitów, od 0 do 63).

Sensory położenia i enkoder

Enkoder (rys. 6) służy do określenia pozycji podajnika odbierającego oraz do określenia kierunku przemieszczania się tego przenośnika. Enkoder został wykonany z dwóch transporów szczelinowych oraz kołowej tarczy pomiarowej, w której znajdują się dwa otwory. Oddziela ona fotoemiter od fotodetektora i umożliwia odliczanie obrotów wałka.

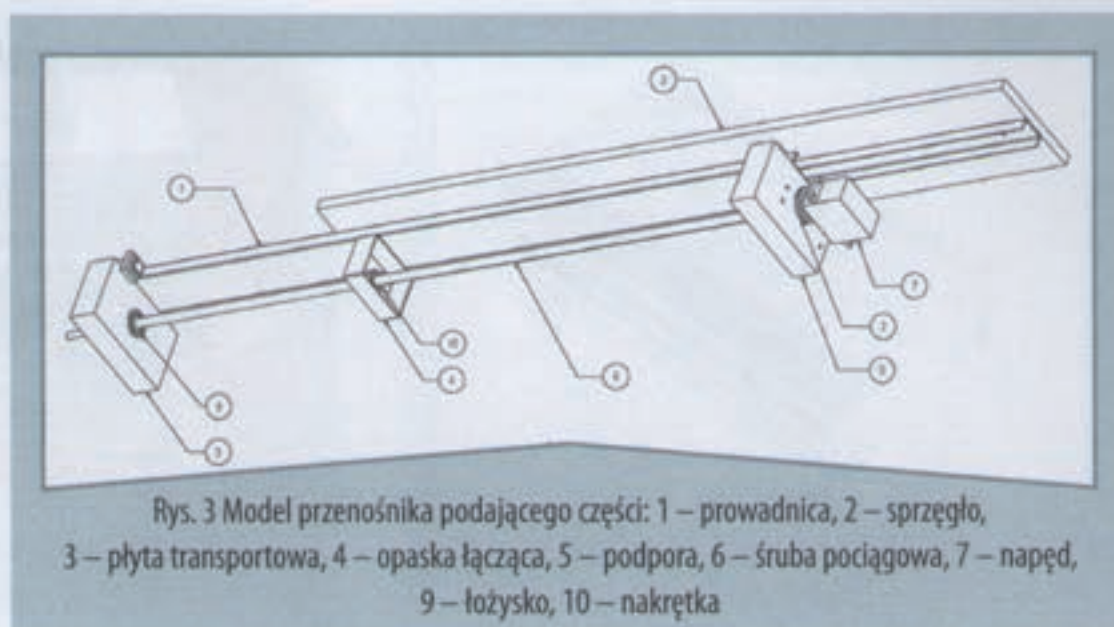
Tarczę umieszczono na końcu śruby pociągowej, natomiast transpory szczelinowe, zliczające impulsy, zostały przymocowane nieruchomo na promieniu wykonanych otworów – równolegle do osi obrotu śruby pociągowej. Układ wyposażony jest również w bezdotykowe sensory położenia elementów wykonawczych manipulatora.

Układ zasilania sprężonym powietrzem

Układem zasilania sprężonym powietrzem, niezbędnym do napędu manipulatora, jest laboratoryjna instalacja zasilania składająca się ze sprężarki, osuszacza, zbiornika, sieci i zespołu przygotowania powietrza (rys. 7).

Algorytm pracy układu segregującego

Działanie układu przedstawione zostało na rys. 8 (grafice). Stany poszczególnych członów napędowych i cewek zaworów sterujących napędami siłownikowymi opisane zostały w węzłach grafiki, natomiast sygnały informujące o wy-



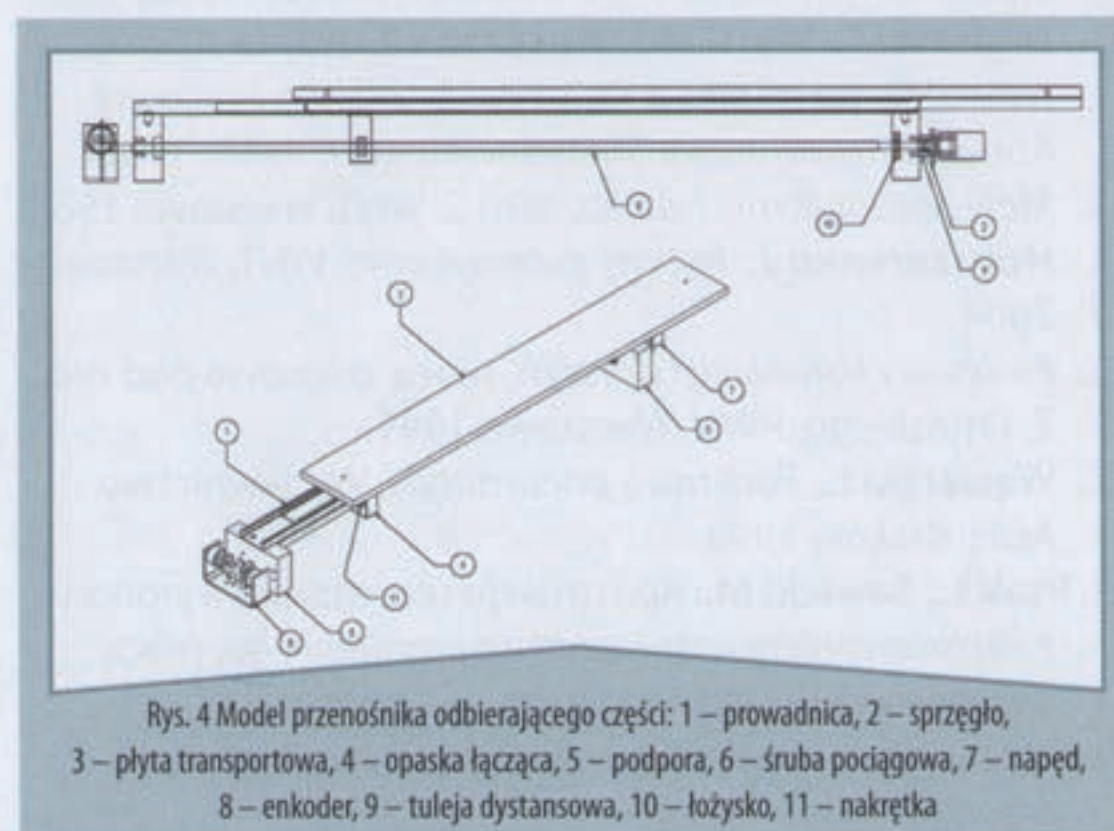
Rys. 3 Model przenośnika podającego części: 1 – prowadnica, 2 – sprzęgło, 3 – płyta transportowa, 4 – opaska łącząca, 5 – podpora, 6 – śruba pociągowa, 7 – napęd, 9 – łożysko, 10 – nakrętka

konaniu poszczególnych czynności, co warunkuje przejście do następnych stanów, opisują gałęzie skierowane grafiki.

Opis programu sterującego

Cykl programu rozpoczyna się od pozycjonowania manipulatora. Po włączeniu przycisku „Start” następuje przesterowanie elektrozaworu E1, co powoduje ustawienie siłownika obrotowo-wahadłowego w pozycji 2 (chwytak manipulatora znajduje się nad przenośnikiem odbierającym). O osiągnięciu tej pozycji informuje sensor SS2. Następnie przesterowany jest elektrozawór E2 i realizowany poziomy ruch manipulatora, sygnalizowany przez sensor SS4. Kolejnym krokiem jest przesterowanie elektrozaworu E3 i ruch manipulatora w pionie, a sensor SS6 informuje o jego zakończeniu. Następnym krokiem jest przesterowanie elektrozaworu E4 sterującego chwytakiem. Po wykonaniu pozycjonowania samego manipulatora układ sterowania realizuje pozycjonowanie przenośników, uruchamiając napędy M1 oraz M2, i ich przemieszczenie do pozycji krańcowych sygnalizowanych przez wyłączniki krańcowe K1 oraz K2. Następuje wtedy wyzerowanie liczników elementów niskich C1 i wysokich C2, licznika impulsów z enkodera C11 oraz licznika pomocniczego impulsów z enkodera C12.

Po tym pozycjonowaniu układ sterowania uruchamia napęd M1, który przemieszcza płytę podającą do momentu zadziałania sensorów S1 i S2 (przy elemencie wysokim) lub tylko S1 (przy elemencie niskim). W przypadku zidentyfikowania elementu niskiego licznik C1 jest porównywany z licznikiem C11. Gdy $C1 < C11$, napęd M2 przemieszcza



Rys. 4 Model przenośnika odbierającego części: 1 – prowadnica, 2 – sprzęgło, 3 – płyta transportowa, 4 – opaska łącząca, 5 – podpora, 6 – śruba pociągowa, 7 – napęd, 8 – enkoder, 9 – tuleja dystansowa, 10 – łożysko, 11 – nakrętka



Rys. 5 Sterownik mikroprocesorowy
FEC-FC20-FST



Rys. 6 Widok enkodera zamontowanego na końcu wałka
napędowego



Rys. 7 Układ zasilania sprężonym
powietrzem

przenośnik 2 w stronę jego pozycji początkowej, natomiast w przypadku gdy $C1 > C11$, napęd M2 przemieszcza przenośnik 2 w kierunku przeciwnym. Licznik C12 informuje, o ile miejsc ma się przemieścić przenośnik. Po ustawieniu przenośnika 2 w odpowiedniej pozycji oraz zatrzymaniu napędu M2 następują kolejno ruchy siłowników 3 i 2 oraz siłownika obrotowego 1, które przemieszczają chwytak manipulatora nad drugi przenośnik. Jeżeli przenoszony jest element niski, uruchamiany elektrozawór wysuwa tłoczysko siłownika 3 oraz zwiększa wartości licznika C1 (elementów niskich). W przypadku przenoszonego elementu wysokiego wysuwa się tłoczysko siłownika 2, co zwiększa wartości licznika C2. Następnym krokiem jest odłożenie elementu na odpowiednim miejscu przenośnika 2: następuje wtedy powrót chwytaka manipulatora nad przenośnik pierwszy.

Cykl pracy powtarza się, ale pomija pozycjonowanie manipulatora i przenośników, które to czynności wykonywane są tylko przy uruchomieniu układu – po naciśnięciu przycisku „Start”.

Podsumowanie i wnioski

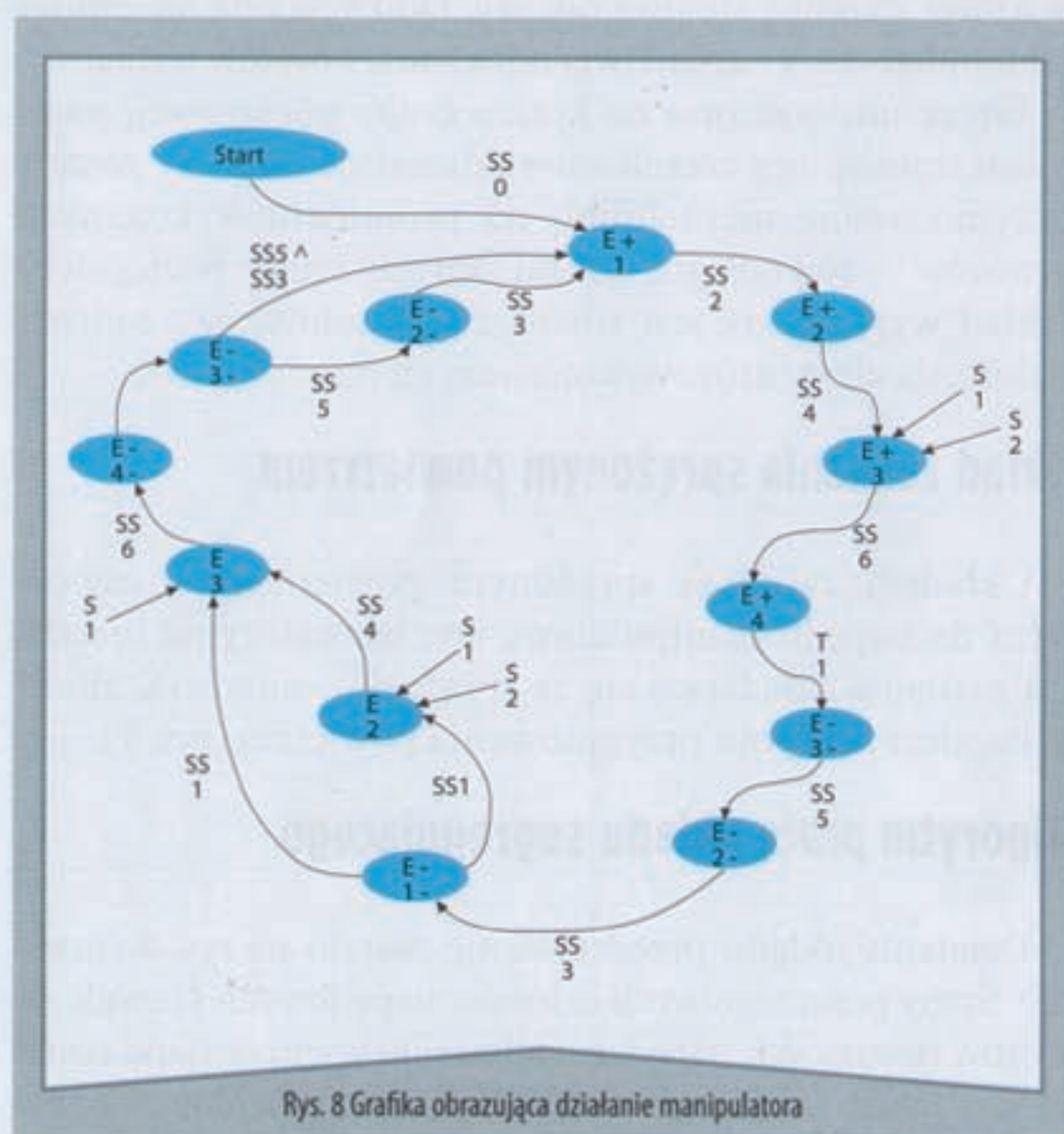
Zaprojektowane i wykonane przenośniki spełniają w pełni założoną funkcję transportu i segregacji elementów we-

dług kryterium wysokości. Wybór modułów manipulatora i ich konfiguracja zapewnia wystarczającą liczbę stopni swobody, pozwalającą na poprawne przenoszenie i segregowanie elementów. W celu przyspieszenia procesu segregacji można wprowadzić regulację prędkości liniowej przenośników. Wymaga to jednak zastosowania sterownika PLC, który posiada wyjścia cyfrowo-analogowe, umożliwiające sterowanie analogowe. Aby zwiększyć elastyczność układu optycznej identyfikacji gabarytowej, można zastosować większą liczbę układów laserowych uaktywnianych programowo ze sterownika. W tym celu konieczna jest zmiana sterownika na sterownik z większą liczbą wejść.

Segregator przeznaczony jest jako laboratoryjne stanowisko dydaktyczne, ale stanowi przykład rzeczywistej linii produkcyjnej. Został on zaprojektowany oraz zaprogramowany jak do przemysłowej linii produkcyjnej, a zastosowany jedynie do modelu o małych rozmiarach gabarytowych – zarówno elementów segregowanych, jak i manipulatora. Dzięki możliwości łatwego wprowadzania modyfikacji w programie, segregator pozwala na naukę programowania sterowników PLC i możliwość funkcjonowania kilku oddzielnych programów wprowadzonych do sterownika. W przypadku segregatora wyrobów zostały wprowadzone dwa reżimy pracy: tryb automatyczny oraz tryb ręczny. ■

Literatura

1. Buratowski T., Kurc K.: *Podstawy robotyki i mechatroniki*. Wykłady prof. Józefa Giergiela. Cz. 1. KRiDM AGH, Kraków 2004.
2. Flaga S.: *Programowanie sterowników PLC w języku drabinkowym*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2005.
3. Jegierski T., Wyrwał J., Kasprzak J., Hajda J.: *Programowanie sterowników PLC*, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice 1998.
4. *Mały poradnik mechanika*, tom 2, WNT, Warszawa 1984.
5. Honczarenko J.: *Roboty przemysłowe*, WNT, Warszawa 2004.
6. *Podstawy konstrukcji maszyn*, praca zbiorowa pod red. Z. Osieńskiego, PWN, Warszawa 1999.
7. Węsierski Ł.: *Podstawy pneumatyki*, Wydawnictwo AGH, Kraków 1990.
8. Ptak Ł., Sawicki M.: *Konstrukcja segregatora wyrobów z zastosowaniem manipulatora modułowego*, praca dyplomowa WBMiL Prz, 2009.
9. Strony internetowe: www.festo.pl, www.plc.pl, www.przenosniki-promag.pl



Rys. 8 Grafika obrazująca działanie manipulatora

➤ **Jakub Takosoglu, Ryszard Dindorf, Paweł Łaski**

Sztuczne mięśnie pneumatyczne PAM (ang. pneumatic artificial muscle) ze względu na sposób działania można traktować jako siłowniki pneumatyczne jednostronnego działania.

Mechanizmy napędowe z mięskami pneumatycznymi w automatyzacji produkcji

Wprowadzenie

Sztuczne mięśnie pneumatyczne zostały wynalezione w latach 50. XX wieku i docelowo miały być wykorzystywane w medycynie do produkcji protez kończyn. Obecnie stosowane są w wielu gałęziach przemysłu, a także znajdują zastosowanie jako elementy napędowe w robotach mobilnych, antropomorficznych i humanoidalnych [3]. Pneumatyczne aktuatory mięśniowe mają różne kształty i charakterystyki w zależności od ich budowy i właściwości materiałowych. Chronologiczny wykaz przedstawiający rozwój sztucznych mięśni pneumatycznych zamieszczono w tabeli 1. Najczęściej wykorzystuje się dwa rodzaje mięśni pneumatycznych, które mogą być oplecione elastyczną siatką o określonych wymiarach geometrycznych i właściwościach sprężystych lub siatka może być zwulkanizowana z gumą. Siatka mocowana jest na końcach aktuatora mięśniowego, tworząc rodzaj sztucznych ścięgien. Siła generowana przez mięsień pneumatyczny zależy od ciśnienia powietrza, jego długości początkowej, stopnia skrócenia oraz własności materiałowych. Przy wzroście ciśnienia powietrza występuje jednocześnie

zwiększenie obwodu i zmniejszenie długości mięskuli, wskutek czego zwiększa się skurcz mięskuli i powstaje osiowa siła ciągnąca, odpowiadająca naprężeniom w elastycznej siatce. W początkowej fazie skrócenia mięskuli powstaje największa siła, która maleje do zera przy maksymalnym jego skróceniu (tylko w przypadku stałego ciśnienia). Poprzez regulację ciśnienia można kontrolować przenoszoną siłę i stopień skrócenia pneumatycznego aktuatora mięśniowego [8].

Układy kinematyczne z mięskami pneumatycznymi

Na rys. 1 przedstawiono różne rozwiązania kinematyczne napędów pneumatycznych z aktuatorami mięśniowymi, które stosowane są w automatyzacji produkcji, robotach, protezach, ortezach oraz egzoskeletonach.

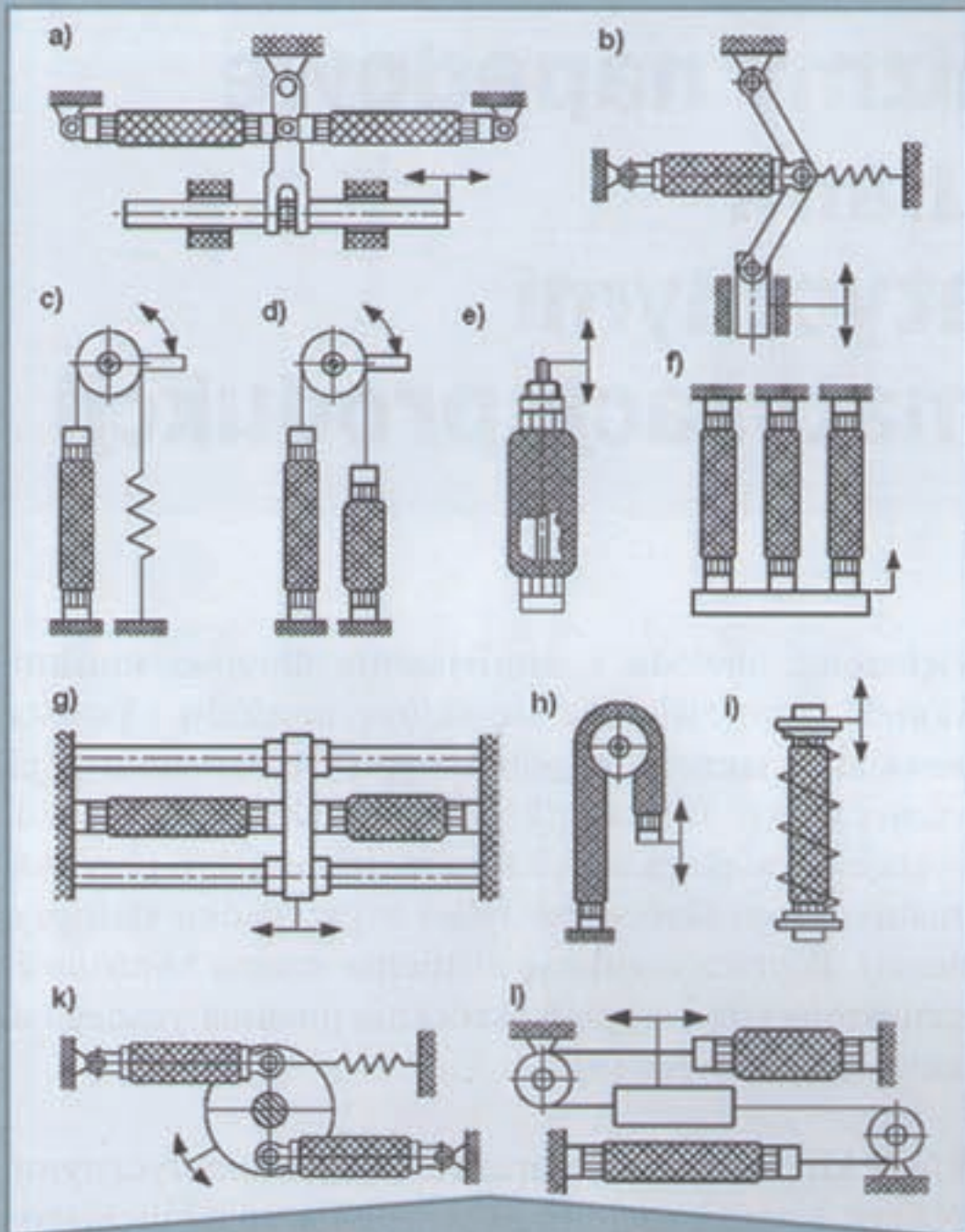
Zastosowanie mięśni pneumatycznych

Mechanizmy z napędem pneumatycznym dają możliwości automatyzacji wielu procesów produkcyjnych. Zastosowanie mięśni pneumatycznych w różnych układach kinematycznych znacznie rozszerza te możliwości. Na rys. 2 i 3 przedstawiono przykłady procesu wykrawa-

Tab. 1 Chronologiczny wykaz pneumatycznych aktuatorów mięśniowych [8]

Nazwa mięskuli	Autor patentu/ projektu	Rodzaj mięskuli
PMA (Pneumatic Muscle Actuator)	Garasiev (1930)	elastyczna powłoka
Morin Muscle	Morin (1953)	elastyczna membrana
McKibben Muscle	McKibben (1956)	pęcherz opleciony
Baldwin Muscle	Balwin (1969)	membrana elastomerowa
Yarlott Muscle	Yarlott (1972)	pęcherz elastomerowy
Kleinwachter	Kleinwachter, Geerk (1972)	skręcana membrana
ROMAC (RObotic Muscle ACtuator)	Immega, Kukulj (1986)	wielopłatowy pęcherz
Kukulj Muscle	Kukulj (1988)	elastyczna siatka
Paynter Knitted Muscle	Paynter (1988)	pęcherz sferyczny

Nazwa mięskuli	Autor patentu/ projektu	Rodzaj mięskuli
Paynter Hyperboloid Muscle	Paynter (1988)	membrana elastomerowa
Sleeved Bladder Muscle	Beullens (1989)	pęcherz w osłonie
UPAM (UnderPressure Artificial Muscle)	Marcinčin, Palko (1993)	membrana
Flexator Muscle	Hennequin (1993)	elastyczna membrana
Fluidic Muscle	Thallerman, Festo (1997)	opleciona rurka
PLAM (Pleated Pneumatic Artificial Muscle)	Daerden (1999)	elastyczna membrana
RPM (Rotary Pneumatic Muscle)	Yee, Coghill (2002)	opleciona rurka



Rys. 1 Układy kinematyczne z napędami mięśniowymi, [10]:

a) liniowy z suwakiem, b) z mechanizmem jarzmowym, c) napęd kątowy jednomięśniowy, d) napęd kątowy dwumięśniowy, e) mięsień usztywniony prętem, f) równoległe połączenie mięśni do wzmocnienia siły, g) z prowadnicami, h) mięsień z rolką, i) mięsień ze sprężyną powrotną, k) połączenie równoległe mięśni do wzmocnienia momentu, l) liniowy z ciągnem

nia oraz napinacz taśmy transportowej z zastosowaniem mięśniów pneumatycznych.

Stanowisko badawcze układu napędowego BMDS

Do budowy stanowiska badawczego wybrano strukturę kinematyczną przedstawioną na rys. 1d. Według schematu przedstawionego na rys. 7 zbudowano stanowisko badawcze pneumatycznego układu napędowego z dwoma przeciwstawnie (antagonistycznie) działającymi aktuatorami mięśniowymi BMDS (ang. bi-muscular driving sys-

tem). Taki układ napędowy jest porównywany do pracy dwóch antagonistycznych mięśni biologicznych.

Elementami wykonawczymi (aktuatorami) są mięśnie pneumatyczne typu DMSP-10-300 o średnicy 10 mm i długości 300 mm, a elementem sterującym jest zawór proporcjonalny przepływu typu MPYE-5-1/8-HF-010-B. Do pomiaru położenia kątowego ramienia zastosowano potencjometr obrotowy węglowy o liniowej charakterystyce ścieżki oporowej, działający jako potencjometryczny dzielnik napięcia (rys. 4).

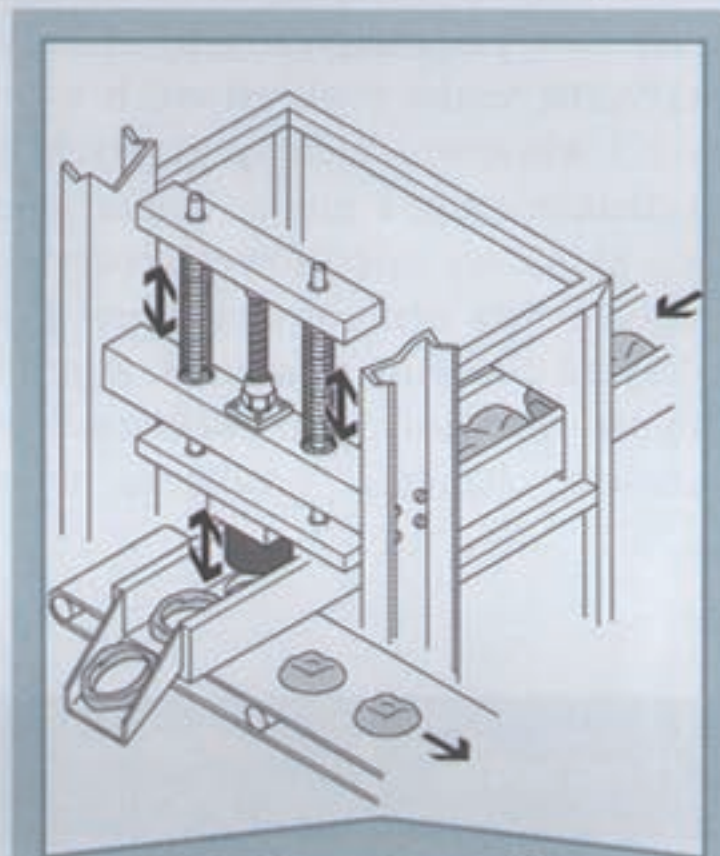
Napięcie wyjściowe dzielnika napięcia można opisać:

$$U_{wy} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{we} \quad (1)$$

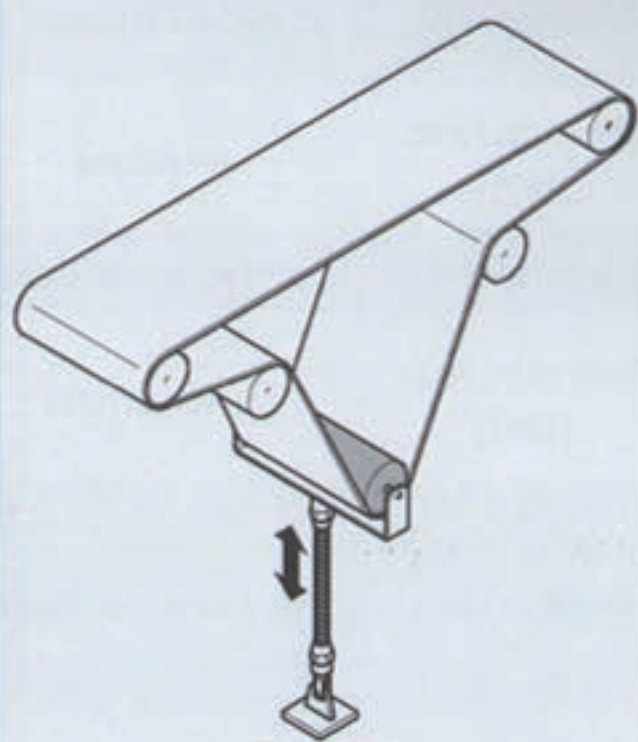
gdzie:

U_{wy} – napięcie wyjściowe,
 U_{we} – napięcie wejściowe,
 R_1, R_2 – rezystancje

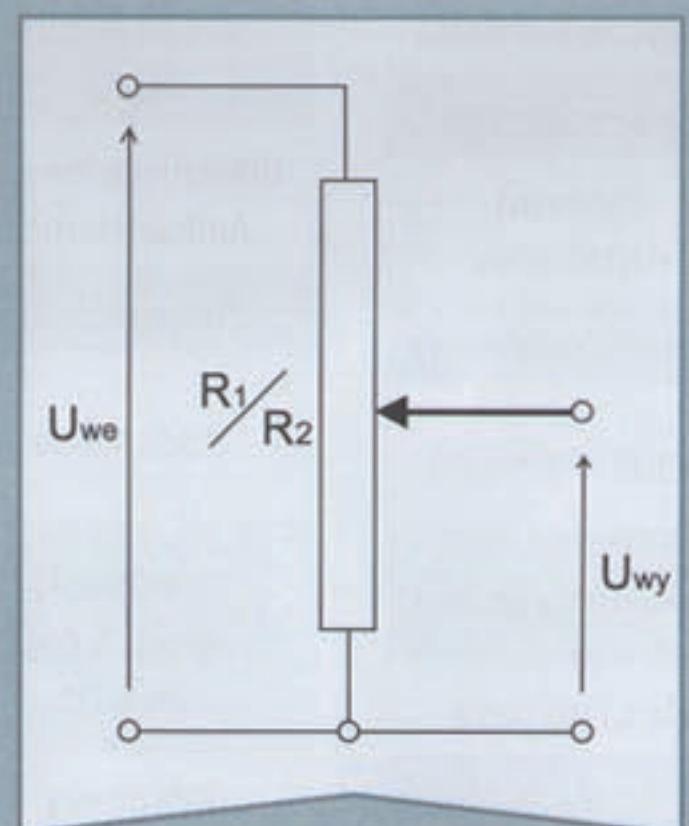
Do zasilania dzielnika napięcia zastosowano zasilacz stabilizowany 10VDC. Na rys. 5 przedstawiono schemat potencjometru obrotowego wykorzystanego jako przetwornik położenia kątowego z wyjściem analogowym 0-10 V. Oporność między zaciskami wyjściowymi przetwornika jest funkcją przesunięcia styku $R = r\alpha$, gdzie r oznacza oporność kąta jednostkowego. Zakres pomiarowy położenia kątowego zależy od budowy potencjometru obrotowego i wynosi 0-300°. Do kalibracji zbudowanego przetwornika zastosowano przetwornik położenia kątowego typu TRANSOLVER o zakresie pomiarowym 0-360°.



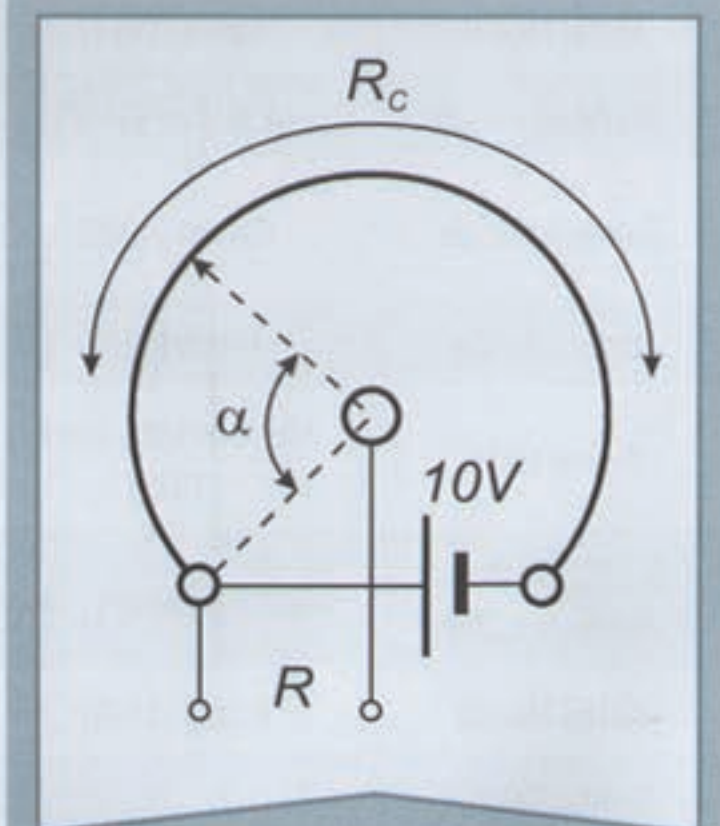
Rys. 2 Proces wykrawania, [9]



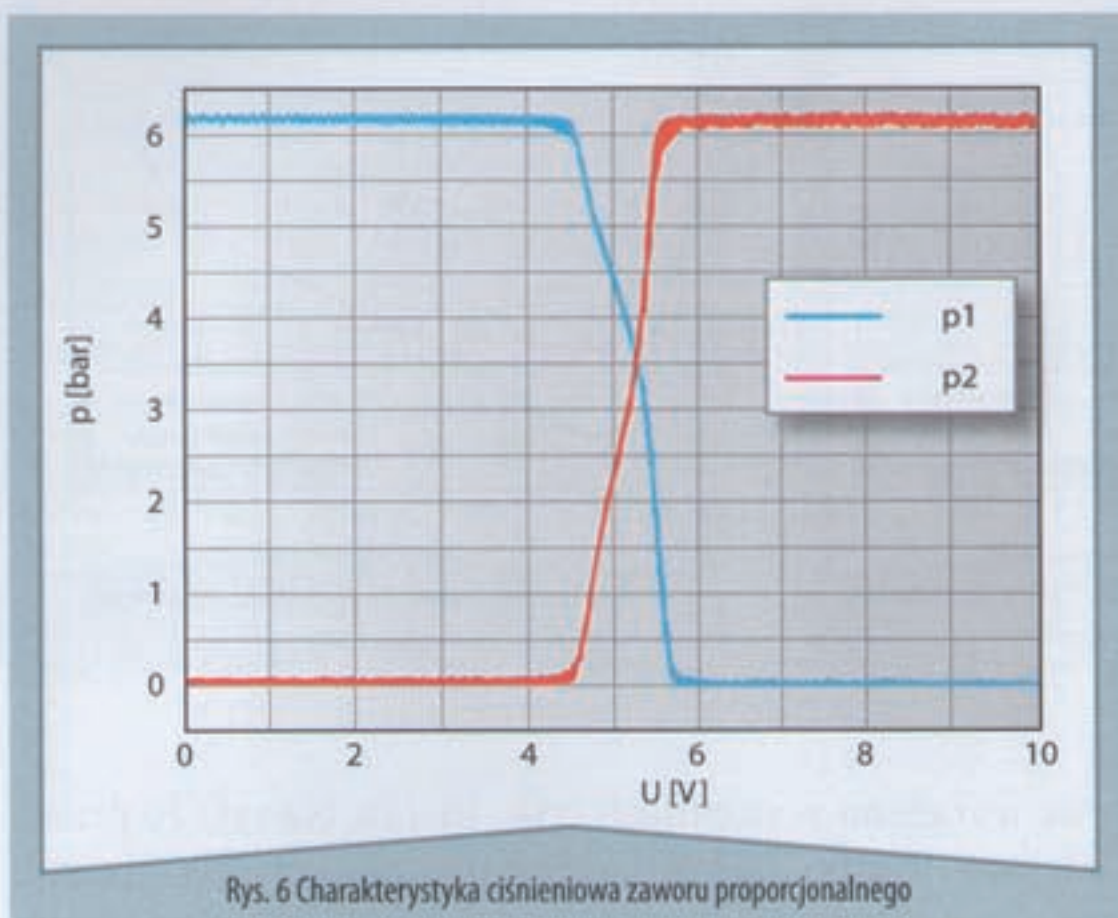
Rys. 3 Napinacz taśmy transportowej, [9]



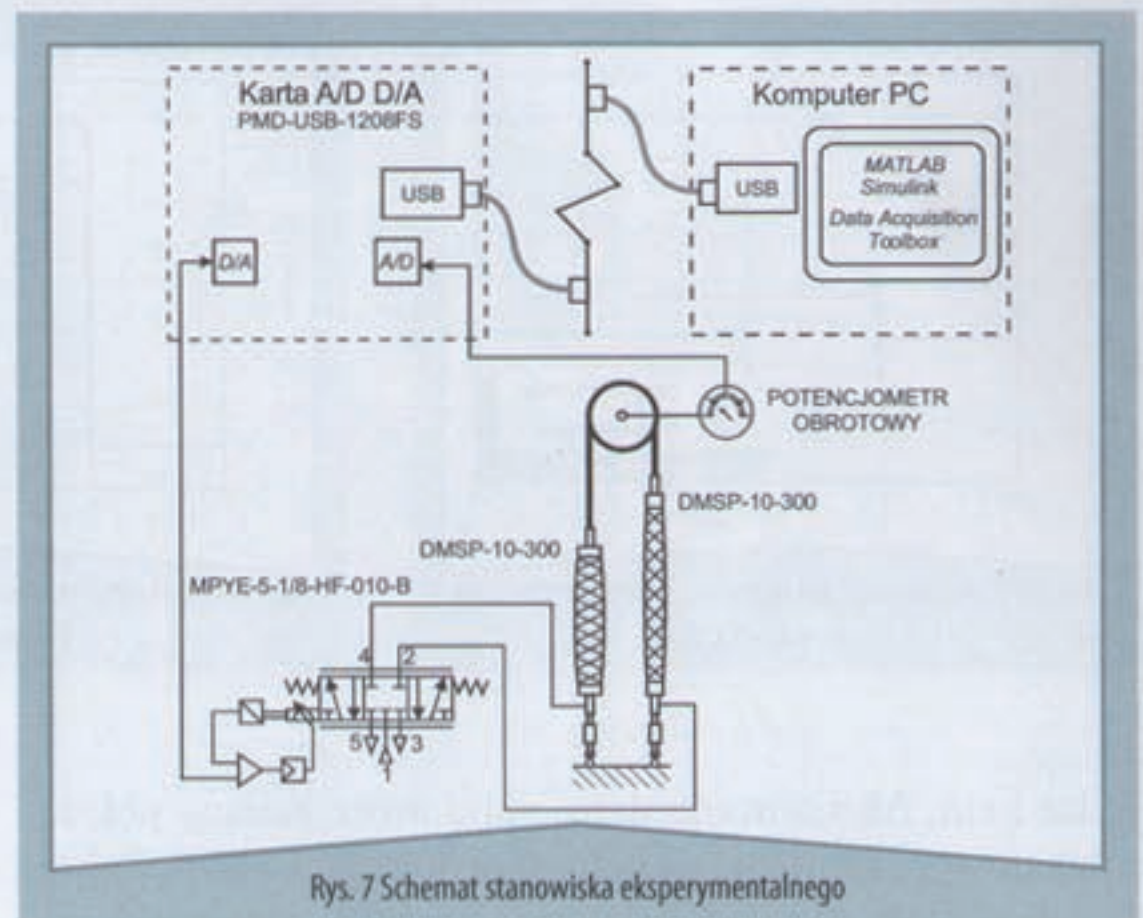
Rys. 4 Potencjometryczny dzielnik napięcia



Rys. 5 Potencjometryczny dzielnik napięcia



Rys. 6 Charakterystyka ciśnieniowa zaworu proporcjonalnego



Rys. 7 Schemat stanowiska eksperymentalnego

Zawór proporcjonalny przepływowy MPYE-5-1/8-HF-010-B jest zaworem 5/3 (pięciodrogowym, trzypołożeniowym) sterowanym napięciowo 0-10 V. Jest to zawór o przepływie nominalnym 700 l/min i częstotliwości przełączania 75 Hz. Pomimo tego, że muskuły pneumatyczne są elementami sterowanymi przez zmiany ciśnienia, w badaniach zastosowano proporcjonalny zawór przepływowy ze względu na jego charakterystykę ciśnieniową $p=f(U)$ (rys. 6), którą w zakresie napięć sterujących 4,5-5,5 V można traktować jako liniową. W zakresie napięć sterujących 0-10 V następuje całkowite i bardzo szybkie otwieranie dróg wyjściowych zaworu, co powoduje szybki skurcz i rozkurcz muskułów pneumatycznych układu napędowego BMDS. Tego typu sterowanie może być wykorzystane do regulacji przestawnej z punktu do punktu. W przypadku zaprojektowanego układu napędowego BMDS będzie to odpowiadało osiągnięciu minimalnego i maksymalnego położenia kąтового ramienia mechanizmu napędowego. Zawór proporcjonalny jest zaworem symetrycznym i posiada dwa wyjścia, które zasilały muskuły pneumatyczne, przez co zwiększanie ciśnienia w jednym muskule powoduje proporcjonalne zmniejszanie ciśnienia w drugim muskule. Takie rozwiązanie znacznie ułatwia sterowanie parą napędową BMDS.

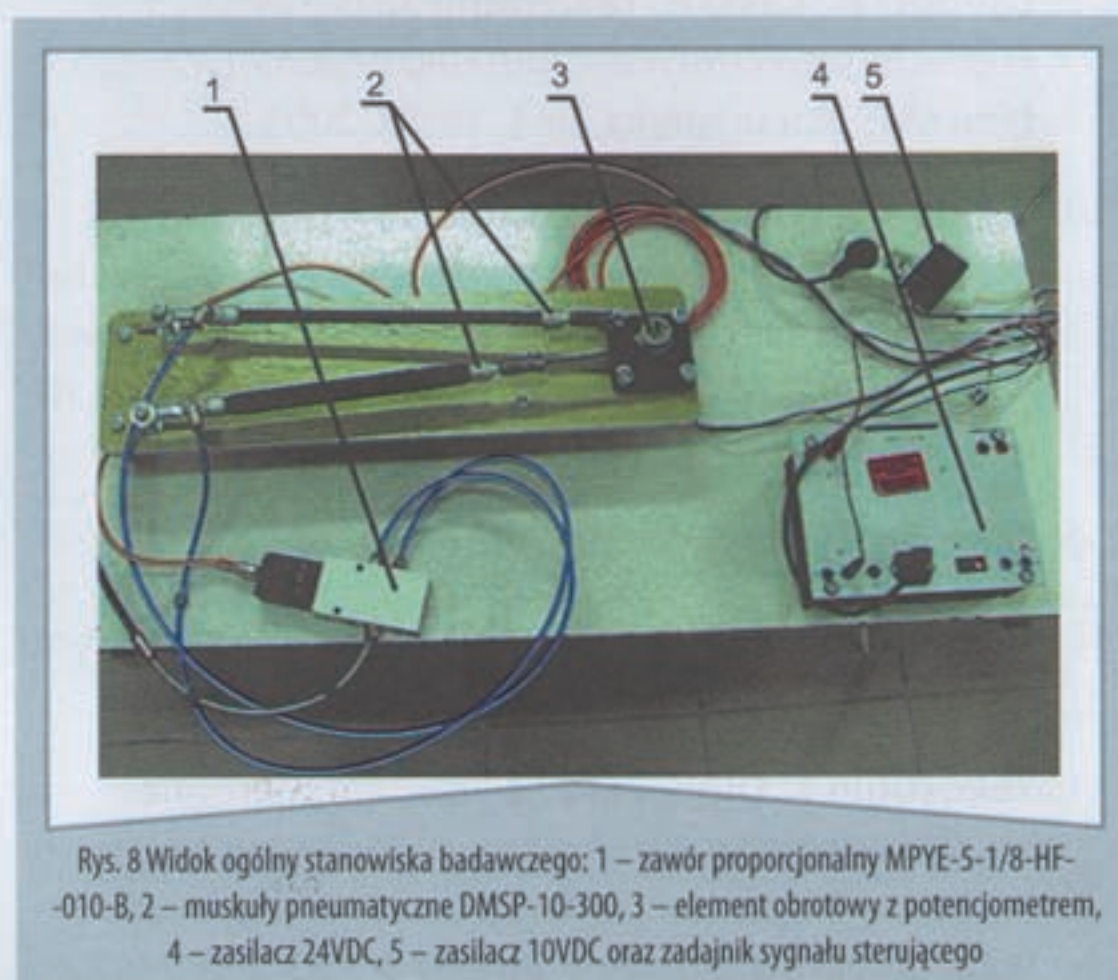
Na rys. 7 przedstawiono schemat, według którego zbudowano stanowisko eksperymentalne z mechanizmem napędowym BMDS.

Muskuły pneumatyczne przymocowano do podstawy za pomocą przegubów kulowych, natomiast po przeciwnej stronie połączono je paskiem uzębionym. Oś obrotu ramienia układu napędowego ułożyskowano za pomocą dwóch łożysk osadzonych w obudowie. Na osi obrotu zamocowano koło zębate, na którym pracuje pasek zębany. Oś obrotu koła zębatego połączono z potencjometrem obrotowym. Widok ogólny stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 8. Na rys. 9 przedstawiono sposób łożyskowania ramienia układu napędowego BMDS oraz osadzenie koła zębatego.

Do sterowania i akwizycji danych pomiarowych wykorzystano kartę AD/DA PMD-USB-1208FS firmy Measurement Computing. Jest to 12-bitowa karta z interfejsem USB. Posiada cztery wejścia analogowe oraz dwa wyjścia analogowe. Współpracuje z oprogramowaniem MATLAB/Simulink, który wraz z Data Acquisition Toolbox wykorzystano do badań eksperymentalnych.

Badania eksperymentalne układu napędowego BMDS

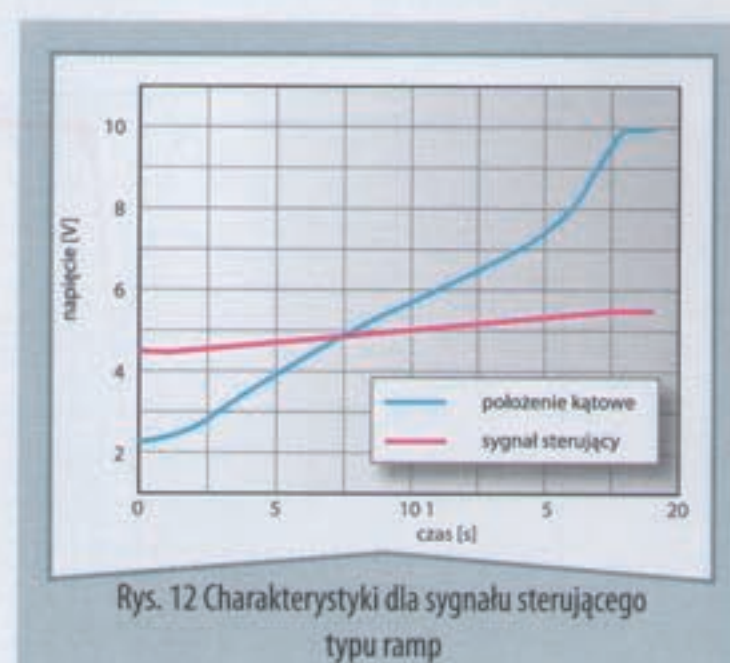
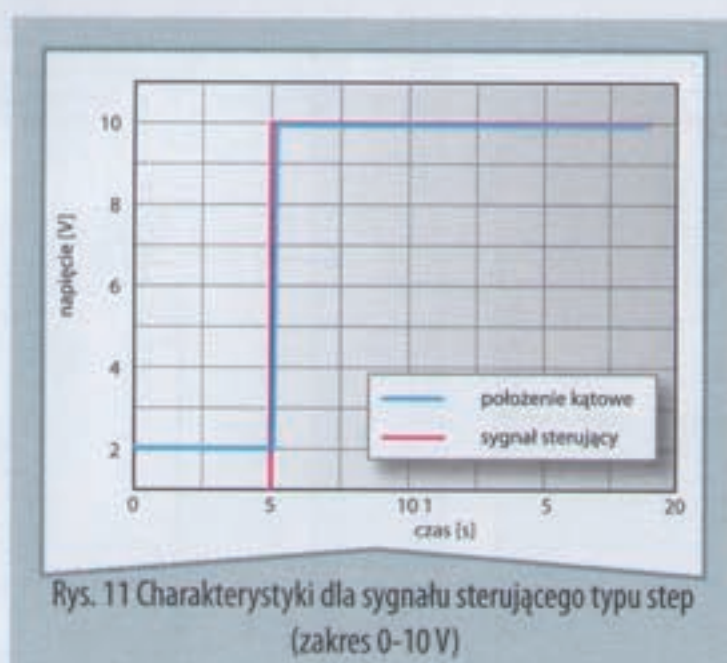
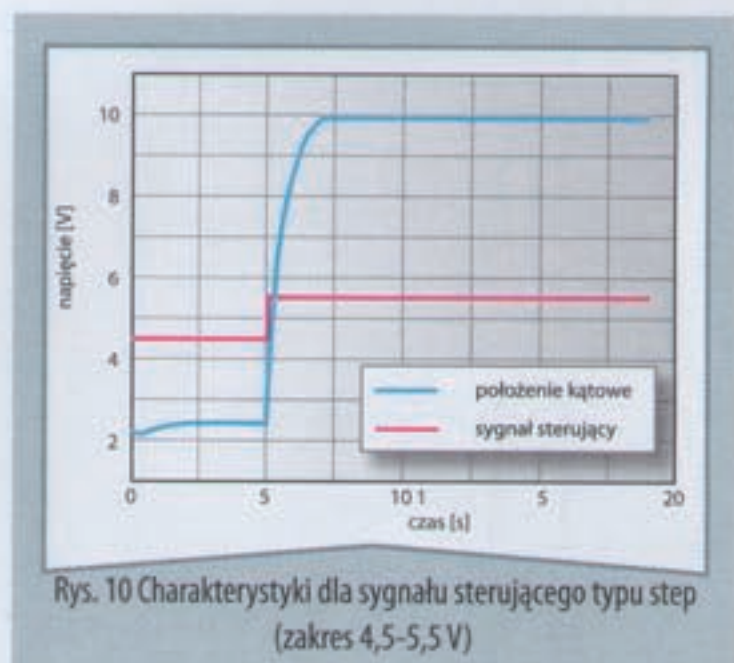
Badania eksperymentalne układu napędowego z dwoma muskułami pneumatycznymi BMDS działającymi przeciwobnie przeprowadzono w otwartej pętli sterowania bez regulatora. Do przetwornika zaworu proporcjonalnego generowano sygnały sterujące różnych typów: ramp, step,



Rys. 8 Widok ogólny stanowiska badawczego: 1 – zawór proporcjonalny MPYE-5-1/8-HF-010-B, 2 – muskuły pneumatyczne DMSP-10-300, 3 – element obrotowy z potencjometrem, 4 – zasilacz 24VDC, 5 – zasilacz 10VDC oraz zadajnik sygnału sterującego



Rys. 9 Widok ogólny elementu obrotowego z kołem zębata

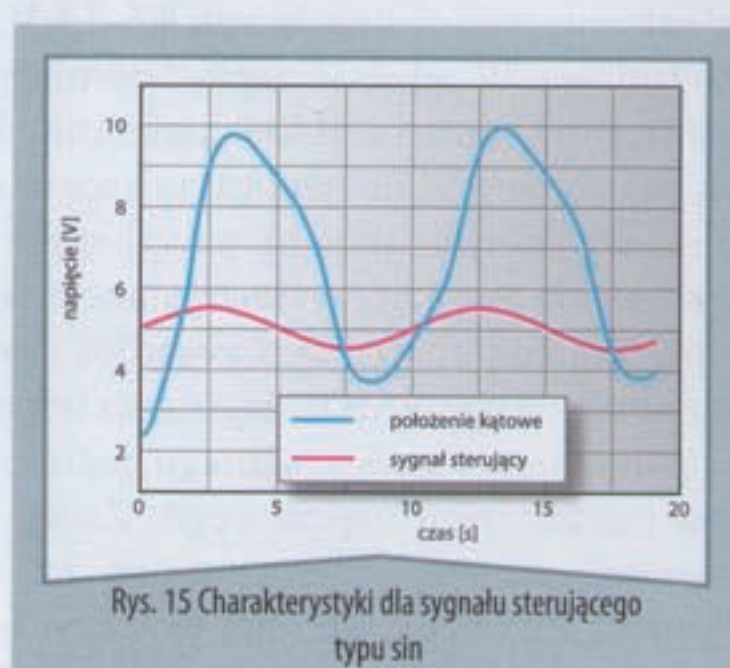
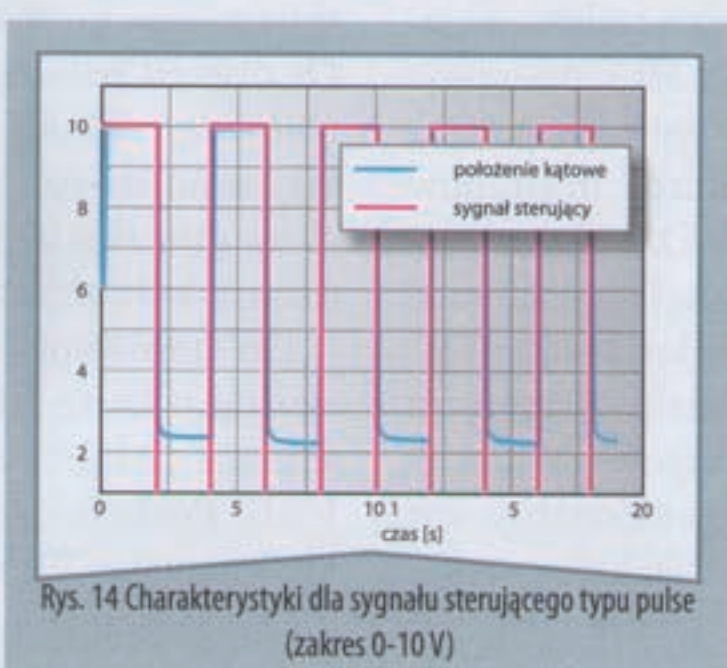
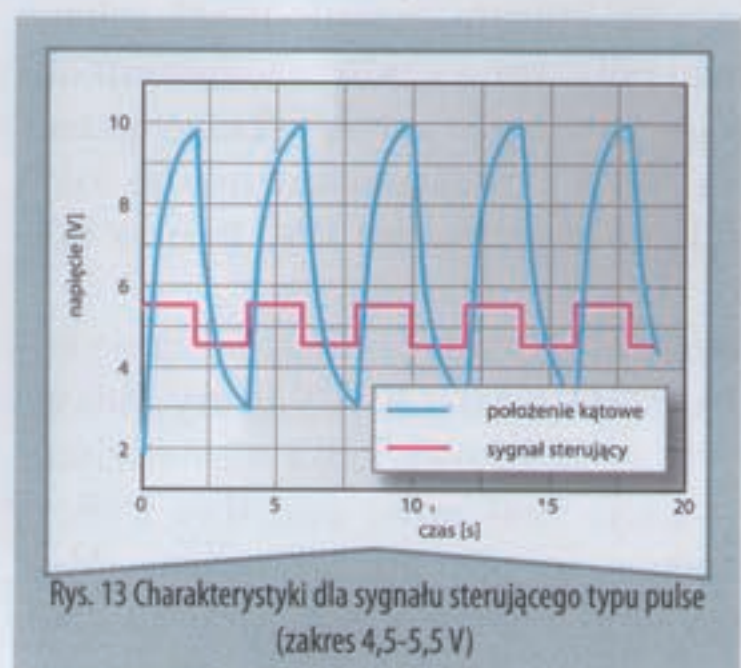


pulse i sin. Akwizowano dane pomiarowe zmiany położenia kątowego ramienia układu napędowego BMDS. Zakres zmian sygnału sterującego wynosi 4,5-5,5 V oraz 0-10 V, natomiast zakres rejestrowanych danych położenia kątowego wynosi 2-10 V. Uwzględniając kalibrację przetwornika położenia kątowego, zakres zmian położenia kątowego wynosi 60-300°. W celu przejrzystego przedstawienia wyników badań eksperymentalnych na wykresach znajdują się dane pomiarowe wyrażone w woltach (rys. 10-15). Dla sygnału sterującego typu pulse z częstotliwością 1 Hz wykorzystano kalibrację przetwornika położenia kątowego i dane pomia-

rowe wyrażono w stopniach (rys. 16-17). Na rys. 10 przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dla sygnału sterującego typu step w zakresie 4,5-5,5 V, natomiast na rys. 11 w zakresie 0-10 V.

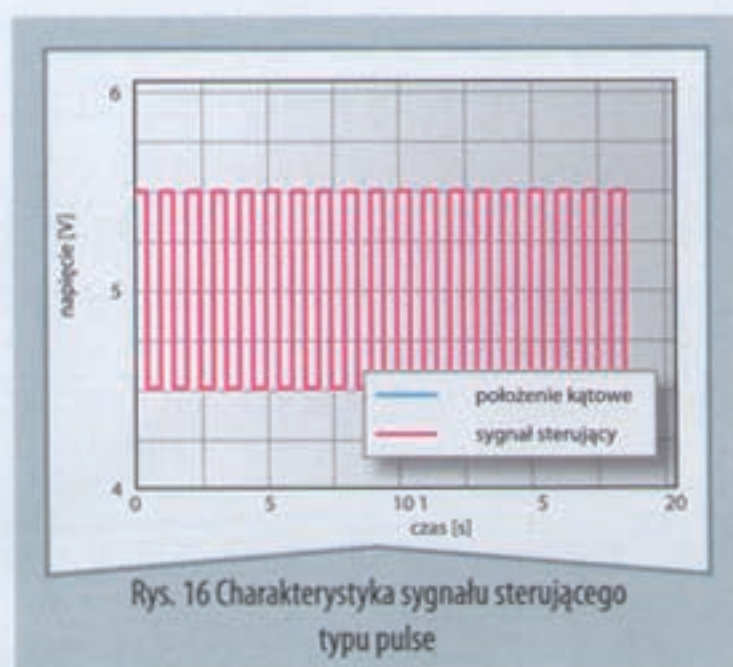
Na rys. 12 przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dla sygnału sterującego typu ramp w zakresie 4,5-5,5 V.

Na rys. 13 przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dla sygnału sterującego typu pulse z częstotliwością 0,25 Hz w zakresie 4,5-5,5 V, natomiast na rys. 14 w zakresie 0-10 V.

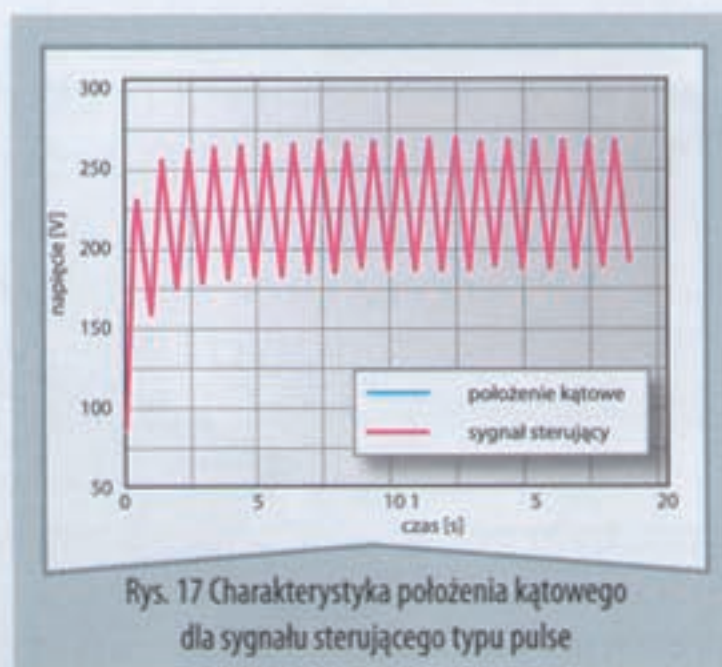


» Literatura

1. **Dindorf R.:** *Muskuł pneumatyczny jako element napędowy*, Napędy i Sterowanie, nr 7-8, 32-35, 2003a.
2. **Dindorf R.:** *Static and dynamic models of pneumatic muscle actuator*, Proc. The 18th International Conference on Hydraulics and Pneumatics, 295-304, 2003b.
3. **Dindorf R.:** *Model i charakterystyki muskułów pneumatycznych*. Pomiary-Automatyka-Robotyka, nr 2, 24-25, 2004a.
4. **Dindorf R.:** *Stanowisko do badania muskułów pneumatycznych typu MAS*, Pneumatyka, nr 5, 35-38, 2004b.
5. **Dindorf R.:** *Mechatronika w napędach płynowych*. Pneumatyczne akulatory mięśniowe, Hydraulika i Pneumatyka, nr 5, 5-12, 2008.
6. **Dindorf R., Łaski P.:** *Muskuły pneumatyczne. Budowa, parametry, zastosowanie*. Pneumatyka, nr 2, 46-48, 2003.
7. **Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J.:** *Doświadczalne charakterystyki statyczne muskułu pneumatycznego typu MAS*, Pneumatyka, nr 4, 16-19, 2005.
8. **Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J.:** *Projekt nowego muskułu pneumatycznego typu pęcherzowego*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, seria Budowa i Eksploatacja Maszyn, nr 11, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 75-80, 2008.
9. Festo: Fluidic Muscle DMSP/MAS, 2008.
10. **Hesse S.:** *Fluidic Muscle in applications*, Blue Digest on Automation, Esslingen, 2003.
11. **Takosoglu J., Dindorf R.:** *Sterowanie pozycyjne muskułu pneumatycznego typu MAS*, Zeszyt Naukowy Budowa i Eksploatacja Maszyn, nr 7, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 195-200, 2007.



Rys. 16 Charakterystyka sygnału sterującego typu pulse



Rys. 17 Charakterystyka położenia kątowego dla sygnału sterującego typu pulse

Na rys. 15 przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dla sygnału sterującego typu sin w zakresie 4,5-5,5 V.

Na rys. 16 i 17 przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dla sygnału sterującego typu pulse z częstotliwością 1 Hz w zakresie 4,5-5,5 V.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono układy kinematyczne z pneumatycznymi aktuatorami mięśniowymi oraz analizowano możliwości ich zastosowania w automatyzacji produkcji. Przedstawiono stanowisko eksperymentalne mechanizmu napędowego BMDS z dwoma przeciwstawnie (antagonistycznie) działającymi mięśniami pneumatycznymi typu DMSP-10-300 oraz wyniki badań eksperymentalnych sterowania w układzie otwartym położeniem kątowym mechanizmu napędowego. Przedstawiono sterowanie mięśniami przy pomocy proporcjonalnego zaworu przepływowego. Zaletą takiego rozwiązania jest zastosowanie tylko jednego elementu sterującego parą mięśni. Do sterowania mięśni pneumatycznych wykorzystano pewną część charakterystyki ciśnieniowej proporcjonalnego zaworu przepływowego.

Na wykresach zmian położenia kątowego układu napędowego w funkcji czasu można zauważyć histerezę pracy mięśni pneumatycznych. W trakcie badań ekspery-

mentalnych zaobserwowano również zjawisko znacznego nagrzewania się mięśni, szczególnie podczas pracy z dużymi częstotliwościami. Nagrzewanie spowodowane jest tarcie występującym wewnątrz struktury materiału, z którego zbudowane są mięśnie. Badania eksperymentalne wykazały, że układ napędowy BMDS pracował poprawnie z miękkim startem i zatrzymaniem w czasie wolnych i szybkich zmian położenia kątowego.

Sterowanie w układzie otwartym może znaleźć zastosowanie w niektórych procesach automatyzacji produkcji. Znajomość charakterystyk statycznych mięśni pneumatycznych uwzględniona w takim sposobie sterowania może dodatkowo poprawić sterowanie. W celu wyeliminowania niekorzystnych zjawisk zachodzących w mięśniach pneumatycznych oraz w procesach, gdzie wymagane jest sterowanie pozycyjne o określonej jakości regulacji, należy zastosować regulator (np. regulator PID lub regulator rozmyty).

dr inż. Jakub Takosoglu*,
dr hab. inż. Ryszard Dindorf, prof. nadzw.**,
dr inż. Paweł Łaski*

*Zakład Mechatroniki, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

**Katedra Maszyn Ciepłych i Przepływowych, Wydział Energetyki i Paliw, Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

qba@tu.kielce.pl, dindorf@tu.kielce.pl,
pawell@tu.kielce.pl

Summary

Driving mechanism with pneumatic actuator in production automation

In paper the kinematic systems with pneumatic actuators, test stand and experimental results the bi-muscular driving system was presented. The test stand consists of two pneumatic muscle DMSP-10-300 with diameter of 10 mm and length of 300 mm, proportional 5/3 control valve MPYE-5-1/8-HF-010-B controlled by 0-10 V voltage of nominal flow rate 700 l/min and switching frequency 75 Hz, rotational potentiometric transducer. Positioning control of pneumatic bi-muscular driving system was designed and constructed by means of Data Acquisition Toolbox of MATLAB-Simulink package.

Streszczenie

W artykule przedstawiono układy kinematyczne z pneumatycznymi aktuatorami mięśniowymi oraz analizowano możliwości ich zastosowania w automatyzacji produkcji.

Przedstawiono stanowisko eksperymentalne mechanizmu napędowego BMDS z dwoma przeciwstawnie działającymi mięśniami pneumatycznymi typu DMSP-10-300 oraz wyniki badań eksperymentalnych sterowania położeniem kątowym mechanizmu napędowego.

➤ **Łukasz Węsierski**

XVIII konferencja PNEUMA 2010

Zapowiadana przez naszą redakcję XVIII konferencja PNEUMA 2010 odbyła się po raz kolejny w dworku Mejera nad jeziorem Hołny w dniach od 6 do 9 czerwca br., a zorganizowana została przez Katedrę Automatyki i Robotyki Politechniki Białostockiej.

Do tego malowniczego zakątka Podlasia przybyło ponad 50 osób z 45 referatami z zakresu pneumatyki i automatyki oraz dziedzin pokrewnych. Reprezentowane były ośrodki naukowe z Białegostoku, Bydgoszczy, Częstochowy, Gdańska, Kielc, Koszalina, Krakowa, Krosna, Poznania, Radomia, Rzeszowa i Wrocławia.

Prezentacja referatów odbyła się w 5 sesjach, a ich tematyka tym razem była bardziej zróżnicowana. Osią pozostały jednak układy płynowe – hydrauliczne i pneumatyczne – oraz problemy pomiarów i sterowania układami z takimi elementami. Nową tematyką rozszerzającą profil konferencji były zagadnienia związane z materiałami magnetoaktywnymi, w tym stosowanymi między innymi w tłumikach magneto-reologicznych i płynowych elementach sterujących. Referaty były drukowane w kilku czasopismach: „Acta Mechanica and Automatica”, „Journal of Applied Mechanics and Engineering”, „Hydraulice i Pneumatyce” oraz – rzecz jasna – w naszej „Pneumatyce”.

Mimo że z producentów pneumatyki był tylko przedstawiciel firmy Festo, prezentujący systemy amortyzacji siłowników pneumatycznych, to duża część referatów dotyczyła przemysłowych zastosowań hydrauliki i pneumatyki. Wymienić tu można układy hamulcowe w pojazdach, amortyzatory siedisk, manipulatory z napędem pneumatycznym, pulsatory hydrauliczne, układy redukcji drgań, hydrauliczne podpory górnicze, czujniki pomiarowe itp. Trudno w tym miejscu omówić wszystkie referaty, ale trzeba powiedzieć, że żywa dyskusja toczyła się nie tylko na sali obrad, ale również podczas spotkań towarzyskich. Uczestnicy trochę żalowali, że tak skromnie reprezentowany był przemysł, który mógłby wykorzystać i wdrożyć wiele ciekawych, zaproponowanych na tym forum pomysłów.

Poziom wszystkich referatów bardzo wysoko ocenił przewodniczący komitetu naukowego prof. Franciszek Siemieniako, o czym świadczy między innymi wydrukowanie ich w renomowanych czasopismach.

Organizatorzy zapewnili uczestnikom konferencji możliwość wypełnienia czasu wolnego i przewidzieli wycieczkę po okolicy, zwiedzanie klasztoru poddominikańskiego w Wigrach, rejs statkiem po jeziorach augustowskich i odwiedzenie sanktuarium w Studzienicznej. Przyjazna atmosfera konferencji, długie formalne i nieformalne dyskusje są gwarancją na kolejne, 19. już spotkanie PNEUMA, które odbędzie się w 2012 roku – możliwe, że w tym samym miejscu. Organizatorzy proponują przedłużenie konferencji o jeden dzień i przeznaczenie go na spotkanie z przemysłem, w tym również okolicznym. ■



➤ Zbigniew Kamiński

Przepływ powietrza przez opory, zawsze towarzyszący procesom napełniania lub opróżniania zbiorników i komór różnego rodzaju elementów pneumatycznych, jest zjawiskiem istotnie wpływającym na charakterystyki eksploatacyjno-użytkowe maszyn i urządzeń wykorzystujących napęd i sterowanie pneumatyczne.

Wyznaczanie charakterystyki przepływowej oporów pneumatycznych metodą pośrednią

Wprowadzenie

Identyfikacja charakterystyki przepływowej oporu, czyli zależności masowego strumienia powietrza przepływającego przez opór od czynników ten przepływ wywołujących, jest w przypadku elementów o złożonej budowie możliwa jedynie na drodze eksperymentalnej.

Metody eksperymentalnego wyznaczania charakterystyki przepływowej urządzeń i układów pneumatycznych można umownie podzielić na dwie grupy. Do pierwszej zalicza się sposoby bezpośredniego pomiaru masowego strumienia powietrza przepływającego przez badany element, do drugiej – sposoby pośredniej oceny strumienia, kiedy nie mierzy się wydatku, lecz inne zależne od niego wielkości, np. wzrost lub spadek ciśnienia w komorze o stałej objętości (tzw. metody zbiornikowe).

W praktyce badawczej szersze zastosowanie znajdują metody pośredniego wyznaczania właściwości przepływowych urządzeń i układów pneumatycznych. Metody te charakteryzują się większą prostotą, mniejszym zużyciem energii i nie wymagają drogiej aparatury pomiarowej (przepływomierz). Celem niniejszej pracy jest zaprezentowanie metodyki badania właściwości przepływowych elementów pneumatycznych, polegającej na opróżnianiu przez badany element komory o stałej objętości (metoda zbiornikowa).

Metodyka badań

W pracy [9] wykazano, że wykorzystywane w obliczeniach inżynierskich matematyczne modele charakterystyk przepływowych typowych oporów pneumatycznych (dysz, dławików, przewodów) mają podobną strukturę matematyczną. Ujednolicenie opisu matematycznego masowego strumienia przepływu powietrza przez opór wymagało sprowadzenia znanych z literatury wzorów teoretycznych i empirycznych do postaci stosowanej dla adiabaticznego przepływu przez dyszę [7]:

$$m = (\mu A) \frac{P_{in}}{\sqrt{RT_{in}}} \Psi_{max} \Psi(\sigma) \quad \sigma = \frac{P_{ex}}{P_{in}} \quad (1)$$

po unormowaniu funkcji przepływu $\Psi(\sigma)$ w taki sposób, aby zarówno jej argumenty, jak i wartości zmieniały się

od 0 do 1. Dla dysz opisanych zależnością Saint-Venanta i Wantzela:

$$\Psi(\sigma) = \begin{cases} 1 & \text{przy } \sigma \leq \sigma_* \\ \frac{1}{\Psi_{max}} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \left(\sigma^{\frac{2}{\kappa}} - \sigma^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right)} & \text{przy } \sigma_* < \sigma \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

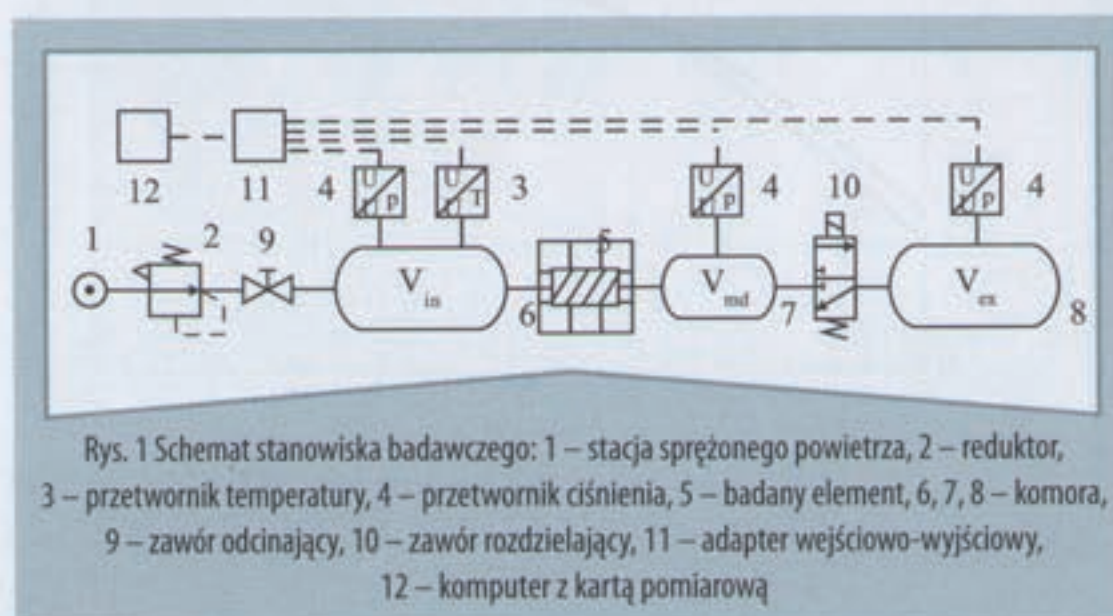
- (μA) – konduktancja (efektywne pole przepływu) [m²];
- T_{in} – temperatura powietrza przed oporem [K];
- κ – wykładnik adiabaty,
- R – indywidualna stała gazowa [J/(kgK)];
- σ – iloraz ciśnienia p_{ex} [Pa] za oporem do ciśnienia p_{in} [Pa] przed oporem;
- Ψ_{max} – parametr stały, wyliczony z zależności Saint-Venanta i Wantzela dla krytycznego ilorazu ciśnienia σ^* :

$$\Psi_{max} = \sqrt{\kappa \left(\frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}} = 0,68473 \quad (3)$$

Z analizy zależności (1) wynika, że wyznaczenie właściwości przepływowych elementu pneumatycznego sprowadza się do identyfikacji przewodności (μA) oraz parametrów funkcji przepływu $\Psi(\sigma)$.

Opracowana metoda wyznaczenia właściwości przepływowych obejmuje następujące etapy:

- wykonanie eksperymentów fizycznych, polegających na przepływie powietrza przez badany element
- numeryczną identyfikację parametrów charakterystyki



- ♦ ocenę statystyczną uzyskanych wyników.

Stanowisko badawcze do prowadzenia badań doświadczalnych pokazano schematycznie na rys. 1.

W procesie przejściowym, po przesterowaniu rozdzielacza 9, rejestrowane są ciśnienie powietrza w zbiorniku opróżnianym 6, pojemności pośredniej 7, znajdującej się za badanym elementem, oraz w komorze napełnianej 8. Przed każdym doświadczeniem mierzy się w warunkach ustalonych temperaturę początkową T_0 powietrza w zbiorniku opróżnianym 6.

Po zakończeniu etapu badań doświadczalnych rozpoczyna się proces numerycznej identyfikacji parametrów charakterystyki przepływowej. Korzystając z zarejestrowanych przebiegów doświadczalnych ciśnienia przed p_{in} i ciśnienia p_{ex} za badanym elementem, poszukuje się w kolejnych iteracjach przebiegu teoretycznego ciśnienia p_{int} w zbiorniku opróżnianym, rozwiązując numerycznie układ równań opisujących proces jego opróżniania:

$$\frac{dp_{int}}{dt} = -\frac{\kappa \cdot R \cdot T_{int}}{V_{in}} \cdot \dot{m} \quad T_{int} = T_0 (p_{int} / p_0)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

$$\dot{m} = (\mu A) \frac{p_{int}}{\sqrt{RT_{int}}} \Psi_{max} \Psi \left(\frac{p_{ex}}{p_{int}} \right) \quad (4)$$

gdzie:

T_0, p_0 – początkowa temperatura [K] i ciśnienie [Pa] w zbiorniku opróżnianym,

V_{in} – objętość zbiornika opróżnianego [m³],

$\dot{m}$ – strumień masy powietrza wypływający ze zbiornika [kg/s].

Przyjęto przy tym założenie upraszczające, że rozprężanie w zbiorniku V_{in} zachodzi bez wymiany ciepła z otocze-

niem. Wyniki badań eksperymentalnych [5] dla procesu trwającego krócej niż 10 s potwierdzają, że rozprężanie jest wtedy bliskie adiabatycznemu.

Wartości parametrów charakterystyki przepływowej, czyli konduktancji (μA) i parametrów funkcji przepływu $\Psi(\sigma)$, ustalane są w procesie minimalizacji ważonej sumy kwadratów różnic między ciśnieniem doświadczalnym i teoretycznym w komorze opróżnianej:

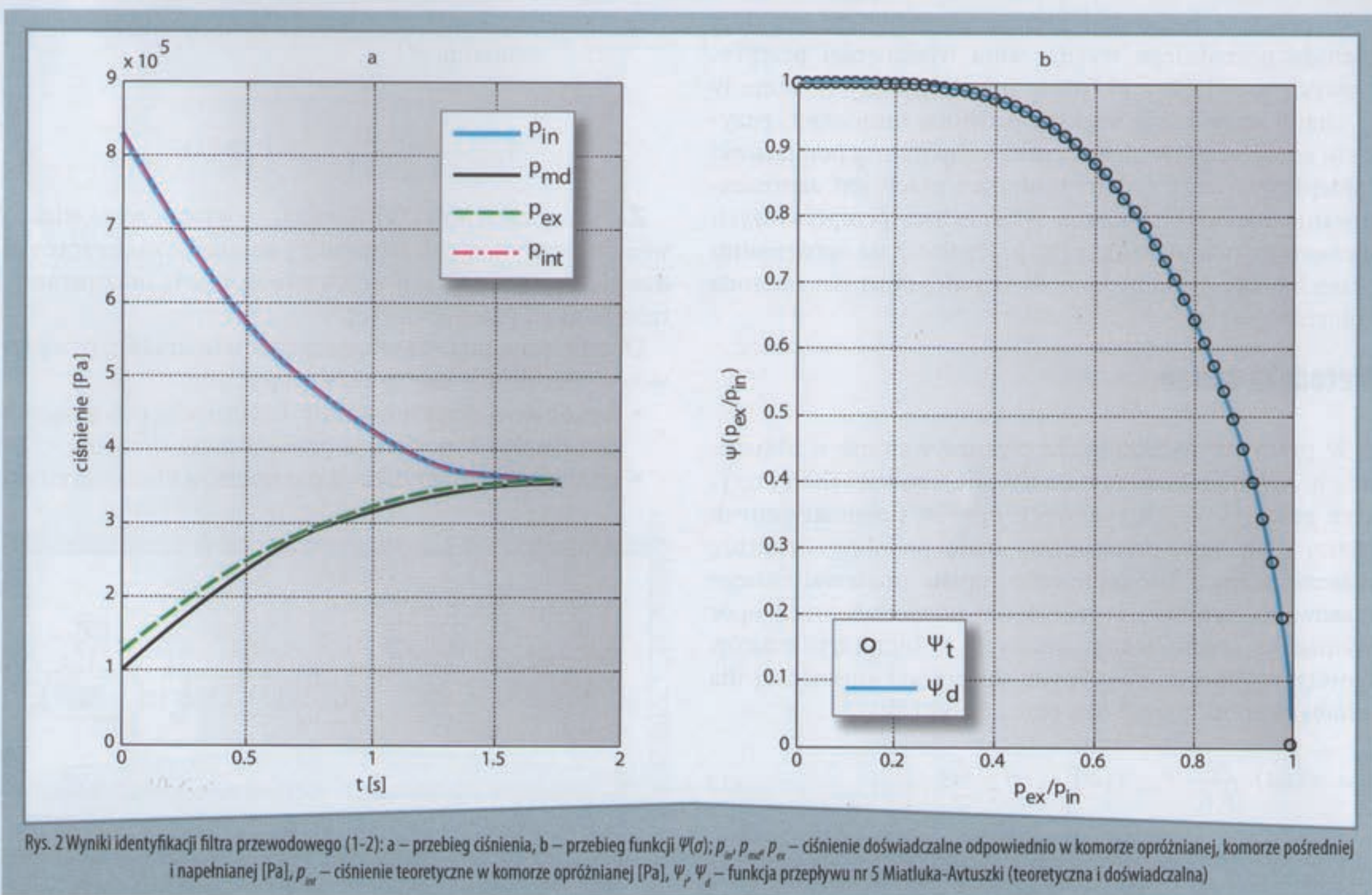
$$\sum \left(\frac{p_{in} - p_{int}}{p_{in}} \right)^2 \quad (5)$$

aż do osiągnięcia żądanej dokładności obliczeń. Przykładowe wyniki ciśnienia doświadczalnego i teoretycznego po identyfikacji pokazano na rys. 2. Obliczenia numeryczne prowadzono w programie komputerowym Matlab, wykorzystując procedurę ode23tb do rozwiązywania równań różniczkowych oraz procedurę sympleksu Nelder-Meada do znalezienia wartości poszukiwanych parametrów, optymalnych ze względu na przyjęte kryterium. Do identyfikacji wykorzystano część danych, tj. około kilkuset punktów pomiarowych z każdego powtórzenia, odpowiadających procesowi przejściowemu.

Do weryfikacji zaproponowanego modelu charakterystyki przepływowej, polegającej na porównaniu wyników liczbowych uzyskanych z modelu z wynikami uzyskanymi z badań empirycznych, wykorzystano następujące wskaźniki [8]:

- ♦ wskaźnik determinacji:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{mi} - \bar{y}_m)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (6)$$



Rys. 2 Wyniki identyfikacji filtra przewodowego (1-2): a – przebieg ciśnienia, b – przebieg funkcji $\psi(\sigma)$; p_{in}, p_{md}, p_{ex} – ciśnienie doświadczalne odpowiednio w komorze opróżnianej, komorze pośredniej i napełnianej [Pa], p_{int} – ciśnienie teoretyczne w komorze opróżnianej [Pa], ψ_t, ψ_d – funkcja przepływu nr 5 Miatłuka-Awtuszki (teoretyczna i doświadczalna)

- średni błąd względny:

$$W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - y_{mi}}{y_{mi}} \right| \quad (7)$$

- współczynnik dopasowania:

$$D = 1 - \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_{mi}|}{\max |y_i - y_{mi}|} \quad (8)$$

gdzie:

- n – liczba wartości w każdym ze zbiorów,
- y_i – wartości badanej cechy uzyskane z pomiarów,
- y_{mi} – odpowiadające im wartości wyznaczone z modelu,

$\bar{y}, \bar{y}_m$ – wartości średnie:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad \bar{y}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{mi}$$

Ponadto sprawdzano istotność współczynnika determinacji, wykorzystując statystykę o rozkładzie t-Studenta [11] przy poziomie istotności 0,05.

$$t = \sqrt{n-2} \frac{R}{\sqrt{1-R^2}} = \sqrt{(n-2) \frac{R^2}{1-R^2}} \quad (9)$$

Wartość współczynnika determinacji uznawano za dostatecznie dużą (zachodzi korelacja) dla $t > t_p, n-2$, określonego dla liczby stopni swobody $n-2$ i poziomu istotności $p=0.05$.

Po zakończeniu procedury identyfikacyjnej prowadzono obliczenia statystyczne w programie Excel w celu oceny adekwatności i istotności uzyskanych modeli matematycznych charakterystyk przepływowych badanych elementów. Na początku sprawdzano normalność rozkładu zidentyfikowanych parametrów, stosując test skośno-

Tab.1 Wyniki badań filtra przewodowego HF 01 (kierunek przepływu 1-2) dla różnych funkcji przepływu

Kierunek przepływu 1-2		Funkcja przepływu $\Psi(\sigma)$	
Postać funkcji przepływu		Parametry i wskaźniki oceny identyfikacji	
		$\mu A [m_s], a, b, c$	W, D, R^2 (max/min)
1. Saint-Venant i Wantzel		$\mu A = (52.853 \pm 0.078) \cdot 10^{-6}$	$W = 0.0134/0.0128$ $D = 0.3936/0.3756$ $R^2 = 0.9978/0.9976$
2. Prandtl		$\mu A = (53.067 \pm 0.077) \cdot 10^{-6}$	$W = 0.0122/0.0116$ $D = 0.3985/0.3766$ $R^2 = 0.9982/0.9980$
3. Sanville [13], ISO 6358		$\mu A = (56.773 \pm 0.122) \cdot 10^{-6}$	$\sigma^* = 0.144 \pm 0.004$ $W = 0.0025/0.0022$ $D = 0.6831/0.6430$ $R^2 = 0.9999/0.9999$
4. Miatluk-Avtusko [10]		$\mu A = (58.656 \pm 0.121) \cdot 10^{-6}$	$b = 1.162 \pm 0.001$ $W = 0.0025/0.0023$ $D = 0.6798/0.6555$ $R^2 = 0.9999/0.9999$

ści i kurtozy [1], [4]. Do eliminacji wyników obarczonych błędem grubym stosowano test Grubbsa [2].

Wyniki badań

Opracowaną metodykę zastosowano do badania właściwości przepływowych elementów układów pneumatycznych pojazdów rolniczych. Przykładowe wyniki identyfikacji konduktancji (μA) oraz parametrów funkcji przepływu filtra przewodowego, otrzymane po wykonaniu eksperymentów fizycznych w 11 powtórzeniach, zestawiono w tab.1. Do określenia przedziału ufności wartości oczekiwanej wykorzystano rozkład t-Studenta przy poziomie istotności $p=0,05$.

Uzyskane wartości wskaźników W i D (średni błąd względny i współczynnik dopasowania) oceny jakości procesu identyfikacji parametrów filtra przewodowego

oraz innych elementów układów hamulcowych uprawniają do stwierdzenia, że najmniejszą dokładność wykazują funkcje przepływu nr 1, 2, 10 i 11.

Do najbardziej dokładnych należą rozbudowane matematycznie funkcje Woelkego (nr 6 i 7), funkcja Sanville'a (nr 3), funkcja nr 8, funkcja Miatluka-Avtuszki (nr 4) oraz funkcja nr 9.

W przypadku kilku badanych elementów stwierdzono brak rozkładu normalnego oraz duże wartości wariancji identyfikowanych parametrów funkcji przepływu nr 6, 7 i 8, mimo wysokich wskaźników jakości dopasowania.

Podsumowanie

Opisana metoda oceny właściwości przepływowych elementów pneumatycznych umożliwia osiągnięcie dużej dokładności i powtarzalności wyznaczonych parametrów

Tab.1 Wyniki badań filtra przewodowego HF 01 (kierunek przepływu 1-2) dla różnych funkcji przepływu

Kierunek przepływu 1-2	Funkcja przepływu $\Psi(\sigma)$	
	Parametry i wskaźniki oceny identyfikacji	
	$\mu A [m_z], a, b, c$	W, D, R^2 (max/min)
5. Miatluk-Avtuszko [10] $\Psi(\sigma) = 1,13 \frac{1-\sigma}{1,13-\sigma}$	$\mu A = (57.449 \pm 0.081) \cdot 10^{-6}$	$W = 0.0039/0.0034$ $D = 0.6120/0.5646$ $R^2 = 0.9998/0.9998$
6. Woelke [14] $\Psi(\sigma) = \sqrt{1 - \sigma^{b \exp(-c\sigma^2)}}$	$\mu A = (56.104 \pm 0.099) \cdot 10^{-6}$	$b = 3.652 \pm 0.052$ $c = 0.679 \pm 0.024$ $W = 0.0017/0.0015$ $D = 0.6187/0.5683$ $R^2 = 1.0000/1.0000$
7. Woelke [14] $\Psi(\sigma) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } 0 \leq \sigma < \sigma^* \\ \sqrt{\frac{1 - \sigma^{b \exp(-c\sigma^2)}}{1 - (\sigma^*)^{b \exp(-c\sigma^2)}}} & \text{gdy } \sigma^* \leq \sigma \leq 1 \end{cases}$	$\mu A = (55.986 \pm 0.132) \cdot 10^{-6}$	$\sigma^* = 0.175 \pm 0.094$ $b = 3.492 \pm 0.156$ $c = 0.696 \pm 0.041$ $W = 0.0017/0.0015$ $D = 0.5952/0.4626$ $R^2 = 1.0000/1.0000$
8. Kamiński $\Psi(\sigma) = (1 - \sigma^b)^c$	$\mu A = (56.488 \pm 0.104) \cdot 10^{-6}$	$b = 3.087 \pm 0.022$ $c = 0.624 \pm 0.004$ $W = 0.0018/0.0016$ $D = 0.6773/0.6337$ $R^2 = 0.9999/0.9999$
9. Kamiński [6] $\Psi(\sigma) = \sqrt{1 - \sigma^b}$	$\mu A = (57.555 \pm 0.124) \cdot 10^{-6}$	$b = 2.309 \pm 0.016$ $W = 0.0027/0.0024$ $D = 0.6983/0.6507$ $R^2 = 0.9999/0.9998$
10. Barth [3], Ochędusko [01] $\Psi(\sigma) = \sqrt{1 - \sigma^2}$	$\mu A = (58.954 \pm 0.098) \cdot 10^{-6}$	$W = 0.0036/0.0033$ $D = 0.7057/0.6880$ $R^2 = 0.9996/0.9996$
11. Prudnikov [12] $\Psi(\sigma) = \sqrt{1 - \sigma^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}}$	$\mu A = (60.744 \pm 0.105) \cdot 10^{-6}$	$W = 0.0088/0.0078$ $D = 0.5918/0.5630$ $R^2 = 0.9987/0.9983$

charakterystyki przepływowej – dla wszystkich funkcji przepływu wartość wskaźnika determinacji $R^2 > 0.99$. Zaletą metody, w odróżnieniu od metod korzystających z kilku wybranych punktów pomiarowych, jest wykorzystanie w procesie identyfikacji całego przebiegu zarejestrowanych zmian ciśnienia.

Przy wyborze konkretnego modelu funkcji przepływu do zastosowań praktycznych należy – oprócz dokładności – uwzględnić również łatwość jej obliczania. Do symulacji cyfrowej dynamiki układów pneumatycznych można polecić funkcje dwuparametrowe – w tym Miatluka-Avtuszki (nr 4), Woelkego (nr 6) oraz funkcję nr 10. Wyznaczo-

ne wartości przewodności (μA) stosować należy łącznie z modelem funkcji przepływu, dla której go określano. ■

dr inż. Zbigniew Kamiński

Katedra Budowy i Eksploatacji Maszyn
Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka

e-mail: z.kaminski@pb.edu.pl

Wykonano w ramach pracy statutowej S/WM/4/2010

► Literatura

1. **Achnazarowa S.Ł., Kafarow W.W.:** *Optymalizacja eksperymentu w chemii i technologii chemicznej*. WNT, Warszawa 1982.
2. **Barnett V., Lewis T.:** *Outliers in statistical data*. John Wiley & Sons, Chichester 1994.
3. **Barth H.J.:** *Einfache Kennzeichnung und Berechnung von Druckverlusten in der Pneumatik*. Ölhydraulik und Pneumatik 1994, 9 (38), pp. 564-569.
4. **Castagliola Ph.:** *Control charts for data having a symmetrical distribution with a positive kurtosis*. W H. Pham, Recent advances in reliability and quality engineering. Vol 2, s.1-16. World Scientific Publishers.
5. **Iwaszko J.:** *Wymiana ciepła podczas opróżniania zbiornika*. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej Nr 520. Ciepłne maszyny przepływowe 1988, z.93, s.95-113.
6. **Kamiński Z.:** *Ocena modeli matematycznych charakterystyk przepływowych oporów pneumatycznych*. Hydraulika i Pneumatyka 2003, 5, s. 5-7.
7. **Kamiński Z.:** *Podstawy teoretyczne dynamiki układów pneumatycznych [rozdz.]*. Dynamika pneumatycznych układów napędowych (pod red. F. Siemieniako). Białystok, Wydaw. Politechniki Białostockiej, 2007. - s.12-54.
8. **Kornacki A., Wesołowska-Janczarek M.:** *O weryfikowaniu poprawności matematycznych modeli procesów w oparciu o dane empiryczne*. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2008, nr 3, s.5-18.
9. **Kościelny W., Woźniak C.:** *Modele charakterystyk przepływowych oporów pneumatycznych*. Konferencja Naukowa PNEUMA'95, s.73-82.
10. **Metljuk N.F., Avtushko V.P.:** *Dynamika pnevmaticheskikh i gidravlicheskich prividov avtomobilej*. Mashinostroenie, Moskva 1980. [O1] Ochęduszek S.: *Teoria maszyn cieplnych*. cz. I. PWT, Warszawa 1953.
11. **Powierża L.:** *Elementy inżynierii systemów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997
12. **Prudnikov S.N.:** *Raschet upravljajushchikh ustrojstv pnevmaticheskikh sistem*. Mashinostroenie, Moskva 1987.
13. **Sanville F.:** *Some simplified flow calculations for pneumatic circuits*. Hydraulic and Pneumatic Power 1972, Nr 214 (18), pp. 452-457.
14. **Woelke S.:** *Wyznaczanie funkcji wypływu powietrza dla dysz rzeczywistych*. Hydraulika i Pneumatyka 1997, 4, s. 4-6.

► Streszczenie

W pracy opisano metodę pośrednią (zbiornikową) wyznaczania właściwości przepływowych elementów pneumatycznych.

Zamieszczono schemat stanowiska badawczego, opisano procedurę numerycznej identyfikacji przewodności i parametrów różnych funkcji przepływu. Zamieszczono przykładowe wyniki badań.

► Summary

Determination of flow rate characteristics of pneumatic resistances using the indirect method

In this paper the indirect method for obtaining flow rate characteristics of pneumatic resistances were proposed. Experimental setups for this methods and numerical procedures of determination of conductance and parameters of different flow rate functions were described. Some results of research were presented.

➤ Katarzyna Kubera-Jaroszewicz, Mirosława Maliga

Sztuczna nerka – ratunek czy przekleństwo dla pacjentów

Nerka – najważniejsza część układu wydalniczego człowieka i większości zwierząt. Jest parzystym narządem wielkości pięści i o kształcie fasoli, leżącym w jamie brzusznej w przestrzeni zaotrzewnowej.

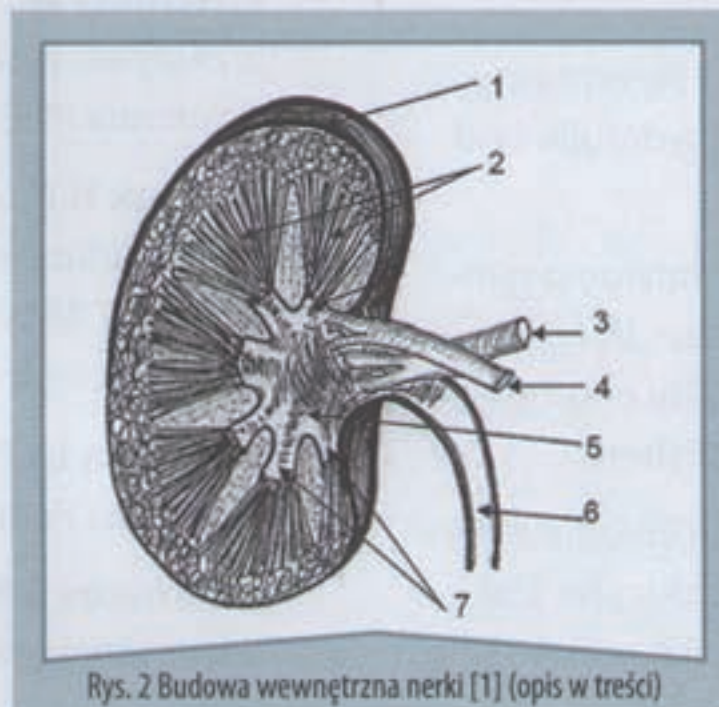
Budowa i funkcje nerek

U człowieka nerki znajdują się po obu stronach kręgosłupa za żołądkiem i pod wątrobą, prawa nieco niżej niż lewa. Przeciętna masa pojedynczej nerki wynosi od 130 do 170 g. Na przekroju podłużnym widoczna jest warstwa zewnętrzna – kora nerki (1) oraz warstwa wewnętrzna – rdzeń nerki (2), zbudowany z trójkątnych struktur zwanych piramidami nerkowymi (2). W wierzchołku każdej piramidy znajdują się ujścia przewodów wyprowadzających mocz przez kielichy nerkowe (7) do miedniczki nerkowej (5). Z miedniczki mocz przepływa do moczowodu (6). Do nerki uchodzi tętnica nerkowa (4), a wychodzi żyła nerkowa (3). Podstawową jednostką strukturalną nerki jest nefron, który składa się z cewek oraz kłębuszka nerkowego. Liczba nefronów w ludzkiej nerce wykazuje zmienność osobniczą – średnio wynosi 1,5 miliona i jest ustalona od momentu urodzenia. Układ kielichowo-miedniczkowy oraz moczowód współtworzą górne drogi moczowe, zaś pęcherz i cewka moczowa – dolne drogi moczowe [1].

Głównym zadaniem nerek jest zabezpieczenie stałości środowiska wewnętrznego organizmu poprzez wydalanie pod postacią moczu (ok. 1-2 dm³ dziennie) nadmiaru wody, soli mineralnych i innych substancji zbędnych lub szkodliwych, które pozostają podczas procesów metabolicznych lub są przyjmowane np. z pokarmem czy lekami. Nerki są odpowiedzialne za zachowanie stałej objętości, ciśnienia osmotycznego oraz składu elektrolitowego płynów ustrojowych. Powyższe funkcje są spełniane m.in. dzięki procesowi filtracji (przesączania), mającemu miejsce w kłębuszkach nerkowych, oraz dzięki procesom wchłaniania zwrotnego (reabsorpcji) i wydzielania, jakie zachodzą w cewkach nerkowych [8].



Rys. 1 Nerki w organizmie człowieka [5]



Rys. 2 Budowa wewnętrzna nerki [1] (opis w treści)

Współczesne techniki leczenia nerkozastępczego

Przewlekła choroba nerek (PChN) oraz jej skrajna postać – przewlekła niewydolność nerek (PNN) – to choroby dotykające systematycznie wzrastającą liczebnie (wzrost ok. 7-10% rocznie) grupę ludzi. PChN jest stanem, w którym funkcje nerek są trwale uszkodzone głównie przez choroby przewlekłe, takie jak cukrzyca, nadciśnienie tętnicze, kłębuszkowe zapalenia nerek lub infekcje układu moczowego. W grupie ryzyka PNN są również pacjenci, u których najbliższej spokrewnionych członkach rodzin występowały przypadki chorób nerek. PNN ma zwykle charakter postępujący, co oznacza, że z biegiem czasu funkcjonowanie niewydolnych nerek systematycznie pogarsza się. Często jednak, mimo prawidłowo prowadzonego leczenia, funkcja nerek ulega tak znacznemu pogorszeniu, że dla dal-

szego utrzymania pacjenta w dobrej kondycji i niedopuszczenia do rozwoju tzw. mocznicy konieczne staje się zastąpienie ich funkcji. Na tym etapie konieczne staje się rozpoczęcie tzw. leczenia nerkozastępczego, czyli leczenia zastępującego funkcję niewydolnych nerek [8,11].

Leczenie nerkozastępcze to dializoterapia oraz przeszczepienie nerki. U części chorych możliwe jest wykonanie tzw. wyprzedzającego przeszczepu nerki, czyli przeszczepu wykonanego w trakcie leczenia zachowawczego,



Rys. 3 Leczenie nerkozastępcze [12]

jeszcze przed rozpoczęciem dializoterapii. Nie ulega wątpliwości, że transplantacja nerki powinna być metodą z wyboru, przede wszystkim dlatego, że jakość życia po przeszczepie jest najbardziej przystępna dla chorego; chory nie musi być poddawany dializie, co pozwala na prawie normalne życie. Jedyną znaczącą niedogodnością jest obowiązek stałego, regularnego przyjmowania leków hamujących odrzucenie przeszczepionego organu. Ze wszystkich chorych na PNN tylko u 30% nie ma przeciwwskazań medycznych do przeszczepu, jednak dawcę organu znajduje jedynie 7% pacjentów [10].

Współcześnie istnieją dwie zasadnicze formy dializoterapii przy PNN [7]:

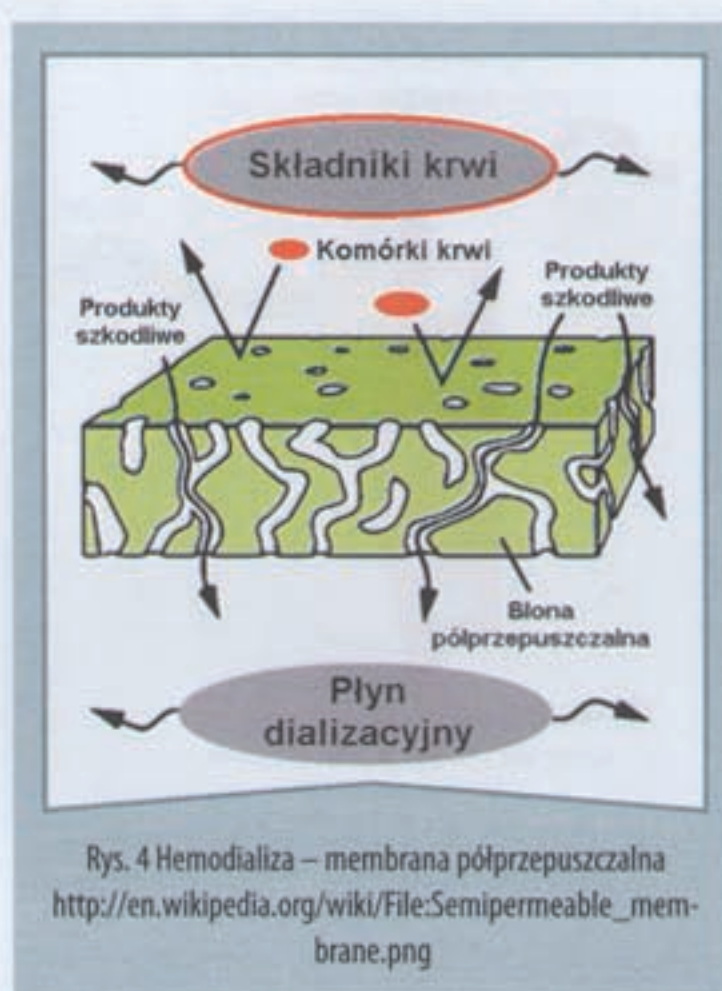
- dializoterapia pozaustrojowa (tzw. hemodializoterapia):
- hemodializa klasyczna – HD
- hemofiltracja – HF
- hemodiafiltracja – HDF
- dializoterapia wewnątrznaczyniowa (tzw. dializoterapia otrzewnowa – DO):
- ciągła ambulatoryjna dializa otrzewnowa – CADO
- automatyczna dializa otrzewnowa – ADO.

Dializa – jest dynamicznym procesem oczyszczania roztworów koloidalnych z elektrolitów, wykorzystujących zjawisko przenikania dwóch roztworów przez błonę półprzepuszczalną, dążących do uzyskania równowagi izotermiczno-izobarycznej [10].

Dializoterapia jest zabiegiem leczniczym umożliwiającym odprowadzanie nadmiaru wody, a także usunięcie większości szkodliwych produktów przemiany materii z organizmu pacjenta.

Nazwy obu rodzajów dializoterapii wynikają z lokalizacji błony półprzepuszczalnej, przez którą odbywa się usuwanie z organizmu pacjenta cząstek toksycznych i nadmiaru wody. W przypadku hemodializoterapii proces oczyszczania krwi chorego odbywa się poza jego organizmem, w dializoterapii otrzewnowej wykorzystana jest naturalna błona półprzepuszczalna, jaką jest błona otrzewnowa – tak więc proces dializy odbywa się wewnątrz organizmu chorego. Hemodializa jest formą leczenia nerkozastępczego chorych z PNN. Cechą charakterystyczną hemodializy (HD) jest to, że leczenie ma charakter pozaustrojowy – krew jest przepompowywana w celu oczyszczenia przez filtr (dializator) znajdujący się poza organizmem pacjenta (sztuczna nerka) [7].

Hemodializa klasyczna – HD – polega na adekwatnym usuwaniu toksyn moczniowych z krwi pacjenta za po-



mocą zestawu urządzeń (tzw. sztucznej nerki). Polega na oddziaływaniu na osocze pacjenta płynem leczniczym (dializacyjnym) o składzie zbliżonym do składu osocza człowieka zdrowego poprzez sztuczną, biokompatybilną błonę półprzepuszczalną, pozwalającą na swobodne, dwukierunkowe przenikanie drobin małej i średniej wielkości. Krew płynąca pod własnym ciśnieniem lub napędzana przez pompę doprowadzana jest do filtra zbudowanego z błony półprzepuszczalnej. Oczyszczanie osocza polega na jednoczesnym prowadzeniu dwóch podstawowych procesów: dyfuzji i ultrafiltracji [12].

Dyfuzja – przechodzenie cząsteczek toksyn przez błonę półprzepuszczalną

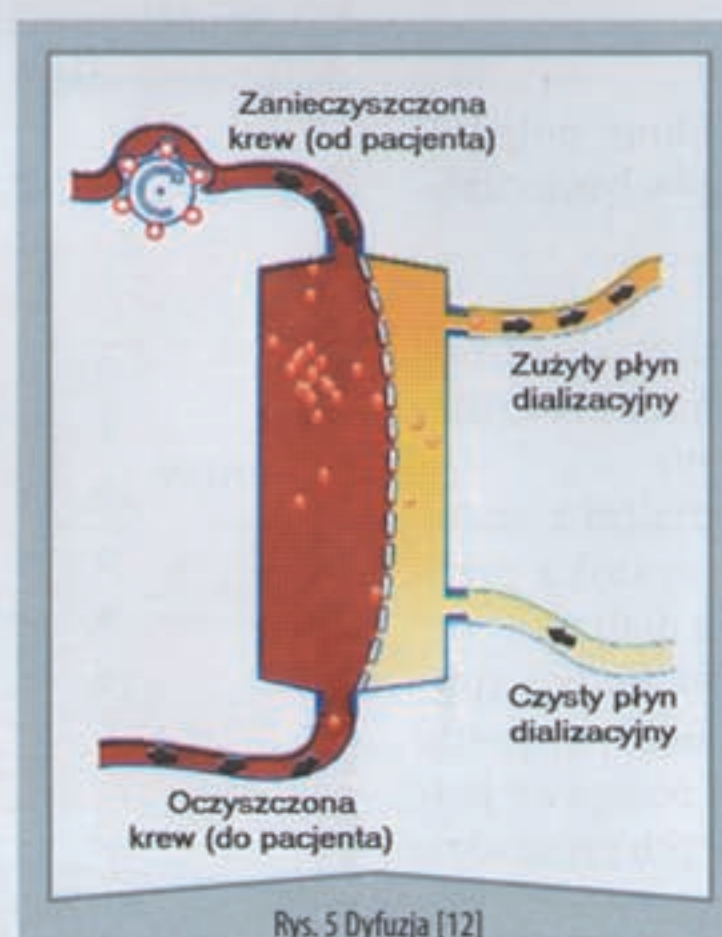
na zasadzie różnicy stężeń do sterylnego dializatu, który płynie w przeciwnym niż krew kierunku [8].

W wyniku dyfuzji substancje drobnocząsteczkowe i – w minimalnym stopniu – średnicząsteczkowe przenikają przez błonę półprzepuszczalną dializatora:

- z krwi pacjenta do płynu dializacyjnego (np. mocznik, kreatynina, fosforany)
- z płynu dializacyjnego do krwi pacjenta (np. octany, węglowodany).

Wielkość dyfuzji zależy od:

- różnicy stężeń substancji rozpuszczonych po obu stronach błony. Im wyższa różnica stężeń, tym proces dyfuzji zachodzi szybciej. Wraz z czasem trwania zabiegu stężenia wyrównują się i dyfuzja staje się mniej efektywna
- masy cząsteczkowej substancji rozpuszczonej. Dyfuzja jest efektywna dla substancji o małej masie cząsteczkowej (mocznik, elektrolity)
- oporności błony półprzepuszczalnej. Właściwość błony zależna jest od grubości błony półprzepuszczalnej oraz od ilości i wielkości porów błony półprzepuszczalnej.



Ultrafiltracja – przechodzenie cząsteczek rozpuszczalnika i substancji rozpuszczonych przez błonę półprzepuszczalną pod wpływem (ujemnego) ciśnienia przezbłonowego [12].

Wielkość ultrafiltracji zależy od:

- wartości ciśnienia przezbłonowego (TMP), określającego różnicę ciśnień między układem krwi a przestrzenią płynu dializacyjnego (hydrostatycznego lub osmotycznego)
- różnicy ciśnienia hydrostatycznego (substancje przechodzą z roztworu o wyższym ciśnieniu do roztworu o niższym ciśnieniu)
- różnicy ciśnień osmotycznych (substancje z roztworu o wyższym stęże-

niu będą przechodzić do roztworu o niższym stężeniu

- współczynnika ultrafiltracji (K_{uf}) właściwego dla danej błony półprzepuszczalnej, odzwierciedlającego parametry fizykochemiczne błony dializacyjnej (grubość, ilość i wielkość porów błony półprzepuszczalnej oraz powierzchni efektywnej filtracji dializatora). Współczynnik ultrafiltracji K_{uf} jest zdefiniowany jako ilość płynu przenikającego w ciągu 1 godziny przez błonę półprzepuszczalną przy $TMP = 1 \text{ mmHg}$ (ml/h/mmHg).

W hemodializie klasycznej HD używane są dializatory o wartości współczynnika ultrafiltracji $K_{uf} = 3-7 \text{ ml/h/mmHg}$. Poprzez dyfuzję i ultrafiltrację usuwane są małe i część średnich cząsteczek oraz nadmiar wody.

W zależności od indywidualnych cech pacjenta prowadzone są trzy typy zabiegów hemodializy [10]:

1. **Hemodializa klasyczna** – polega na tym, że procesy dyfuzji i ultrafiltracji zachodzą jednocześnie, w sposób ciągły.

2. **Hemodializa sekwencyjna** – polega na oddzieleniu w czasie ultrafiltracji i dyfuzji. W celu usunięcia nadmiaru wody przeprowadza się najpierw ultrafiltrację, a następnie dializę bez usuwania wody.

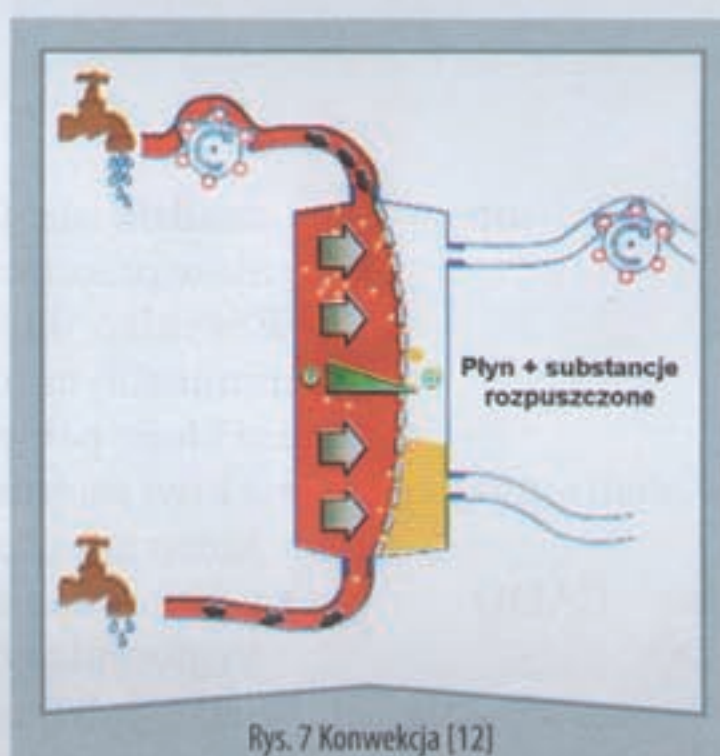
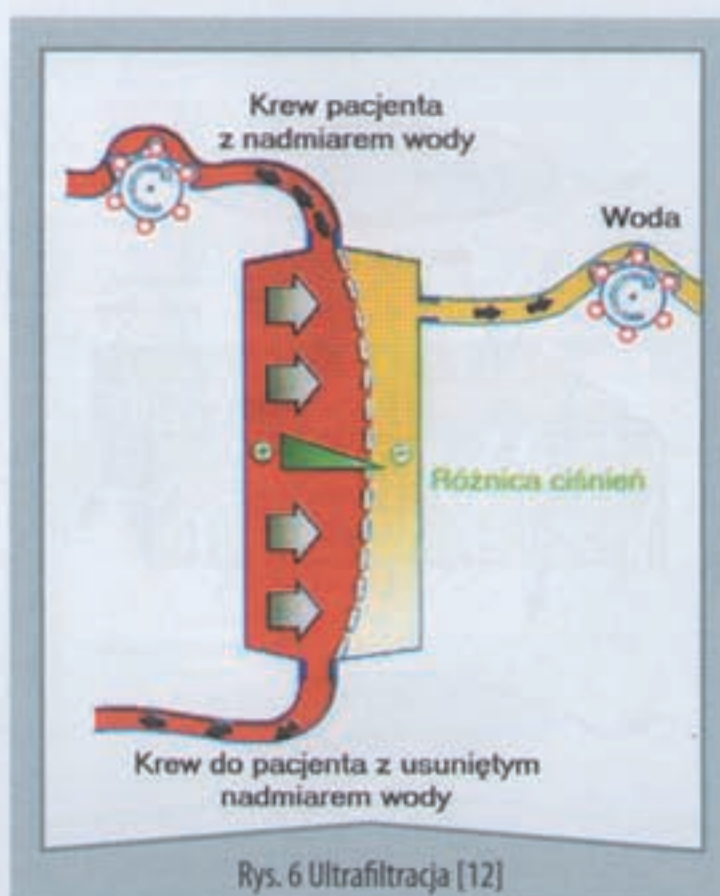
3. **Hemodializa ze zmiennym stężeniem sodu w płynie dializacyjnym i/lub zmienną ultrafiltracją** – podwyższenie stężenia sodu w płynie dializacyjnym, a tym samym we krwi chorego, powoduje przesunięcie wody z przestrzeni pozanaczyniowej do światła naczyń, skąd z łatwością może być usunięta w wyniku ultrafiltracji – zapobiega spadkowi ciśnienia tętniczego u chorych z niestabilnym krążeniem.

W zależności od stopnia efektywności błony półprzepuszczalnej prowadzone są dwa typy zabiegów hemodializy [11]:

Hemodializa typu Low-Flux – hemodializa z zastosowaniem dializatorów o niskim współczynniku przepuszczalności (niska efektywność procesu dializy).

1. Hemodializa typu High-Flux – hemodializa z zastosowaniem dializatorów o wysokim współczynniku przepuszczalności (wysoka efektywność procesu dializy).

2. Hemofiltracja – HF – usuwanie z krwi wody i substancji w niej rozpuszczonych przez wysoko porowatą, półprzepuszczalną błonę. Powyższy proces polega na jednoczesnym prowadzeniu dwóch podstawowych procesów: ultrafiltracji i konwekcji.



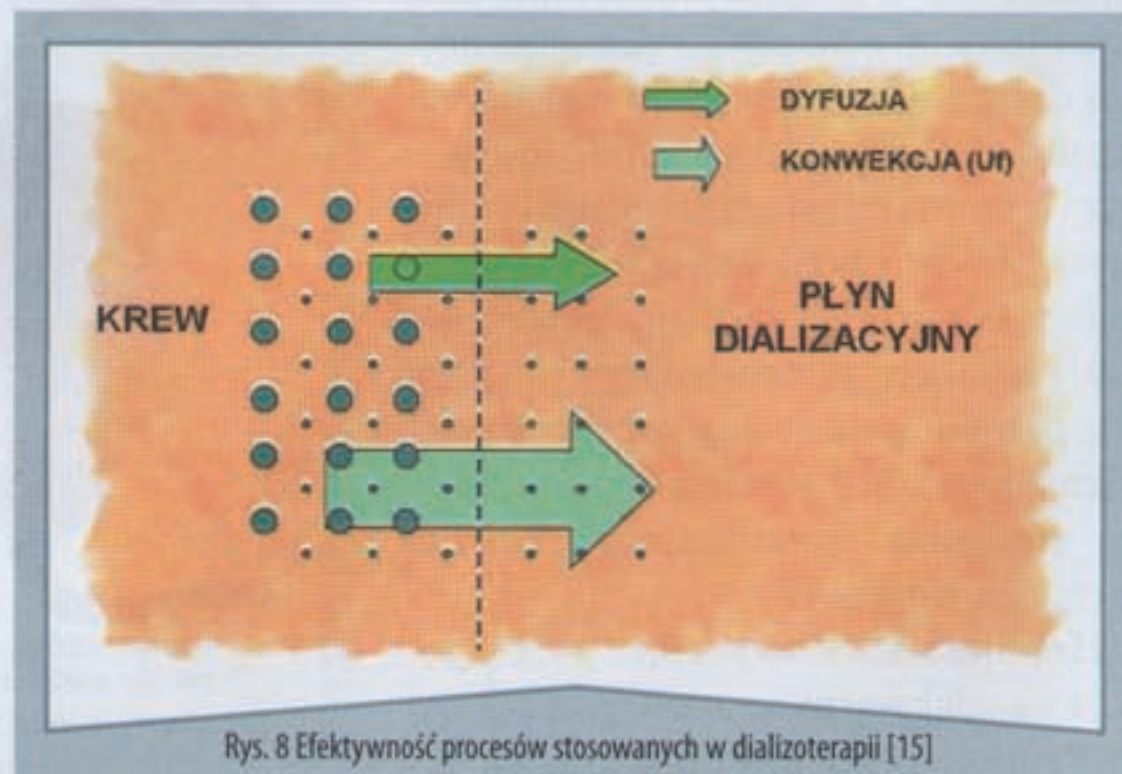
Konwekcja – ruch wody i substancji, uzależniony od masy atomowej cząsteczek i przepuszczalności błony półprzepuszczalnej [12].

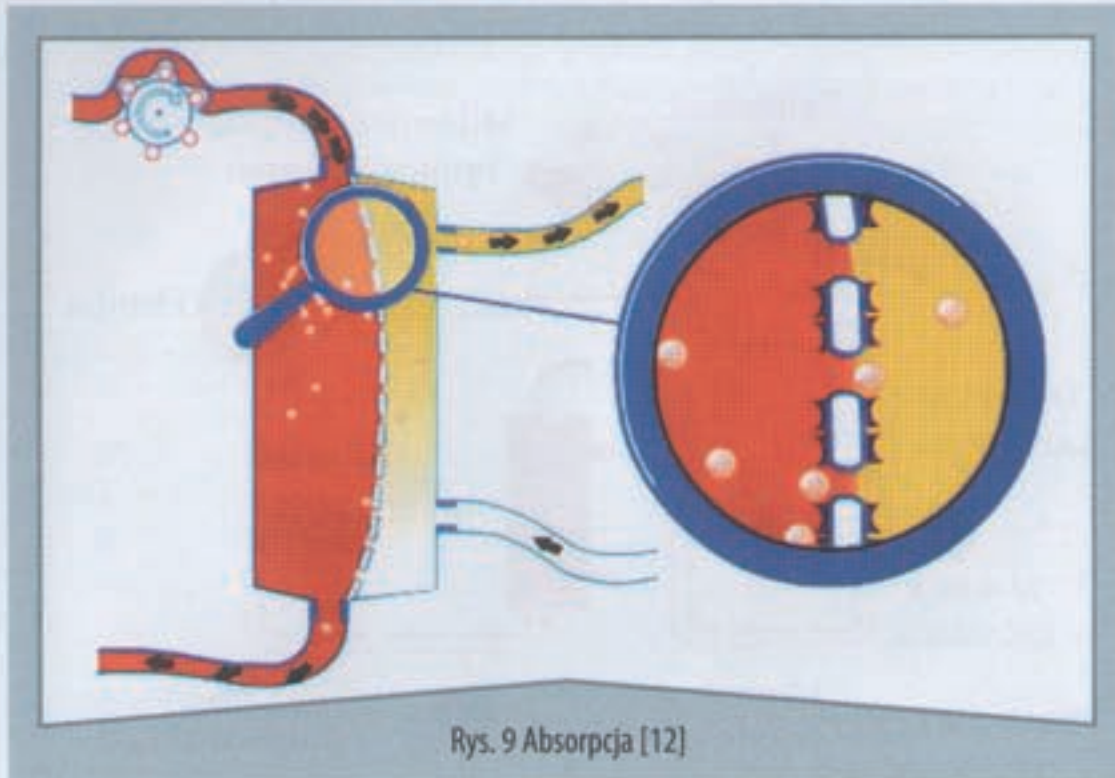
Siłą wymuszającą jest pompa odpływu wytwarzająca ujemne ciśnienie (ok. 200-500 mm Hg) po zewnętrznej stronie błony lub stosowane jest częściowe hamowanie odpływu krwi, co zwiększa ciśnienie w przedziale krwi dializatora. Wykorzystanie mechanizmu konwekcji sprzyja usuwaniu cząsteczek o średniej i dużej masie. Usunięty podczas hemofiltracji nadmiar płynów musi być uzupełniony izotonicznym roztworem soli (tzw. płyn substytucyjny).

Płyn substytucyjny jest podawany przed lub za dializatorem (odpowiednio: hemofiltracja predilucyjna i hemofiltracja postdilucyjna). Hemofiltrację stosuje się jako zabieg uzupełniający hemodializę – wykonuje się na godzinę przed jej rozpoczęciem (zmniejsza częstotliwość powikłań i skraca czas właściwej dializy) oraz u chorych z ostrą niewydolnością nerek.

Hemodiafiltracja – HDF – oczyszczanie krwi z wykorzystaniem wysoko przepuszczalnych błon dializacyjnych (półprzepuszczalnych), umożliwiających jednoczesne stosowanie dwóch sposobów transportu przez błonowy: dyfuzji (jak w HD) i konwekcji (jak w HF).

Dzięki zastosowaniu dializatorów o wysokiej przepuszczalności wody ($K_{uf} = 40-60 \text{ ml/godz./mmHg}$) i średnich cząsteczek oraz połączeniu dwóch sposobów transportu uzyskano wysoką efektywność oczyszczania dla małych cząsteczek (np. mocznika, kreatyniny, fosforanów) i wzrost efektywności usuwania średnich cząstek. Wyższe współczynniki ultrafiltracji tych dializatorów powodują, że rozmiary ultrafiltracji znacznie przekraczają pla-





nowane ilości odwodnienia chorego. W typowej sesji hemodiafiltracji uzyskuje się 12-20 dm³ ultrafiltratu. Dlatego należy uwzględnić odwodnienie pacjenta i podczas zabiegu wprowadzić do krwioobiegu pacjenta odpowiednią ilość płynu substytucyjnego. Takie rozwiązanie pozwala na wymianę znacznych objętości płynów w trakcie leczenia, dzięki czemu dializa w dużo większym stopniu zbliżona jest w swoim charakterze do procesów zachodzących w trakcie naturalnej filtracji w nerkach. Wykorzystanie mechanizmu konwekcji sprzyja usuwaniu cząsteczek o średniej i dużej masie. W stosunku do cząsteczek o małej masie obie metody (dyfuzja i konwekcja) są porównywalnie skuteczne [10, 12].

Ważnym elementem oczyszczania krwi jest absorpcja na błonie półprzepuszczalnej hemofiltru. Polega na gromadzeniu się cząstek toksycznych substancji zawartych we krwi pacjenta na powierzchni błony półprzepuszczalnej pod wpływem oddziaływania sił międzycząsteczkowych. Właściwości absorpcyjne błony są ograniczone czasem trwania procesu HDF. Zauważa się gwałtowny wzrost własności absorpcyjnych na początku działania filtra, które ulegają zmniejszeniu w czasie jego pracy.

Procesy separacji membranowej

Wspólną cechą wszystkich procesów separacji membranowej (za pośrednictwem błon półprzepuszczalnych) jest przebieg procesu dzięki obecności membrany, a transport cząsteczek możliwy jest dzięki zastosowaniu odpowiedniej siły napędowej. W większości procesów membranowych siłą napędową jest różnica [3]:

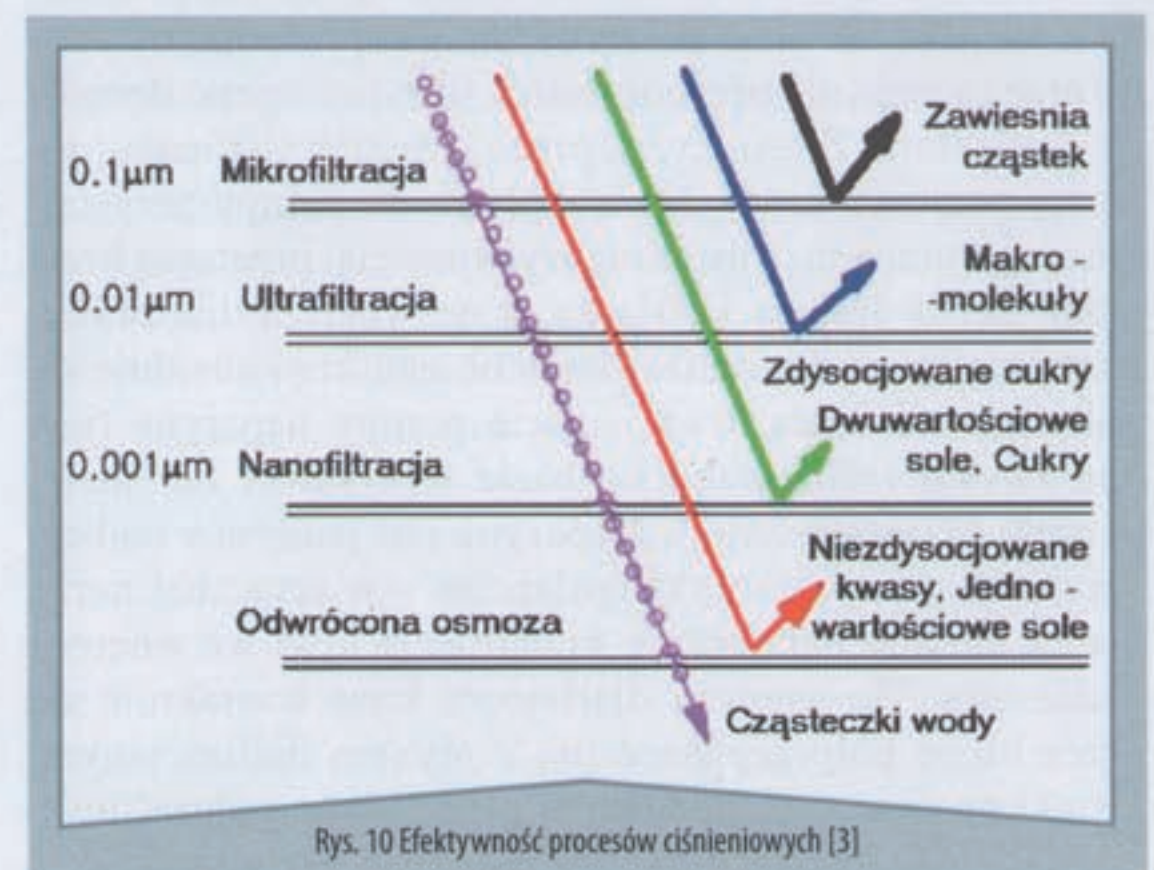
- ♦ ciśnienie
- ♦ stężenie (aktywności)
- ♦ temperatury
- ♦ potencjału elektrycznego.

Podstawowe kryterium klasyfikacji procesów membranowych opiera się na rodzaju siły napędowej wywołującej transport substancji przez membranę. Wyróżnione są cztery grupy procesów membranowych [3]:

- ♦ procesy ciśnieniowe – mikrofiltracja (MF), ultrafiltracja (UF), nanofiltracja (NF), odwrócona osmoza (RO)
- ♦ procesy, w których siłą napędową jest różnica stężeń – perwaporacja (PV), permeacja gazów (GS), dializa (D), układy z membranami ciekłymi (LM), układy z membranami katalitycznymi
- ♦ procesy, w których siłą napędową jest różnica temperatur – destylacja membranowa (MD), termooosmoza (TRO)
- ♦ procesy, w których siłą napędową jest różnica potencjału elektrycznego – elektrodializa (ED).

Działanie urządzenia do dializoterapii pozaustrojowej – tzw. sztucznej nerki

W obecnych czasach do przeprowadzenia hemodializy używa się nowoczesnych i zaawansowanych technologicznie aparatów – tzw. sztucznych nerek. Sztuczna nerką w ogólności składa się z przedziału realizującego obieg krwi i przedziału realizującego obieg płynu dializacyjnego. W budowie wewnętrznej sztucznej nerki można wyróżnić cztery podstawowe systemy [2, 7, 12]:

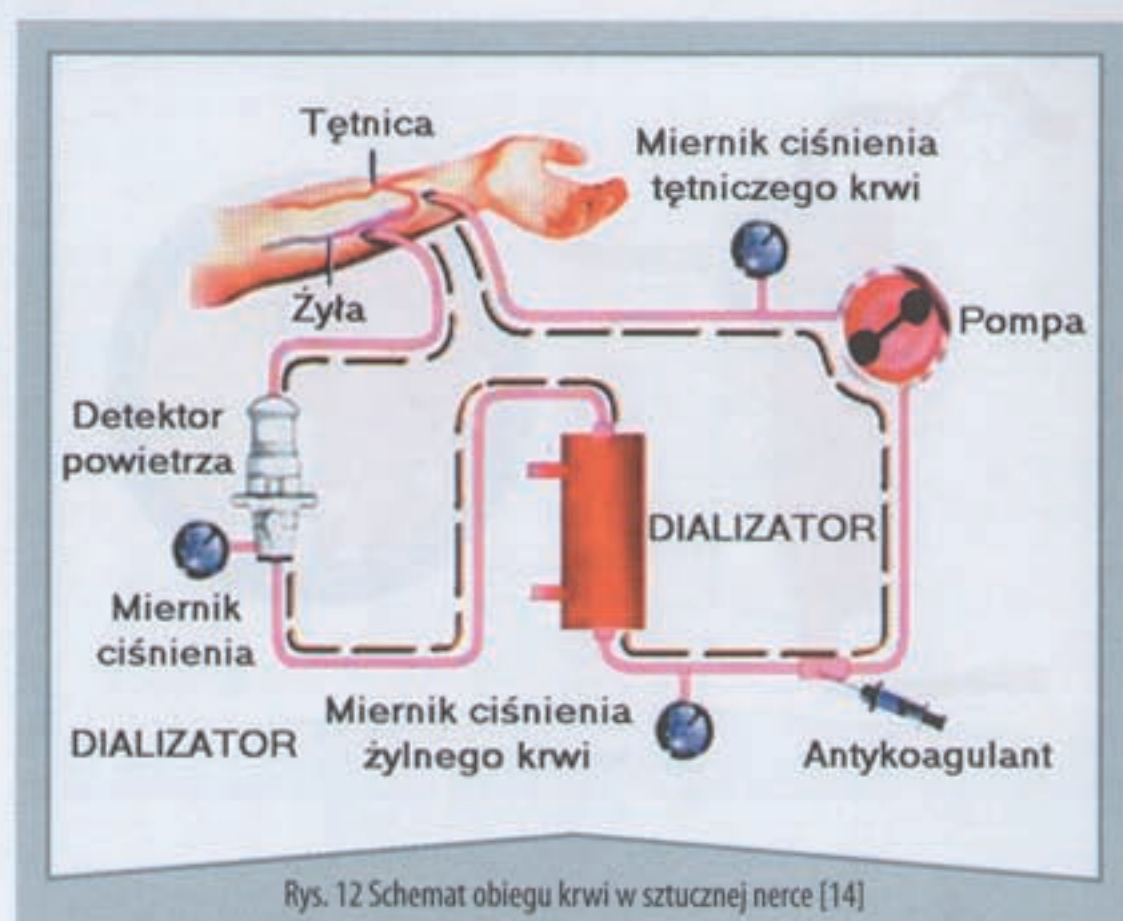


Tab. 1 Procesy separacji membranowej

Różnica ciśnień	Różnica stężeń (aktywności)	Różnica temperatury	Różnica potencjału elektrycznego
Mikrofiltracja (MF)	Perwaporacja (PV)	Termooosmoza (TRO)	Elektrodializa (ED)
Ultrafiltracja (UF)	Permeacja (separacja) gazów (GS)	Destylacja membranowa (MD)	Technika z wykorzystaniem membran bi i tripolarnych (B PED)
Nanofiltracja (NF)	Dializa (D)		
Odwrócona osmoza (RO)	Technika z wykorzystaniem membran ciekłych (LM)		



Rys. 11 Schemat funkcjonalny sztucznej nerki [13]



Rys. 12 Schemat obiegu krwi w sztucznej nerce [14]

- ♦ dializator wraz z układem doprowadzania i odprowadzania krwi pacjenta
- ♦ urządzenia do przygotowania i transportu płynu dializacyjnego
- ♦ elektroniczne układy monitorujące, kontrolujące m. in. ciśnienie krwi w aparacie, stabilizujące temperaturę i skład płynu dializacyjnego, wykrywające obecność krwi w płynie dializacyjnym oraz powietrza we krwi
- ♦ system uzdatniania wody.

Zespół realizujący obieg krwi

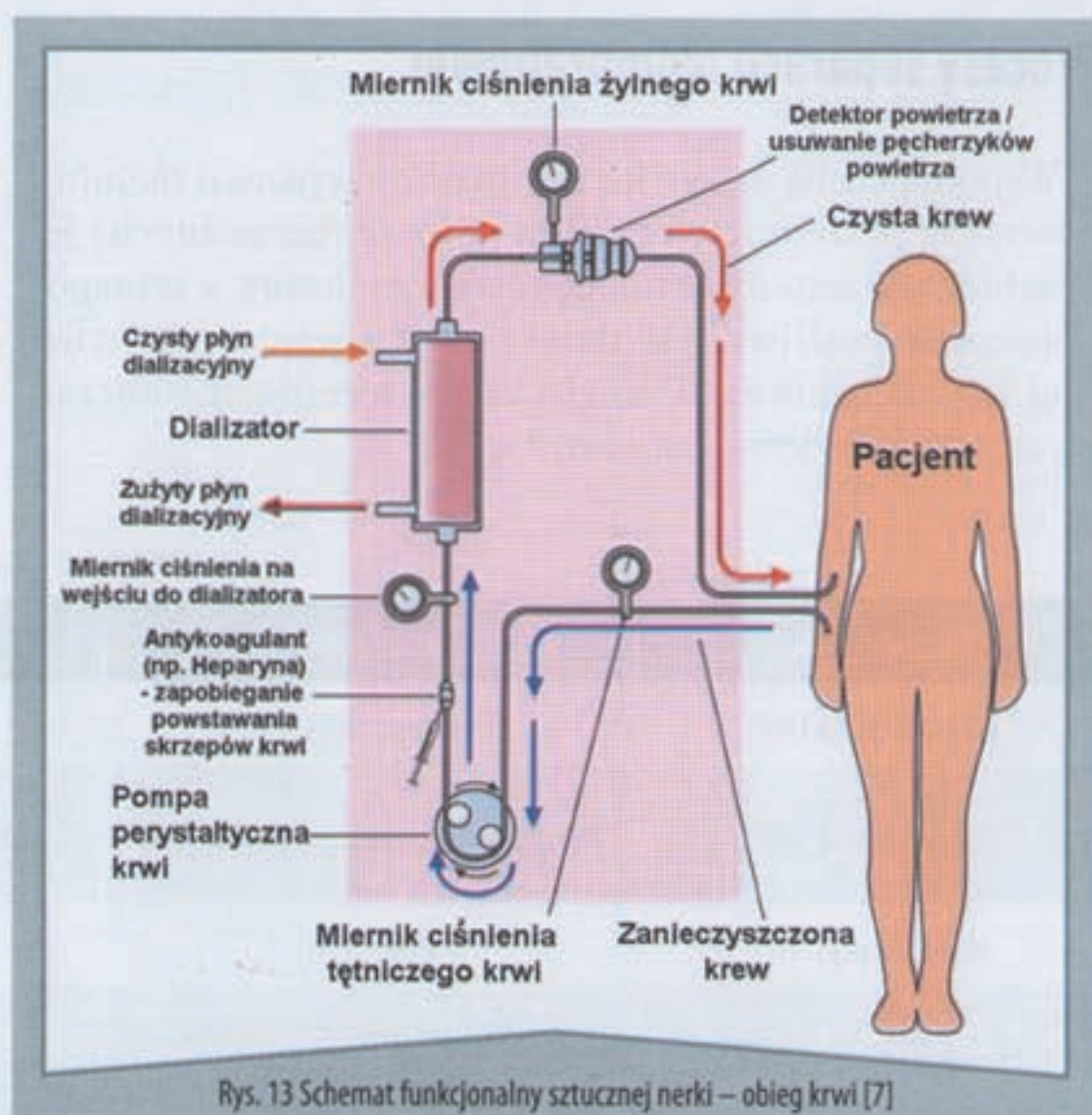
W trakcie tzw. dializy właściwej krew pacjenta, pobierana z cewnika lub przetoki tętniczej, jest przepompowywana przez specjalnie przygotowany, sterylny zestaw drenów do dializatora. Z tętnicy, poprzez detektor ciśnienia (detektor poziomu krwi), krew wpływa do pompy perystaltycznej. Pompa ta, z ustaloną wydajnością, przetacza krew przez układ drenów i wtlacza ją do wnętrza dializatora. Przed wejściem do dializatora w obiegu krwi znajduje się wskaźnik ciśnienia krwi i ujście pompy heparyny (jest ona zwykle realizowana na bazie strzykawki lub małej pompki perystaltycznej). Heparyna jest jednym z najbardziej efektywnych antykoagulantów – w sztucznej nerce ma za zadanie hamowanie krzepnięcia krwi we wnętrzu dializatora. We wnętrzu dializatora krew kontaktuje się przez błonę półprzepuszczalną z płynem dializacyjnym. Dzięki procesom zachodzącym przez błonę półprzepuszczalną (błonę dializacyjną) drobnocząsteczkowe produkty przemiany materii, nagromadzone we krwi, przenikają do płynu dializacyjnego o odpowiednim pH i stężeniu elektrolitów (skład elektrolitowy zbliżony do osocza zdrowego człowieka), znajdującego się po drugiej stronie błony półprzepuszczalnej [13, 16].

Z płynu dializacyjnego przechodzą do krwi pacjenta substancje, których stężenie w płynie jest wyższe niż we krwi, np. wodorowęglany i octany. O kierunku przenikania wody i rozpuszczonych w niej substancji decydują różnice ciśnień osmotycznych i hydrostatycznych. W trakcie zabiegu z krwi usuwane są toksyny (metabolity), które są substancjami o niewielkich cząsteczkach, na-

tomiast wielkość porów w membranie filtrującej nie pozwala na usuwanie większych, ważnych dla funkcjonowania organizmu elementów, takich jak krwinki czy białka. Na wyjściu znajduje się ultradźwiękowy detektor powietrza zawartego we krwi, a za nim odpływ krwi do pacjenta. Oczyszczona krew jest później wpompowywana z powrotem do obiegu krwi przez dren żylny, łączący dializator i przetokę. Poza organizmem pacjenta jednorazowo znajduje się ok. 200-300 ml krwi, która po zakończeniu dializy wraca do układu krążenia pacjenta [13].

Wykonanie dializy pozaustrojowej jest uwarunkowane możliwością chirurgicznego wykonania specjalnego dostępu do naczyń krwionośnych pacjenta (tzw. dostępu naczyniowego). W celu uzyskania wysokiej efektywności hemodializy konieczne jest zapewnienie przepływu krwi przez dializator w ilości minimum 150 ml/min (150 cm³/min) – wartość średnia 200-500 ml/min.

Podstawowym rodzajem dostępu naczyniowego jest przetoka tętniczo-żylna wewnętrzna. Jest to połączenie tętnicy i żyły w obrębie przedramienia kończyny niedo-



Rys. 13 Schemat funkcjonalny sztucznej nerki – obieg krwi [7]

minującej, tuż powyżej nadgarstka, sposobem „koniec do końca” lub „koniec do boku”. Rzadziej, gdy nie ma wyżej wymienionych możliwości – zespolenie takie wykonuje się w obrębie naczyń ramienia, a krew tętnicza płynie wówczas żyłą powierzchowną. Obieg krwi składa się z igieł, które są wkłute do żyły i tętnicy pacjenta, i za pośrednictwem sterylnych drenów połączony ze sztuczną nerką [2, 6, 13].

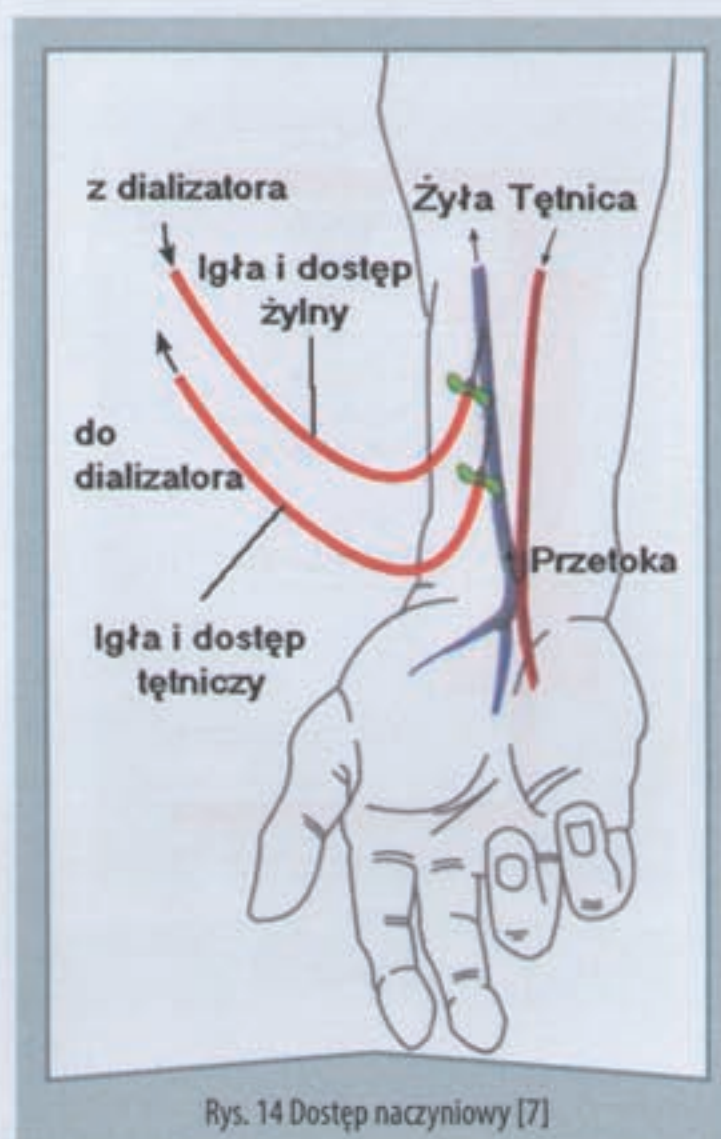
Obieg krwi może być ponadto przystosowany do pracy nie dwu-, lecz jednoigłowej. Stosuje się wówczas dwie naprzemiennie przełączane pompy perystaltyczne: jedna wtłacza krew do dializatora, druga ją wytłacza.

Skuteczne dializowanie musi być prowadzone w kilkugodzinnych sesjach (trwających co najmniej 4 godziny każda), zwykle 2-3 razy w tygodniu.

Zespół realizujący obieg płynu dializacyjnego

Płyn dializacyjny powstaje w sztucznej nerce w wyniku zmieszania stężonego roztworu różnych związków (tzw. koncentrat płynu dializacyjnego) z uzdatnioną (oczyszczoną) wodą (filtracja węglem drzewnym, dejonizacja, usuwanie rozpuszczonych zanieczyszczeń metodą odwróconej osmozy). Koncentraty przygotowane są wg ścisłej receptury (zwykle indywidualnie dobieranej dla konkretnego przypadku) w aptekach, zakładach przemysłu farmaceutycznego lub są produkowane bezpośrednio w stacjach dializ.

Obieg płynu dializacyjnego składa się na początku toru ze zbiornika, w którym następuje mieszanie koncentratów składników płynu dializacyjnego z uzdatnioną wodą, a następnie z układu podgrzewacza, dopasowującego temperaturę otrzymanego płynu do temperatury fizjologicznej (ok. +36,60 C). Składniki płynu doprowadzane są do mieszacza za pośrednictwem systemu proporcjonalizującego, złożonego m.in. z pompy zębatej dla koncentratu oraz z reduktora ciśnienia dla wody (która jest dostarcza-



Rys. 14 Dostęp naczyniowy [7]

na do sztucznej nerki pod dużym ciśnieniem). Po podgrzaniu płyn przepływa przez komorę odpowietrzającą, a następnie doprowadzany jest do czujnika konduktometrycznego mierzącego przewodność elektryczną (konduktywność) otrzymanego roztworu oraz jego temperaturę. Pomiar przewodności elektrycznej płynu dializacyjnego pozwala na monitorowanie właściwych proporcji koncentratu w płynie dializacyjnym. Następnie płyn dializacyjny dopływa do dializatora, po przejściu którego doprowadzany jest do fotometrycznego detektora wycieku krwi (sygnalizacja uszkodzenia błony półprzepuszczalnej), a dalej do wskaźnika przepływu (rotometru), by w końcu dostać się do pompy (zębatej), przy której znajduje się miernik ciśnienia służący za wskaźnik efektywności ultrafiltracji.

Obieg płynu posiada również – poza wymienionymi elementami – obwód bocznika, dzięki któremu zamiast podłączać dializator, można przy płukaniu układu sztucznej nerki zamknąć obwód bocznika, unikając podłączenia dializatora [16].

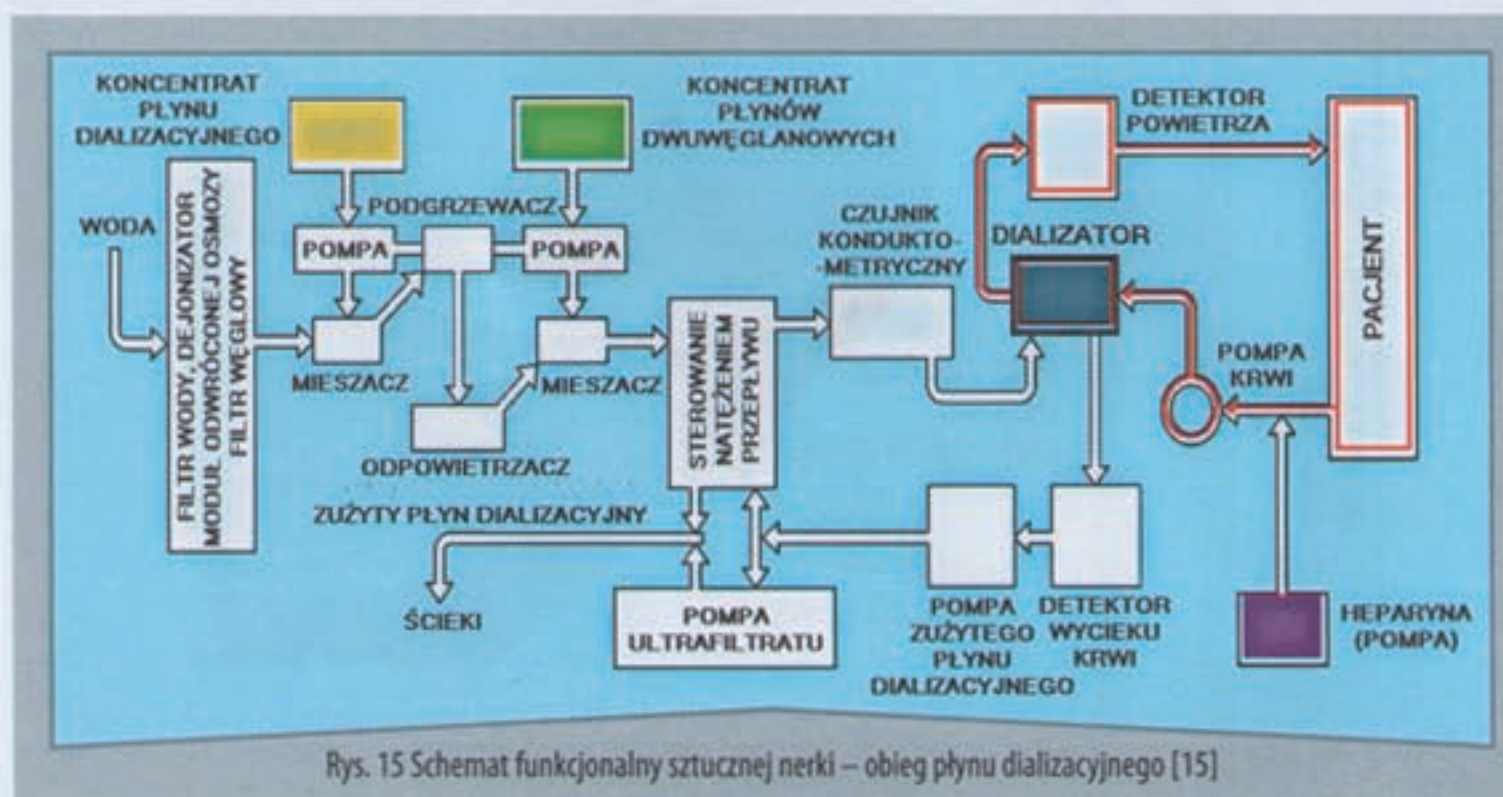
W ciągu minuty przez dializator przepompowywane jest średnio ok. 200-500 ml (200-500 cm³) płynu dializacyjnego, co przy 4-godzinnym zabiegu prowadzi do wykorzystania do 120 dm³ płynu na jednego chorego.

Dializatory wykorzystywane w sztucznej nerce

Dializator jest urządzeniem, w którym poprzez błonę dializacyjną następuje eliminacja z organizmu pacjenta końcowych produktów przemiany materii, nieusuwaných przez niewydolne nerki. Mocznik, potas, kreatynina pod działaniem gradientu stężeń przenikają z krwi chorego do płynu dializacyjnego, jony dwuwęglanowe wędrują zaś w kierunku przeciwnym, uzupełniając niedobór we krwi chorego. Zmieniając skład płynu dializacyjnego, można wpływać na szybkość i kierunek przenikania substancji podlegających dializie [7].

Standardowy dializator ma kształt cylindra lub graniastosłupa z czterema przyłączami – dwa stanowią miejsca dopływu i odpływu krwi z przedziału krwi (obieg krwi), zaś dwa pozostałe są miejscami dopływu i odpływu płynu dializacyjnego z przedziału płynu dializacyjnego (obieg płynu dializacyjnego). Między wymienionymi przedziałami znajduje się półprzepuszczalna błona dializacyjna, podzielona na kapilary lub warstwy w celu zwiększenia powierzchni styku między krwią a płynem dializacyjnym [6].

Idealny dializator powinien charakteryzować się m.in.:



Rys. 15 Schemat funkcjonalny sztucznej nerki – obieg płynu dializacyjnego [15]

- wysokim stopniem oczyszczania dla małych i średnich cząsteczek
- dużą efektywnością ultrafiltracji
- nie powinien usuwać z krwi pacjenta niezbędnych dla prawidłowego funkcjonowania organizmu substancji
- biogodnością – błona dializacyjna to ciało obce i w związku z tym jest bardzo istotne, aby nie powodowała ona objawów ubocznych, takich jak swędzenie, gorączka oraz reakcje alergiczne u dializowanych chorych.

Błony dializacyjne wykonywane są głównie z materiałów pochodzących z celulozy oraz z materiałów pochodzenia syntetycznego. W zależności od materiału, z którego są zbudowane, dzielą się na cztery grupy [10]:

- błony celulozowe – otrzymywane z celulozy
- błony zbudowane z octanu celulozy
- błony celulozowo-syntetyczne – o poprawionej biogodności
- błony syntetyczne – błony niecelulozowe (zbudowane np. z teflonu, poliakrylonitrylu, czy poliamidu).

Idealna błona dializacyjna powinna charakteryzować się:

- odpowiednimi właściwościami dyfuzyjno-konwekcyjnymi (duża przepuszczalność dla małych cząsteczek, selektywna przepuszczalność cząsteczek średnich i dużych)
- dużą przepuszczalnością dla cząsteczek wody
- możliwością kontrolowania procesu ultrafiltracji
- nie powinna wchodzić w reakcję ze składnikami krwi, antykoagulantami
- nie powinna wiązać białek i leków we krwi pacjenta.

Dializatory w zależności od budowy błony półprzepuszczalnej dzielą się na:

- warstwowe
- zwojowe
- kapilarne.



Dializatory warstwowe

Dializatory warstwowe (płytkowe) dzielą się na dwie grupy [10]:

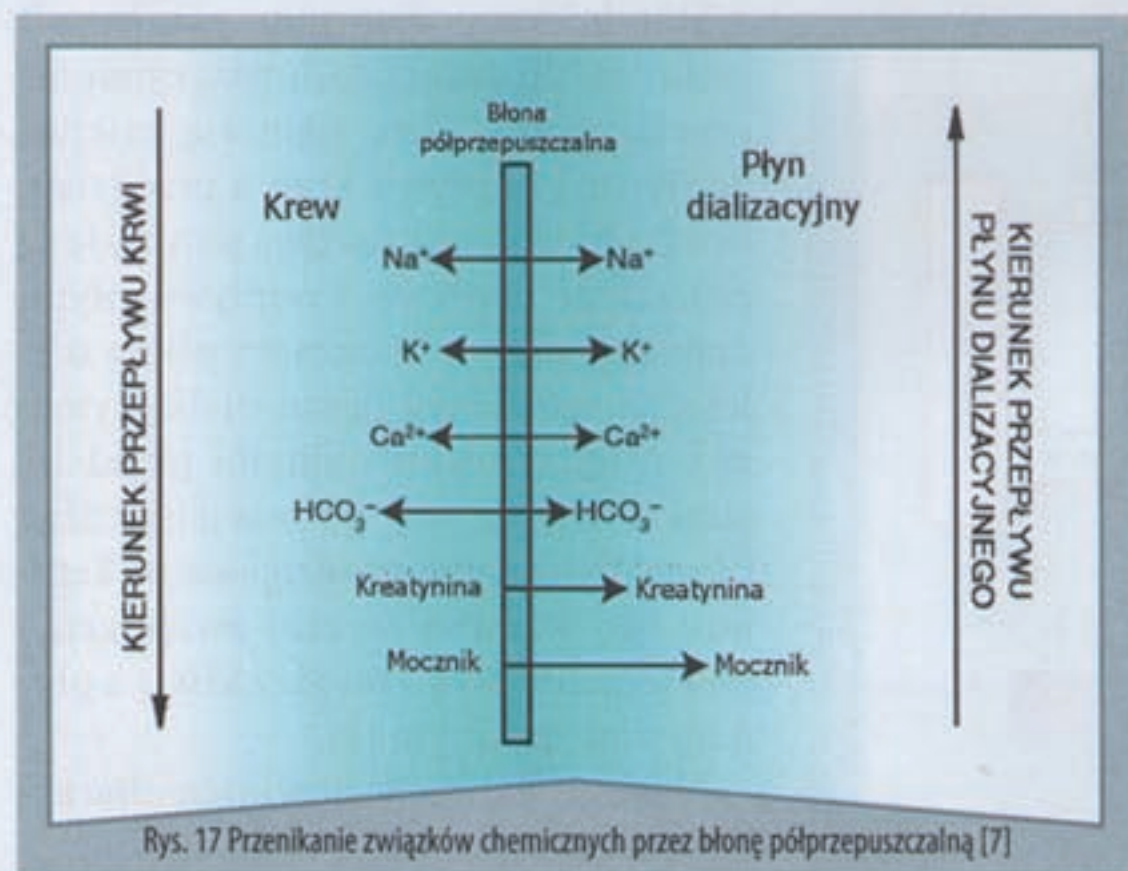
- dializatory warstwowe wielokrotnego użytku
- dializatory warstwowe jednorazowego użytku.

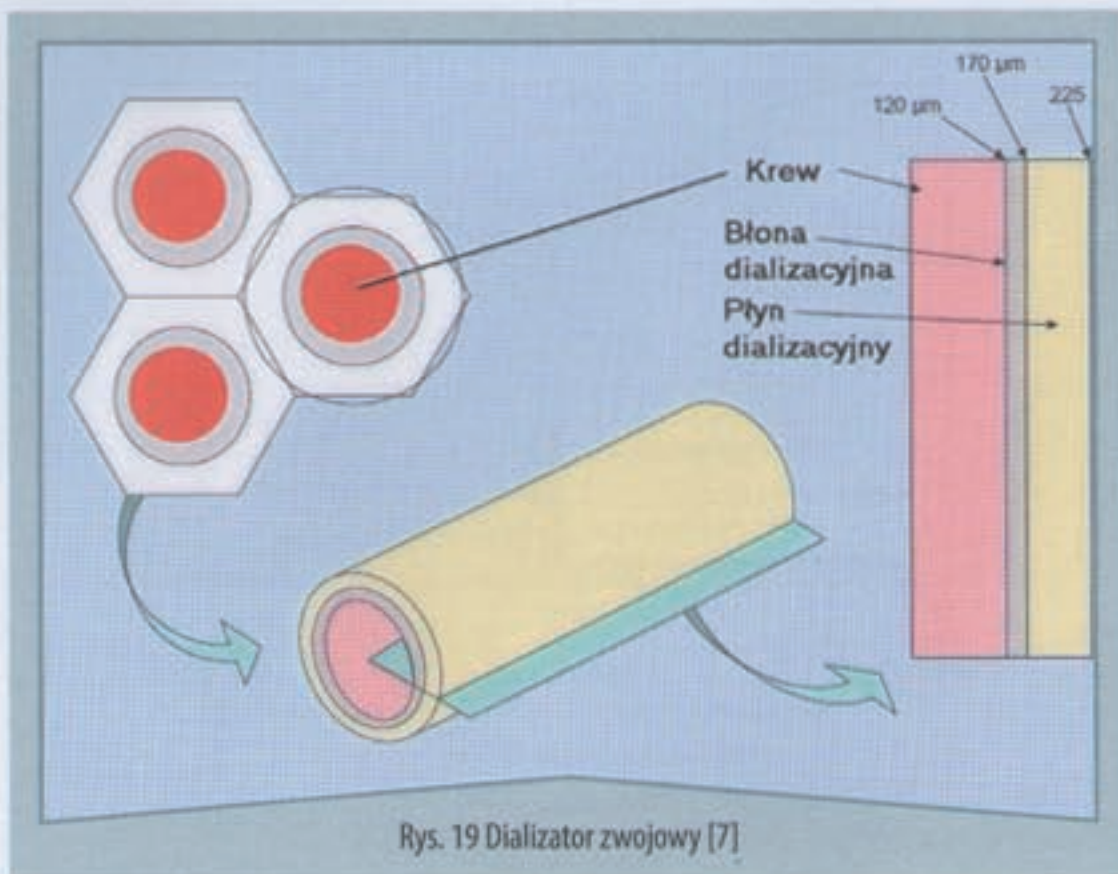
W dializatorach warstwowych krew przepływa między dwiema warstwami błony dializacyjnej, na zewnątrz której przepływa w kierunku przeciwnym płyn dializacyjny. Eksploatacja dializatorów warstwowych natrafiała na szereg problemów: trudności w układaniu kilkudziesięciu warstw błon celulozowych, a wymóg sterylizacji dializatora formaliną i trudności w usuwaniu jego pozostałości wywoływały u pacjentów objawy hemolizy

i wstrząsu anafilaktycznego (alergii o charakterze ogólnoustrojowym). Proces hemodializy był mało efektywny, a niedoskonałość wykonania błon dializacyjnych prowadziła do dużej utraty krwi u pacjentów podczas procesu dializy.

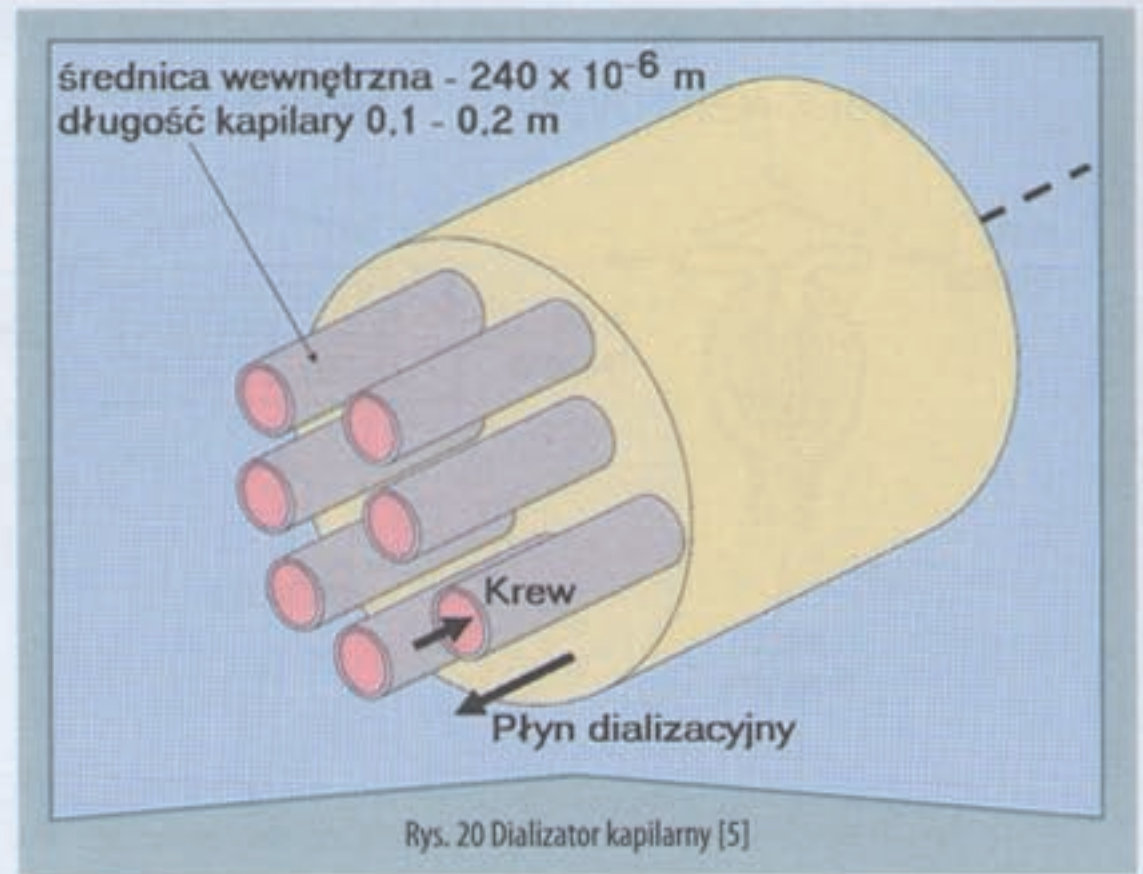
Dializatory zwojowe

W dializatorach zwojowych wokół cylindra jest nawinięta błona dializacyjna. Składa się on z długiego przewodu celofanowego, pozawijanego w spiralę. Otoczony jest od dołu i od góry drucianą siatką. Dzięki temu możliwe jest zastosowanie pompy krwi, wytwarzającej ciśnienie dla przepływu krwi przez kanał. Stworzyło to po raz pierwszy możliwość zajścia prawdziwej ultrafiltracji, podczas gdy wcześniej ograniczano się w zasadzie jedynie do maksymalizacji odciągania wody przez zwiększanie koncentracji glukozy w płynie dializacyjnym. Niestety, dializator zwojowy posiada szereg wad, z których najważniejszą jest niebezpieczeństwo odwodnienia pacjenta (wysokie ciśnienie osmotyczne działało nie tylko na mocznik, ale i na wodę) – należało go stale monitorować i uzupełniać płyny, podając napoje lub kroplówkę dializowanemu [7].





Rys. 19 Dializator zwojowy [7]



Rys. 20 Dializator kapilarny [5]

Dializatory kapilarne

Standardowy dializator kapilarny jest pojemnikiem wykonanym z tworzywa sztucznego o średnicy ok. 5 cm i długości ok. 25 cm. Wewnątrz pojemnika znajduje się ok. 11 tysięcy równoległych kapilar o średnicy wewnętrznej ok. 200-300 μm ($\times 10^{-6}$ m) (standardowo 240 μm), o gąbczastej powierzchni (tzw. błona dializacyjna/błona filtrująca). Przez porowate ściany kapilar może zachodzić dyfuzja substancji rozpuszczonej z wnętrza kapilar do pozostałej części pojemnika i odwrotnie, o ile oczywiście jej stężenia w omawianych przestrzeniach (po obu stronach błony) będą różne. W praktyce klinicznej przez pojemnik przepływa płyn dializacyjny obmywający kapilary, w których płynie tłoczona przez pompę perystaltyczną krew. W trakcie zabiegu dializacyjnego przez porowate ściany kapilar przepływają do płynu dializacyjnego woda i elektrolity. W dializatorach kapilarnych może być również odciągana z krwi woda – dzięki wyższemu ciśnieniu hydrostatycznemu panującemu w kapilarach, gdyż dąży ono do zrównoważenia się z ciśnieniem wody znajdującej się w płynie dializacyjnym (ultrafiltracja). Działanie dializatora kapilarnego jest najbardziej zbliżone do działania prawdziwej, zdrowej nerki [5, 12].

Dializator kapilarny pozwala na:

- uzyskanie wysokiego stopnia oczyszczenia dla małych i średnich cząsteczek
- prowadzenie wysokoefektywnej ultrafiltracji
- minimalne ilości krwi traconej na błonie dializatora.

Ostatnimi czasy, po wprowadzeniu wysokoefektywnych technik dializacyjnych (m.in. High-Flux), wprowadzono do użytku nową generację dializatorów nazywanych hemofiltrami lub hemodiafiltrami. Różnica między filtrami polega głównie na mechanizmie ich działania. W dializatorach do usuwania cząsteczek toksyn i jonów wykorzystuje się zjawisko dyfuzji.

Hemofiltr i hemodiafiltr pozwalają na oddzielenie bezbiałkowego osocza od pozostałych składników krwi, wykorzystując wysokie ciśnienie przezłonowe, mechanizm wykorzystywany w pracy kłębuszka nerkowego [8].

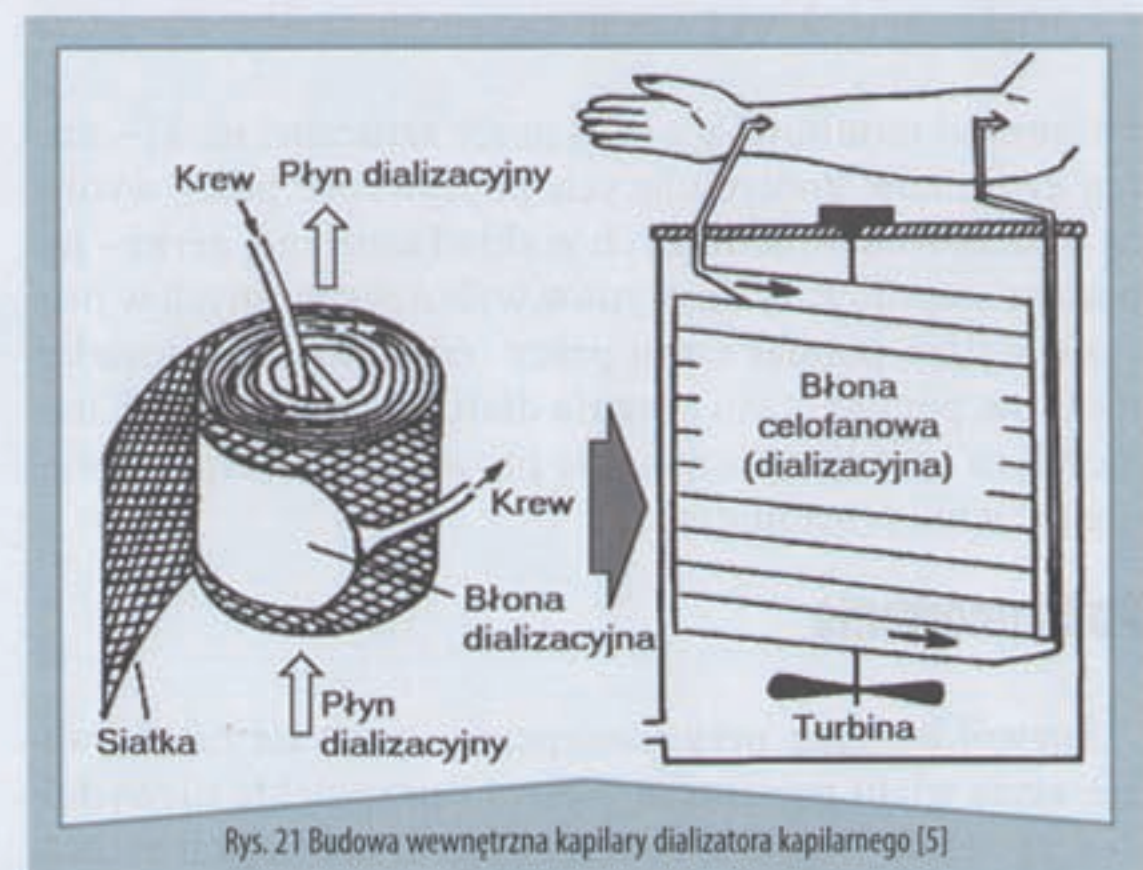
Czujniki stosowane w układach sztucznej nerki

Współczesna sztuczna nerka, jako złożony system automatycznego sterowania procesami dializy, wyposażona jest w szereg czujników, mających za zadanie monitorowanie stanów pracy wybranych urządzeń składowych sztucznej nerki i sygnalizacji wszelkich odchyłek w kontrolowanych parametrach. Monitorowane parametry (np. parametry fizykochemiczne płynu dializacyjnego) mają bezpośredni wpływ na efektywność prowadzonego procesu dializy, a także pośredni wpływ na stan zdrowia i samopoczucie samego pacjenta [5].

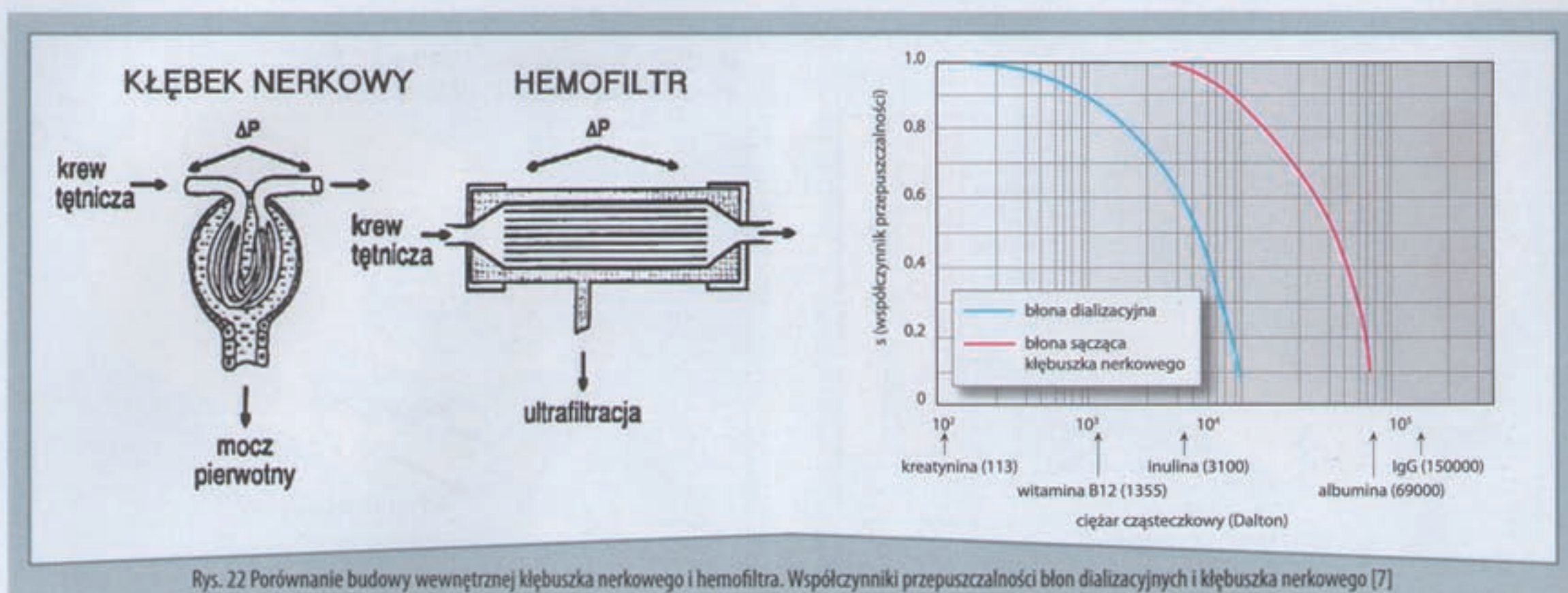
Czujniki zabudowane w sztucznej nerce można grupować w zależności od realizowanych funkcji i obwodu podlegającego kontroli na [11]:

Czujniki monitorujące parametry fizykochemiczne płynu dializacyjnego:

- pomiar temperatury płynu – sensory półprzewodnikowe
- pomiar ciśnienia płynu w obwodzie – manometry półprzewodnikowe wykorzystujące efekt piezorezystancyjny – sprawność układu tłoczenia płynu dializacyjnego
- pomiar konduktywności płynu – sensory z czujnikami platynowymi – konduktywność (przewodność elektryczna) płynu jest proporcjonalna do stopnia stę-



Rys. 21 Budowa wewnętrzna kapilary dializatora kapilarnego [5]



Rys. 22 Porównanie budowy wewnętrznej kłębuszka nerkowego i hemofiltru. Współczynniki przepuszczalności błon dializacyjnych i kłębuszka nerkowego [7]

żenia koncentratu w wodzie – monitorowanie optymalnego składu chemicznego płynu dializacyjnego

- pomiar parametru pH – sensor enzymatyczny (biosensor) – monitorowanie optymalnego składu chemicznego płynu dializacyjnego
- pomiar zawartości pęcherzyków powietrza w płynie – sensor ultradźwiękowy – zmiana prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w płynie z zawartością pęcherzyków powietrza
- pomiar zawartości krwi w płynie dializacyjnym – detektor wycieku krwi – sensor optyczny – tłumienie wiązki światła pod wpływem zmiany klarowności płynu dializacyjnego – sygnalizacja uszkodzenia błony dializacyjnej – automatyczne odłączenie dializatora od obiegu płynu dializacyjnego przez obwód bocznika.

Czujniki monitorujące parametry fizykochemiczne krwi dializowanego pacjenta:

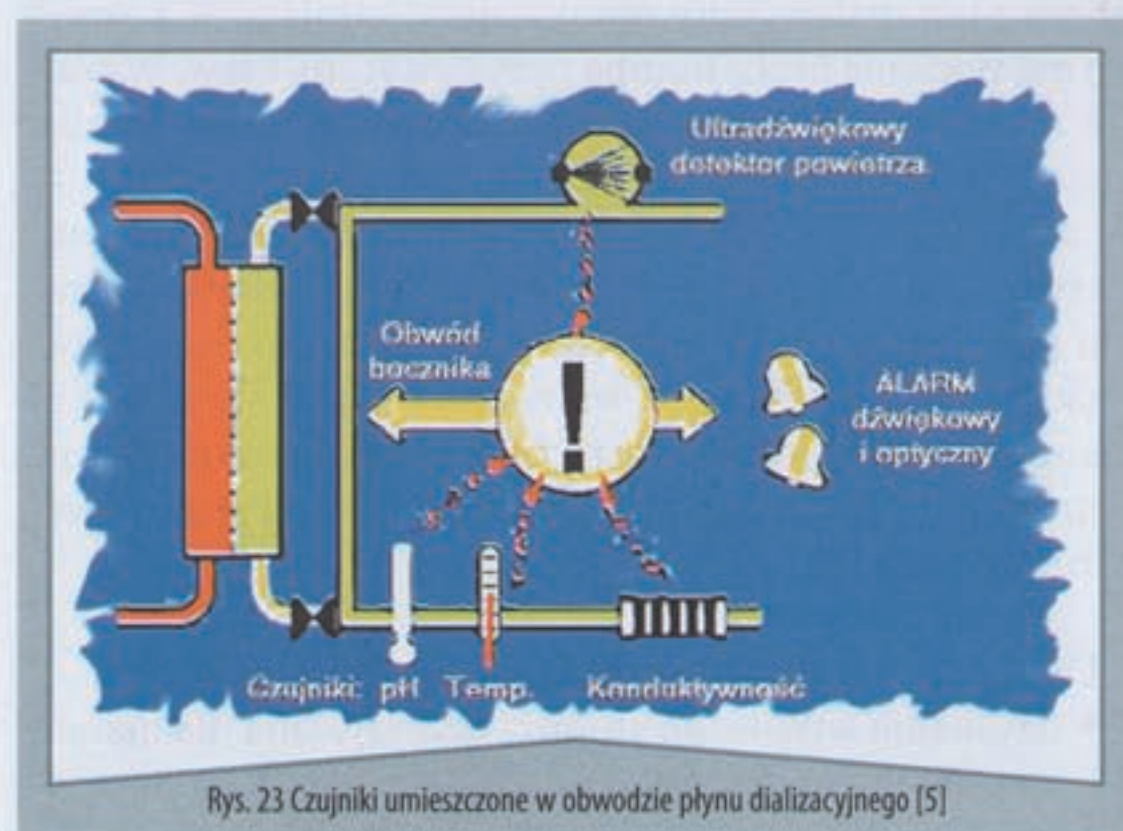
- pomiar ciśnienia tętniczego i żylnego krwi – manometry półprzewodnikowe wykorzystujące efekt piezorezystancyjny – sygnalizacja niesprawności dializatora/wycieku krwi do płynu dializacyjnego i poza dializator/sprawność układu tłoczenia krwi
- pomiar zawartości pęcherzyków powietrza w krwi na wyjściu z dializatora wraz z układem odpowietrzania krwi – sensor ultradźwiękowy/odpowietrzacz grawitacyjny – zmiana prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej we krwi z zawartością pęcherzyków powietrza

Czujniki monitorujące stan pracy sztucznej nerki – szereg czujników kontrolujących poprawność pracy wybranych urządzeń wchodzących w skład sztucznej nerki – np. pomiar stopnia zużycia płynów wykorzystywanych w procesie dializy, pomiar czasu pracy (zużycia) dializatora/hemofiltru, pomiar czasu trwania dializy i szereg innych mających za zadanie zapewnienie prowadzenia bezpiecznego dla pacjenta procesu dializy.

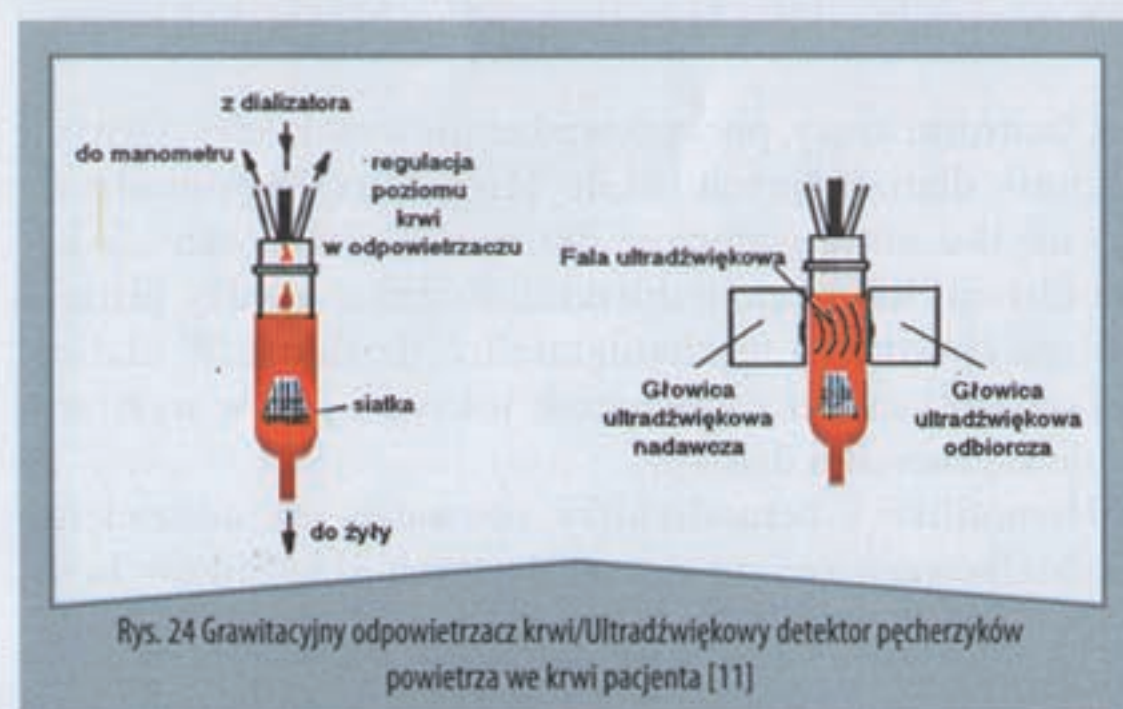
Podsumowanie

Rozwój leczenia nerkozastępczego pozwala na ratowanie życia wielu pacjentom z ostrą i przewlekłą niewydolnością nerek. Dzięki nowoczesnym urządzeniom sztucz-

nej nerki zabieg hemodializy jest bezpieczny, a czas trwania i rodzaj użytego dializatora jest ustalany dla indywidualnych potrzeb pacjenta. Niestety, techniki leczenia nerkozastępczego – w porównaniu z ludzką nerką – są ciągle niedoskonałe, zaś zabiegi dializoterapii są nieprzyjemne, uciążliwe i trudne do zaakceptowania przez pacjentów. Leczenie hemodializą wymaga regularnego przyjeżdżania (2-3 razy tygodniowo) do szpitala lub stacji dializ na zabiegi trwające około 4-5 godzin. Pacjent jest w pewnym sensie „przywiązany” do swojego miejsca zamieszkania i do „swojej stacji dializ”. Zaburzenia funkcji nerek powodują u pacjentów nie tylko dolegliwości natury fizycznej,



Rys. 23 Czujniki umieszczone w obwodzie płynu dializacyjnego [5]

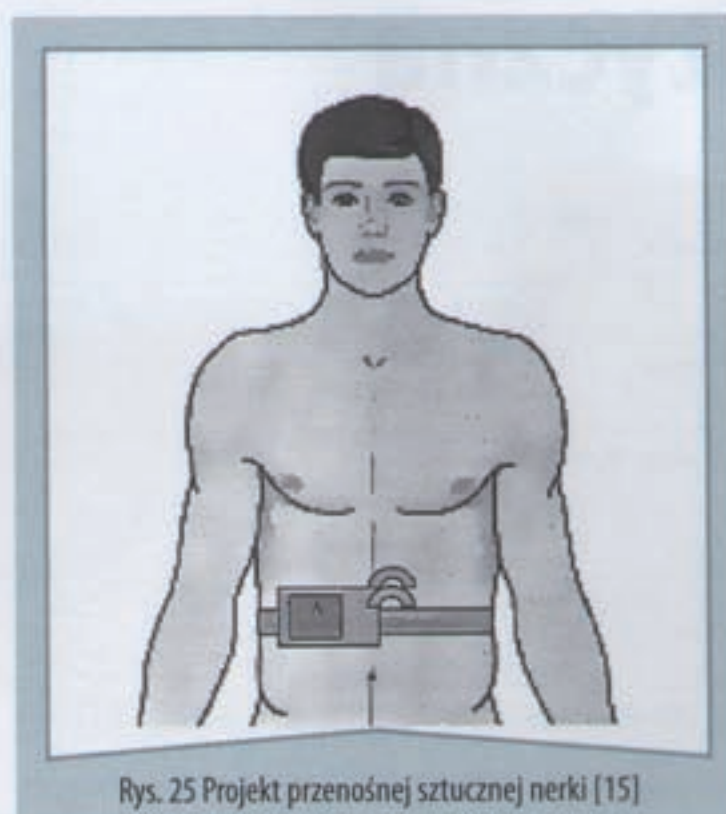


Rys. 24 Grawitacyjny odpowietrzacz krwi/Ultradźwiękowy detektor pęcherzyków powietrza we krwi pacjenta [11]

ale także i psychicznej – pacjenci, umęczeni uzależnieniem od wielogodzinnych zabiegów, czują się niepotrzebni i upośledzeni, często nie potrafią odnaleźć swojego miejsca w społeczeństwie, mają poczucie, że całe ich życie oscyluje wokół choroby.

Zespoły badawcze testują obecnie różne projekty przenośnych sztucznych nerek, noszonych w postaci paska, zasilanych przez akumulatory, pozwalających w przyszłości uwolnić pacjentów od stacjonarnych sztucznych nerek, umożliwiając im swobodę podróżowania po świecie. Przenośna sztuczna nerka [15] jest w stanie sama pozbyć się substancji toksycznych z organizmu, a pacjent w tym czasie może chodzić, pracować czy spać. Zdaniem dr. Victora Gura z University of California w Los Angeles (USA) „przenośna sztuczna nerka pozwoli obniżyć wskaźnik śmiertelności, jak również skalę udręczenia dializowanych pacjentów. Co więcej, pozwoli obniżyć koszty leczenia”.

Prowadzone są również badania na zwierzętach nad organogenezą, tzn. wytwarzaniem nerki w organizmie chorego z komórek macierzystych, które mogłyby być uzyskiwane podczas terapeutycznego klonowania (komórki pacjenta są stymulowane do różnicowania się w kierunku tkanki nerki). Postępowanie polega na uzyskaniu komórek macierzystych, stymulacji ich różnicowania się w kie-



Rys. 25 Projekt przenośnej sztucznej nerki [15]

runku tkanki nerki, a następnie implantacji tak uzyskanych komórek nefrogennych do organizmu pacjenta, gdzie nastąpiłoby unaczynienie i finalny rozwój nerki [http://www.czytelniamedyczna.pl/show_pnm.php?kto-ry=524].

Rozwój powyższych metod jest kwestią przyszłości, ale – biorąc pod uwagę fakt, iż pierwsza skuteczna hemodializa została przeprowadzona zaledwie ponad 50 lat temu oraz że w tym czasie nastąpił gwałtowny i dynamiczny rozwój technologiczny urządzeń do hemodializy – przyszłości wielce prawdopodobnej. Jednakże, mimo dynamicznego rozwoju nauki i techniki, uważamy, że najskuteczniejszą i najbardziej optymalną dla pacjenta formą leczenia nerkozastępczego jest jednak przeszczep od żywego dawcy spokrewnionego, który umożliwia tym samym niemal normalne, szeroko pojmowane funkcjonowanie człowieka.

Katarzyna Kubera-Jaroszewicz

Mirosława Maliga

WSS Im. Gromkowskiego – Wrocław

➤ Literatura

1. **Borodulin-Nadzieja L.:** *Fizjologia człowieka*, Wyd. Deuter, Wrocław 2005.
2. **Chęciński P., Czekalski S., Oszkinis G., Zapalski S.:** *Dostęp naczyniowy do dializ*, Urban & Partner 2001.
3. **Chung-Hak L.:** *Membrane Technology*, School of Chemical and Biological Engineering Seoul National University, Seoul, Korea 2007.
4. **Colombi A.:** *Hemodializa*, PZWL Warszawa 1998.
5. **Correa A., Rutzen B., Santiago A.:** *Biofluid Dynamics Of The Human Kidney System And Artificial Kidney*: Congress on Biofluid Dynamics of Human Body System at University of Puerto Rico, Mayagüez July 10, 2004.
6. **Fenik H.:** *Dostęp naczyniowy u chorych przewlekle dializowanych* – MCD Wrocław, ul. Wszystkich Świętych 2, 2006.
7. **Grabska-Chrzastowska J.:** *Hemodializa – sztuczna nerka*, home.agh.edu.pl/~asior/stud/doc/Hemodializa_08.pdf.
8. **Kopp K., Kelly H.:** *Choroby nerek i dializoterapia*, Astrum, Wrocław 1997.
9. **Książek A., Rutkowski B.:** *Nefrologia*, Czelej, Lublin 2004.
10. **Książek A.:** *Podręcznik dializoterapii*, Czelej, Lublin 2003.
11. *Kwalifikacja do leczenia nerkozastępczego*, www.student.1gb.pl/Rok%20II/Nefrologia/HEMODIALIZA-piel.ppt.
12. **Latosiński P.:** *Ciągłe terapie nerkozastępcze (CRRT) – Szkolenie podstawowe*, Gambro, Warszawa 2007.
13. **Maliga M.:** *Rola pielęgniarki w leczeniu hemodializą*: Praca licencjacka, Akademia Medyczna, Wrocław 2009.
14. **Mawahib Gafare A., Abdallah Bellal A., Dennis J.:** *Capacitive Air Bubble Detector For Moving Blood In Artificial Kidney*: The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (ISBME 2008).
15. **Parrish A.:** *Carbon Nanotubes and Other Nanomaterials Used to Make Wearable Artificial Kidney for Hemodialysis and Peritoneal Dialysis*. http://beforeitsnews.com/story/36/423/Carbon_Nanotubes_and_Other_Nanomaterials_Used_to_Make_Wearable_Artificial_Kidney_for_Hemodialysis_and_Peritoneal_Dialysis.html.
16. **Rutkowski B.:** *Dializoterapia w praktyce pielęgniarskiej*, Gdańsk 2002, stud.pam.szczecin.pl/~bayer/nefro/HD%20Zarys.PPT.

Branża pneumatyczna w Polsce



Na naszej mapce branży pneumatycznej umieszczone są firmy, o których redakcja ma informacje dotyczące ich działalności i które prezentują swoją ofertę na łamach Pneumatyki.

➤ Spis reklam

Reklamy

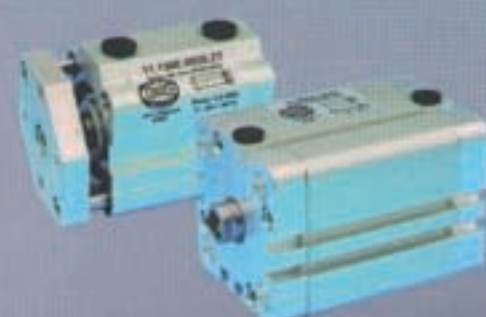
Fluctus	I okl.
HPS	II okl.
CPP Prema	III okl.
Marani	IV okl.

Control-Tech	25
HPS Katowice	8
OBR Kielce	3
Targi Kielce	14

CENTRUM PRODUKCYJNE PNEUMATYKI PREMA S.A. Kielce



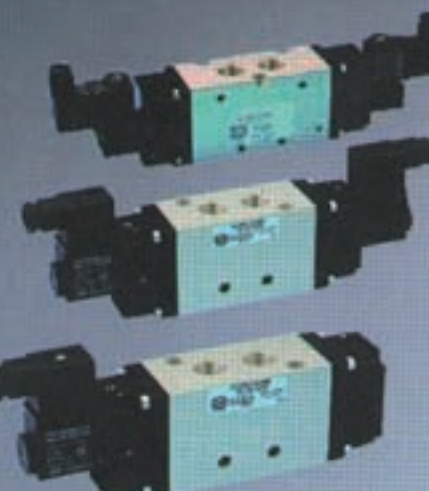
siłowniki pneumatyczne
D12÷D320, ISO i CNOMO
z elementami mocującymi



siłowniki pneumatyczne
kompaktowe i dociskowe
D16÷D100



cylindry hydrauliczne
D25÷D160



zawory rozdzielające
G1/8-G3/4



elementy przygotowania
sprężonego powietrza
G1/4-G3/4

CPP PREMA S.A.

ul. Wapiennikowa 90, 25-101 Kielce
tel. +48 41 361 95 24, +48 41 366 95 31
tel. +48 41 366 95 30, fax +48 41 361 91 08
tel. kom. 0 693 724 755, 0 693 724 767
Marketing : tel +48 41 362 21 60
e-mail : prema@prema.pl



**AUTOMATYZACJA TECHNOLOGII DLA MAŁYCH
I ŚREDNICH PRZEDSIĘBIORSTW**

www.prema.pl



Blue Earth Technology opracowuje
nowy silnik pneumatyczny...

piątek, 26 marca 2010
AIRnetTM – instalacje sprężonego
powietrza Multiples by Express
Multiples by Express® to niezwykle
elastyczny, modułowy syst...

niedziela, 27 czerwca 2010



MOBILAIR 43

MOBILAIR 43 w obudowie z polietylenu (PE)
Nadzwyczajnie ekonomiczna. Można to dostrzec gołym okiem. MOBILAIR 43
zawiera klasę 4m3 sprężarek przewoźnych. Od chwili obecnej to wydajne i
ekonomiczne urządzenie dostępne jest nie tylko w tradycyjnej, metalowej obudowie.



MOBILAIR 43



leonova

Wyszukiwarka sprężarek

Baza Producentów

Baza Serwisów

Ciśnienie [Bar] od :

0.5

Ciśnienie [Bar] do :

0.5

Wydajność [m3/h] od :

1

Wydajność [m3/h] do :

1

reset ustawień

Typ sprężarki :

dowolna

- ☐ falownik
- ☐ zbiornik
- ☐ osuszacz
- ☐ sterownik

- ☐ napęd z przekładnią zębata [bezpośredni]
- ☐ pasowy system przenoszenia napędu [pośredni]
- ☐ chłodzenie wodą
- ☐ chłodzenie powietrzem

szukaj

Wyszukiwarka sprężarek



sprężarka

Kalendarium - wyszukiwarka wydarzeń

KALENDARIUM

- ☒ Targi
- ☒ Dni otwarte
- ☒ Seminaria

- ☒ Konferencje
- ☒ Szkolenia
- ☒ Pokazy

Wyszukiwarka

Rok wydarzenia :

2010

Miejsce wydarzenia :

nie_zdefiniowano

TOP PRODUKT

www.pneumatyka.com