Pneumatyka

1(70)2009
KWARTALNIK
cena 12 zł
(w tym VAT 7%)

PRZEMYSŁOWE SYSTEMY SPRĘŻONEGO POWIETRZA

ISSN 1426-6644
Indeks 337 323

Czujnik pneumatyczny

Manipulator pneumatyczny

Oszczędność energii

Pompy insulinowe

Roboty rehabilitacyjne

Siłowniki

Sprężarki łopatkowe

Sprężarki odśrodkowe

WYDAWNICTWO pneumatyka

ISSN 1426-6644
01>
9 771426 664800

Sprężarki odśrodkowe firmy Atlas Copco

str. 12

COMPRESSOR.COM.PL

Sklep internetowy

Największy w Polsce sklep internetowy umożliwiający zakup towarów i usług bez pośredników. Compressor.com.pl to całodobowa obsługa, szybkie, proste i bezpieczne zakupy. Naszym Klientom oferujemy szeroki wachlarz towarów branży sprężonego powietrza z gwarancją bezpieczeństwa zakupów w Internecie. Dzięki bezpośredniej współpracy z producentami filtrów, separatorów, sprężarek i zbiorników dajemy Państwu gwarancję najniższej ceny na produkty markowe i zamienniki.

Zapraszamy

Rekomendowany przez polskich inżynierów i zespoły serwisowe.

COMPRESSOR.COM.PL

INTERNETOWY SKLEP -TECHNIKA SPRĘŻONEGO POWIETRZA

ADRES SKLEPU INTERNETOWEGO:
http://compressor.com.pl

ADRES SKLEPU
ul. Mieszka I 61
66-400 Gorzów Wlkp.
woj. lubuskie
tel. 095 7223 688
Faks: 095 7223 993

Łukasz N. Węsierski

Szanowni Państwo!

Trzymacie w rękach pierwszy tegoroczny numer „Pneumatyki" – czasopisma, z którym macie kontakt już od trzynastu lat. Przez ten czas wiele się zmieniło – było wielu redaktorów i różne podjęte przez nich inicjatywy, w większości zrealizowane z powodzeniem. Do sukcesów redakcji zaliczyć można między innymi: periodyczne dostarczanie Państwu informacji z zakresu techniki sprężonego powietrza, relacje z ważniejszych wydarzeń (takich jak targi czy konferencje), drukowanie i wydanie leksykonu pneumatyki, organizowanie konkursów na najlepsze prace dyplomowe, spotkanie producentów sprężarek, współpraca z uznanymi ośrodkami naukowo-badawczymi w kraju i za granicą, stworzenie rady programowej, stałe powiększającą się liczbę prenumeratorów.

Ale były też chwile smutne. Przed dwoma laty odszedł od na twórca czasopisma śp. Roman Breszka, który był motorem wielu działań i równocześnie przyjacielem zespołu skupionego wokół naszego kwartalnika. Nie pozostało to, niestety, bez wpływu na jego dalsze losy. Odszedł redaktor naczelny, zaczęły się kłopoty z terminowością wydawania kolejnych numerów „Pneumatyki", nad czasopismem zawisło nawet widmo jego likwidacji.

Znalazły się jednak osoby, które w najtrudniejszym momencie podały nam pomocną dłoń. Powstało nowe wydawnictwo pod nazwą PNEUMATYKA, które przejęło wydawanie czasopisma. Pragnieniem wydawcy jest oddać je we władanie ludziom najbardziej predystynowanym do jego tworzenia, czyli Stowarzyszeniu Techniki Sprężonego Powietrza. Dlatego też proponuje Państwu – naszym Czytelnikom – założenie takiego Stowarzyszenia, które skupiałoby producentów, dystrybutorów, użytkowników oraz osoby zajmujące się projektowaniem i badaniami w tej jakże ważnej dziedzinie przemysłu. Stowarzyszenie owo będzie miało w „Pneumatyce" swoje forum wydawnicze i znaczący, realny wpływ na kształt pisma. W ten sposób redagowane są i wydawane pisma branżowe w Europie Zachodniej. Chęć udziału w tym przedsięwzięciu zgłosiły już pierwsze osoby w czasie trwania Targów w Kielcach. Liczymy na dalsze Państwa zgłoszenia i prosimy o przesyłanie ich do redakcji na adres e-mail pneumatyka@wiewiorowska.pl lub telefonicznie +48 605 147 404, o postępach naszej inicjatywy będziemy Państwa na bieżąco informować.

Pragnąłbym w imieniu Rady podziękować wszystkim, którzy zarówno swoją pracą, jak i wsparciem finansowym zapobiegli zniknięciu czasopisma z rynku wydawniczego i zapewnili ciągłość ukazywaniu się „Pneumatyki". W tym kontekście szczególne podziękowania należą się redaktor naczelnej doc. Małgorzacie Wiewiórowskiej, która dzięki swojemu wielkiemu zaangażowaniu i determinacji doprowadziła, mimo piętrzących się kłopotów, do wydania ostatnich 5 numerów „Pneumatyki".

Licząc na Państwa pomoc i współpracę, życzymy miłej i owocnej lektury.

Pneumatyka

Redakcja
doc. dr inż. Małgorzata Wiewiórowska
(redaktor naczelny)
tel. kom. +48 605 147 404
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

WYDAWNICTWO pneumatyka

Wydawca
Wydawnictwo Pneumatyka

Drukarnia
UrDruk

Prenumerata
tel. kom. +48 605 147 404
e-mail: pneumatyka@wiewiorowska.pl

Recenzenci wydania
Jerzy Iwaszko
Tadeusz A. Knap
Kazimierz Peszyński
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 adiustacji, doboru tytułów i dokonywania skrótów. Artykuły publikowane w czasopiśmie są recenzowane i kwalifikowane do druku po uzyskaniu pozytywnej opinii. Przedruk tekstów w części lub w całości wyłącznie za zgodą wydawcy.

W numerze

- informacje
  15. rocznica Atlas Copco 5
- nauka i technika
  Berlińska poczta pneumatyczna 10..11
- sprężarki
  Ludzie i sprężarki łopatkowe 43..45
- zastosowanie pneumatyki
  Manipulatory pneumatyczne w rehabilitacji kończyny górnej 7..9
- oszczędność energii
  Oszczędność energii w systemach sprężonego powietrza 16..20
- sterowanie
  Pneumatyczny manipulator w urządzeniu do badań hydraulicznych narzędzi ratowniczych 25..29
- zastosowanie pneumatyki
  Pneumatyczny system czyszczący czoła wałeczków łożyskowych 32..35
- nauka i technika
  Polskie Stowarzyszenie Inżynierii Wiatrowej 30
- zastosowanie pneumatyki
  Pomiar średniej wartości ciśnienia krwi czujnikiem pneumatycznym 36..42
- nauka i technika
  Pompy insulinowe – współczesna metoda leczenia cukrzycy 46..53
- wywiad
  Rozmowa ze Zbigniewem Czarnotą, prezesem firmy REWA Sp. z o.o. 22..23
- siłowniki
  Siłowniki pneumatyczne produkowane w firmie REWA 31
- siłowniki
  Siłowniki pneumo-mechaniczne firmy CKD 24
- sprężarki
  Sprężarki odśrodkowe serii ZH Atlas Copco 12..15
- informacje
  Witamy w Air Liquide 6

Firma buduje swój wizerunek od 1994 roku, kiedy została zarejestrowana spółka Atlas Copco Kompresor. Ale produkty Atlas Copco są obecne w Polsce już od 1932 r.: w niektórych zakładach nadal znajdujemy w pełni sprawne, liczące sobie ponad pięćdziesiąt lat sprężarki.

15. rocznica Atlas Copco Polska

Atlas Copco Polska Sp. z o.o. (taką nazwę nosi od 2000 r.) jest spółką polskiego prawa handlowego, w której Atlas Copco jest jedynym udziałowcem. To powiązanie z firmą macierzystą gwarantuje naszym Klientom solidność, stabilność i pewność nie tylko na etapie zawierania kontraktów handlowych, ale i w okresie codziennej eksploatacji urządzeń.

Rolą naszej spółki w Polsce jest marketing, sprzedaż oraz obsługa posprzedażna produktów Atlas Copco. Z tego wynika struktura organizacyjna firmy, gdzie jej główna siedziba (ulokowana przy drodze dojazdowej do Warszawy od strony Katowic), centralny warsztat oraz magazyny mieszczą się w Sękocinie Nowym (koło Janek), wspierając przedstawicieli handlowych i inżynierów serwisowych rozlokowanych na terenie całego kraju – wszędzie tam, gdzie obecni są nasi Klienci.

Do grona użytkowników maszyn i urządzeń Atlas Copco mamy zaszczyt zaliczyć kilkaset przedsiębiorstw reprezentujących pełne spektrum branż polskiego przemysłu. Aby jeszcze lepiej spełniać ich oczekiwania, nasze działania wspierane są przez autoryzowanych dystrybutorów. Atlas Copco Polska zatrudnia ponad 300 osób, posiada oddziały w głównych miastach oraz przedstawicieli handlowych i serwisowych we wszystkich regionach kraju.

Kluczem do sukcesu, zgodnie z wizją Grupy Atlas Copco „Pierwsza myśl – najlepszy wybór", jest nasza silna motywacja, aby być numerem 1 na rynku sprężarek stacjonarnych i spalinowych oraz maszyn i urządzeń budowlanych, a także wartości Grupy –innowacja, współdziałanie, zaangażowanie – zgodnie z którymi urządzenia firmy Atlas Copco są projektowane, produkowane i sprzedawane.

Jesteśmy w stanie przedstawić optymalne rozwiązanie dostosowane do każdego Klienta. Oferując sprzęt najwyżej jakości, nasi profesjonalni doradcy handlowi potrafią dokładnie przeanalizować potrzeby Klienta, tak by spełnić ich wysokie wymagania i oczekiwania.

Z kolei dobrze rozwinięty i fachowy serwis jest sferą działalności mającej u nas priorytetowe znaczenie. Awarie sporo kosztują, zatem podstawową sprawą jest ich unikanie. Dlatego oferujemy naszym odbiorcom całą gamę produktów serwisowych, przejmując odpowiedzialność za profesjonalną obsługę dostarczonych przez nas urządzeń. Nasza sieć serwisowa jest rozległa, a grupa dobrze wyszkolonych pracowników firmy Atlas Copco zawsze gotowa jest służyć Klientowi wszechstronną pomocą.

Nieustannie zdobywamy zaufanie Klientów, oferując im pełen pakiet produktów i usług wysokiej jakości, jednocześnie dbając o bezpieczeństwo i ochronę środowiska naturalnego. Funkcjonując jako lokalna organizacja w określonej społeczności, kluczowymi elementami budującymi partnerstwo w działaniu są wzajemne zaufanie i szacunek. Podążając tą drogą, chcielibyśmy w kolejnych latach naszej działalności w Polsce pozostać sprawdzonym partnerem i liderem w przemyśle maszynowym. ■

Fot. 1 Atlas Copco Polska

Agnieszka Trzaska
Communication Manager

Witamy w Air Liquide!

Początki firmy sięgają roku 1902, gdy Georges Claude i Paul Delorme utworzyli spółkę.

Strategia Air Liquide skupia się na akcjonariuszach: ma obecnie 380 tysięcy indywidualnych udziałowców, którzy posiadają 37% kapitału, zatrudnia 43 tysięcy pracowników. Air Liquide jest światowym liderem w dziedzinie gazów dla przemysłu, ochrony zdrowia i środowiska naturalnego. Podstawowa działalność firmy obejmuje produkcję i dystrybucję tlenu, azotu, argonu, wodoru oraz innych gazów szlachetnych.

Priorytetem dla Air Liquide zawsze był rozwój międzynarodowy: obecnie posiada 130 spółek w 75 krajach. Tak powszechna obecność firmy na rynkach światowych pozwala na połączenie globalnych doświadczeń z uwzględnieniem specyfiki lokalnych Klientów. Zaangażowanie w rozwój technologii sprawia, że Grupa Air Liquide przez ponad 100 lat znajduje się na czele nowoczesnych producentów gazów technicznych. Celem Grupy jest realizacja potrzeb Klientów poprzez zastosowanie innowacyjnych rozwiązań, dzięki którym zwiększa się wydajność produkcji w zakładach Klientów oraz ochrona środowiska naturalnego.

Strategia korporacji koncentruje się na osiągnięciu zrównoważonego rozwoju poprzez stały wzrost w wymiarze ekonomicznym, środowiskowym, społecznym i ludzkim.

Air Liquide stale rozwija swoją działalność, wyprzedzając bieżące i przyszłe potrzeby rynku. Wprowadzane innowacje zapewniają Grupie stały postęp, umożliwiający dalszy, dynamiczny rozwój firmy. Nasze technologie ograniczają emisję zanieczyszczeń środowiska, obniżają zużycie energii, odzyskują i ponownie wykorzystują zasoby naturalne, rozwijają energie jutra (takie jak wodór, biopaliwa czy energia fotowoltaiczna), wspomagają terapię tlenem i oddychanie w warunkach domowych i szpitalnych, przyspieszają leczenie zakażeń szpitalnych. Air Liquide łączy wiele produktów i technologii, mając na celu opracowanie wartościowych rozwiązań i usług nie tylko dla swoich Klientów, ale także dla ogółu społeczeństwa.

Air Liquide polega na zaangażowaniu swoich pracowników, zaufaniu Klientów oraz wsparciu udziałowców, by zrealizować wizję zrównoważonego i konkurencyjnego wzrostu. Zróżnicowanie zespołów Air Liquide, obsługiwanych rynków oraz obecność w wielu krajach zapewniają stabilną i zrównoważoną bazę do rozwoju Grupy, a także umacniają jej zdolność przełamywania własnych ograniczeń, zdobywania nowych Klientów oraz budowania swojej przyszłości.

Air Liquide bada możliwości najlepszego wykorzystania powietrza, by chronić życie na naszej planecie będąc w zgodzie ze swoim fundamentalnym podejściem do zrównoważonego rozwoju.

Szczególny nacisk firma kładzie na będące sztandarową częścią jej działalności innowacje. Badania i rozwój koncentrują się na zaspokajaniu potrzeb Klientów, przy jednoczesnym umacnianiu konkurencyjności Grupy. Priorytetem Air Liquide było, jest i zawsze będzie bezpieczeństwo. Zasady te stanowią fundamentalny aspekt podejścia Air Liquide do rozwoju podejścia, które może być odniesione do naszego codziennego życia: zarówno prywatnego, jak i zawodowego. ■

Marta Żyłka, Jacek S. Tutak

Manipulatory pneumatyczne w rehabilitacji kończyny górnej

W artykule przedstawiono techniczną stronę problematyki inżynierii biomedycznej i inżynierii rehabilitacyjnej. Pokazano możliwości zastosowania specjalnych elementów – mięśni pneumatycznych w budowie urządzeń wspomagających rehabilitację kończyny górnej. Podano również ogólne warunki projektowe urządzeń rehabilitacyjnych.

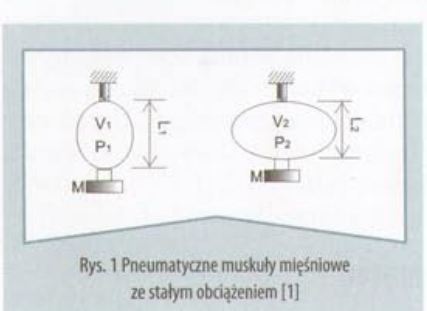
Wprowadzenie

Z danych statystycznych wynika, że niesprawności ruchowe kończyn górnych dotyczą coraz większej liczby osób. Występowanie problemów ruchowych spowodowane jest wypadkami, chorobami lub wadami wrodzonymi kończyny. Problemy ruchowe najczęściej mogą występować w różnym stopniu zaawansowania.

Metody leczenia obejmują metody zachowawcze (zastosowanie aparatów ortopedycznych i rehabilitacyjnych) oraz metody operacyjne (m.in. przeszczepianie ścięgien i mięśni, wszczepianie endoprotez, implantów i stymulatorów mięśni). Bardzo dobrym środkiem leczniczym niesprawności kończyn górnych są ćwiczenia ruchowe (rehabilitacja). W celu zwiększenia dostępności usług rehabilitacyjnych i atrakcyjności przeprowadzonych ćwiczeń pojawia się ogromne zapotrzebowanie na wysokiej klasy urządzenia rehabilitacyjne, np. roboty rehabilitacyjne (do prowadzenia ćwiczeń oraz diagnostyki) umożliwiające analizę wyników, jakie pacjent uzyskuje po kolejnych etapach rehabilitacji.

Roboty rehabilitacyjne

W ostatnich latach można zauważyć duże zainteresowanie tematyką związaną z robotami rehabilitacyjnymi. Wiele ośrodków zajmuje się dostosowaniem robotów już istniejącymi do wymogów rehabilitacji, inne z kolei próbują stworzyć zupełnie nowe urządzenia. Celem prowadzonych badań nie jest wyeliminowanie terapeuty, a pomoc w jego ciężkiej pracy i zmniejszenie kosztów rehabilitacji, co jednoznacznie związane jest ze zwiększeniem dostępności pacjentów do świadczeń rehabilitacyjnych. Prowadzone są także doświadczenia związane z analizą pracy mózgu (zrozumieniu mechanizmów uczenia się ruchu przez człowieka).



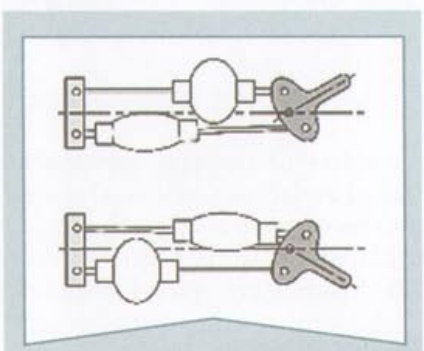
Rys. 1 Pneumatyczne muskuły mięśniowe ze stałym obciążeniem [1]

Większość manipulatorów rehabilitacyjnych napędzana jest silnikami elektrycznymi. W ostatnim czasie coraz częściej konstruktorzy przekonują się do napędów pneumatycznych, co wiąże się z niezaprzeczalnymi zaletami tego typu napędów: ich lekkością, elastycznością oraz mocą.

Pneumatyczny siłownik mięśniowy

Mięsień pneumatyczny to rodzaj pneumatycznego siłownika jednostronnego działania. Mięśnie pneumatyczne działają dzięki sprężonemu powietrzu – mięsień proporcjonalnie do ciśnienia pęcznieje i kurczy się. Występujące w mięśniach pneumatycznych naprężenia wynikają z ich dużej sztywności wzdłużnej oraz odpowiadają zewnętrznemu obciążeniu osiowemu.

Siłę ciągnącą mięśni oraz przemieszczenie można zmieniać dzięki regulacji ciśnienia (rys. 1). Siła ciągnąca mięśni pneumatycznych w odniesieniu do ich przekroju poprzecznego jest dużo większa od siły mięśnia biologicznego. Na rys. 2 przedstawiono przykładowe zastosowanie dźwigni z dwoma przeciwnie działającymi mięśniami pneumatycznymi.


Rys. 2 Schematy zastosowania mięśni pneumatycznych [1]

Obecnie znanych jest wiele sztucznych mięśni pneumatycznych (Pneumatic Artificial Muscle), m. in.: Bladder Muscles (Fluidic Muscle, Pneumatic Muscle Aktuator „McKibben", Sleeved Bladder Muscle), Platted Muscles (Platted PAM, Flexator, Fiber Muscle, RPM), Netted Muscles (Yarlott Muscle, ROMAC, Kukoij Muscle), Embedded Muscles (Baldwin Muscle, Morin Muscle, Paynter Hyperboloid Muscle, Paynter Knitted Muscle, UPAM, Kleinwachter torsion

device) [2]. Sztuczne układy mięśniowe znajdują zastosowanie m.in. w protezach i ortezach.

Przegląd manipulatorów rehabilitacyjnych

Zastosowanie manipulatorów pneumatycznych w rehabilitacji kończyny górnej w Polsce nie jest powszechnie znane. Dokonawszy przeglądu rynku sprzętu rehabilitacyjnego stwierdzono znikomość asortymentu związanego z pneumatyką. Gdzieniegdzie można napotkać w ofercie buty pneumatyczne, a przedstawiciele firm rehabilitacyjnych odnajdują elementy pneumatyki w elementach wózków lub łóżek dla chorych pacjentów. W wyniku braku możliwości zobaczenia, przetestowania i opisania urządzeń rehabilitacyjnych z zastosowaniem manipulatorów dla kończyny górnej dokonano przeglądu urządzeń rehabilitacyjnych poza granicami naszego kraju. Przykłady zastosowania pneumatyki w napędach robotów zaprezentowano poniżej. Różnica między manipulatorem a robotem polega na tym, że robot posiada układ sterowania.

Robot do ciągłych ćwiczeń kończyny górnej

Jest to urządzenie umożliwiające wykonywanie ruchów w stawie barkowym, łokciowym i nadgarstku. Do napędu użyte zostały cztery muskuły pneumatyczne. Urządzenie posiada możliwość dostosowania do różnych długości kończyny. Pacjent, „ubrany" w urządzenie Rupert (fot. 1), może wykonywać narzucone przez rehabilitanta ćwiczenia lub czynności dnia codziennego. Idealne połączenie urządzenia z ciałem pacjenta zapewniają ortezy. Omawiane urządzenie zostało zbudowane przy współudziale Arizona State University (Jiping He) i firmy Kinetic Muscles. Prezentowane urządzenie jest odpowiedzią na ogromne zapotrzebowanie na urządzenie tanie, bezpieczne i łatwe w obsłudze. Dotychczas powstało kilka wersji urządzenia Rupert I i Rupert II. Omawiane urządzenie idealnie nadaje się do rehabilitacji w domu oraz znacząco przyspiesza rehabilitację pacjentów.

Fot. 1 Egzoszkielet manipulatora rehabilitacyjnego kończyny górnej: Rupert I (po lewej) [3] i Rupert II (po prawej) [4]

Mentor dłoni

Urządzenie Hand Mentor (fot. 2) przystosowane jest do ćwiczeń palców i nadgarstka. Podczas projektowania urządzenia dążono do uzyskania możliwie najmniejszej jego wagi. Odrzucono tradycyjne napędy robotów (silniki elektryczne), zastępując je muskułami pneumatycznymi naśladującymi mięśnie człowieka. Zastosowana pneumatyka okazała się tańsza od elektroniki, pojawiły się natomiast trudności ze sterowaniem. Urządzenie, posiadające pięć stopni swobody, zbudowane zostało przez The National Institute of Biomedical Imaging, Bioengineering (NIBIB), National Center for Medical Rehabilitation Research at the National Institute of Child Health i Human Development (NICHD).

Mentor dłoni daje możliwość wykonywania ćwiczeń pacjentom z połowicznym niedowładem ręki, będącego konsekwencją udaru. Poprzez zastosowanie czujników pacjent może śledzić przebiegu wykonywanego ćwiczenia na wyświetlaczu LCD. Urządzenie Hand Mentor zaprojektowano tak, aby mogło być noszone na ręce niczym bransoleta.

Fot. 2 Hand Mentor – urządzenie pomagające zwiększyć zdolności manualne ręki [5]

Inteligentne pneumatyczne urządzenie do ćwiczeń kończyny górnej

Urządzenie iPAM (fot. 3) przeznaczone jest do ćwiczeń ramienia i przedramienia. Wyposażono je w czujniki, dzięki którym „system" może kontrolować poprawność wykonywanych ćwiczeń. Urządzenie składa się z dwóch robotów połączonych z pacjentem za pomocą ortezy ramienia i ortezy przedramienia. Roboty prowadzą rękę po zadanej trajektorii, naśladując pracę rehabilitanta. Powoduje to odciążenie rehabilitanta, który staje się potrzebny tylko do bardziej skomplikowanych ćwiczeń oraz do sprawdzenia pracy robotów. Do napędów zastosowano siłowniki pneumatyczne.

Fot. 3 Urządzenie iPAM (Intelligent Pneumatic Arm Movement) [6]

Prezentowany system, dzięki układowi wspomagającemu i monitorującemu, obrazuje poprawność wykonywanych zadań. Atrakcyjność wykonywanych ćwiczeń została zwiększona dzięki wirtualnej rzeczywistości. Urządzenie zbudowano dzięki współpracy m.in. Uniwersytetu Leeds, Uniwersytetu Manchester NHS i NEAT. Obecnie trwają prace nad dalszym jego udoskonaleniem.

Egzoszkielet Wilmington

Celem tego egzoszkieletu (fot. 4) jest pomoc w czynnościach dnia codziennego (np. podczas jedzenia). Przystosowany do rehabilitacji w domu, we współudziale z wirtualną rzeczywistością (zadania do wykonania przez pacjen-

ta wyświetlane są na monitorze komputera), sprawia, że rehabilitacja staje się przyjemniejsza. Urządzenie dostosowane jest do ćwiczeń z dziećmi oraz z osobami starszymi po udarach. Posiada pięć stopni swobody. Umożliwia szeroki zakres ruchów kończyny górnej oraz pomiar siły w ręce. Prezentowane urządzenie działa z następującymi siłami: 45 N (po osi x – na prawo od ciała pacjenta), 55 N (po osi y – przed pacjentem) oraz 70 N (po osi z – do góry). Do napędu zastosowano siłowniki pneumatyczne.

Projektowanie urządzeń rehabilitacyjnych

Projektowanie urządzeń rehabilitacyjnych jest procesem długotrwałym i bardzo złożonym. Wymaga współpracy specjalistów z różnych dziedzin (m.in. inżynierów, rehabilitantów, lekarzy), co związane jest z mechatronicznym podejściem do projektowania. Składa się z części napędowej, sterującej i wizualizacyjnej. Przy konstruowaniu np. manipulatora należy uwzględniać różnorodność cech indywidualnych pacjenta.

Większość ćwiczeń wykonywana jest przy pomocy rehabilitanta. Jego praca, poświęcona głównie jednemu pacjentowi, bywa długotrwała i męcząca. Robot nie męczy się, zawiera duży zbiór zaprogramowanych ćwiczeń, pozostawiając rehabilitantowi tylko ich wybór oraz ocenę postępów.

Bardzo ważnym elementem jest bezpieczeństwo pracy urządzeń, dlatego projektuje się je zgodnie z normami i standardami technicznymi, w szczególności medycznymi. Praca nowoczesnego stanowiska do rehabilitacji kończyny górnej sterowana jest przez komputer PC, który analizuje dane pochodzące od robota i z czujników. Daje to możliwość ciągłej korekty i doboru optymalnego programu ćwiczeń. Badania naukowe potwierdzają, że powodzenie terapii związane jest ze skupieniem i motywacją pacjenta, którą nowoczesne urządzenia powinny mu zapewniać.

Wnioski

Fot. 4 Pneu – WRE (Wilmington Robotic Exoskeleton) [7]

Wykorzystanie napędów pneumatycznych jest znacznie lepszym rozwiązaniem niż stosowanie standardowych napędów elektrycznych. Muskuły pneumatyczne są elementami napędowymi charakteryzującymi się lekkością, elastycznością oraz dużą mocą, w dodatku są o wiele tańsze od elektroniki. Bardzo korzystną cechą jest porównywalność charakterystyk mięśni pneumatycznych z charakterystyką mięśni ludzkich.

Dotychczasowe badania nad manipulatorami pneumatycznymi są więcej niż zadowalające. Naukowcy konstruują nowe urządzenia, zwiększają ilość badań i liczbę pacjentów, poszukują jak najlepszych rozwiązań technicznych i jak najlepszych algorytmów ćwiczeń. Technologia robotów rehabilitacyjnych jest ciągle rozwijana i udoskonalana. ■

mgr inż. Marta Żyłka
Politechnika Rzeszowska
Zakład Mechaniki Płynów i Aerodynamiki

mgr inż. Jacek S. Tutak
Katedra Mechaniki Stosowanej i Robotyki

Summary

This article describes a review of the most interesting achievements in a field of the pneumatic manipulators of upper limb. In introduction, there were presented few information about pneumatic muscles. Pneumatic manipulators provide functional movement training of the arm and hand after stroke or other paralysis. The basic purpose of engineers is to provide a low cost of the manipulator, and make it safe and easy in use. Robotic-device is expecetd to assist the patient and therapist to achieve more systematic therapy at home or in the clinic. On the basis of collected information there were presented some guidelines, which should direct the designing of new appliance, which will support the activity of the therapist.

Literatura

[1] **Versluys R., Naudet J. IPPAM:** *Intelligent Prosthesis actuated by pleated Pneumatic Artificial Muscles*; Vanderborght 9th International Conference on Climbing and Walking Robots, Belgium 2006.

[2] **Dindorf R.***Modelowanie sztucznych układów mięśniowych z aktuatorami pneumatycznymi*, , Bio-Algorithms and Med-Systems Journal Vol. 1, No. 1/2, 2005, pp. 147-156.

[3] **RUPERT**: *a Device for Robotic Upper Extremity Repetitive Therapy*.

[4] **Sugar T., He J.** *Design and control of RUPERT: a device for Robotic Upper Extremity Repetitive Therapy*; IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 15, No. 3, September 2007.

[5] www.kineticmuscles.com

[6] **Holt R., Makower S.** *User involvement in developing Rehabilitation Robotic devices: an essential requirement*; IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, The Netherlands 2007.

[7] **Sanchez R., Wolbrecht Jr.** *A Pneumatic Robot for Re-Training Arm Movement after Stroke: Rationale and Mechanical Design*; IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, USA 2005.

Berlińska poczta pneumatyczna

Po raz pierwszy w Polsce w ramach „Wystawy jednego eksponatu" sprowadzona została z Muzeum Komunikacji w Berlinie prawdziwa Poczta Pneumatyczna.

Funkcjonowała aż do 1976 roku (przez 111 lat!) i bez wątpienia należała do najbardziej niezwykłych podziemnych sieci w stolicy Niemiec. Łączna długość jej tras wynosiła blisko 400 km. Sami berlińczycy nazywali ją „małym U-Bahnem".

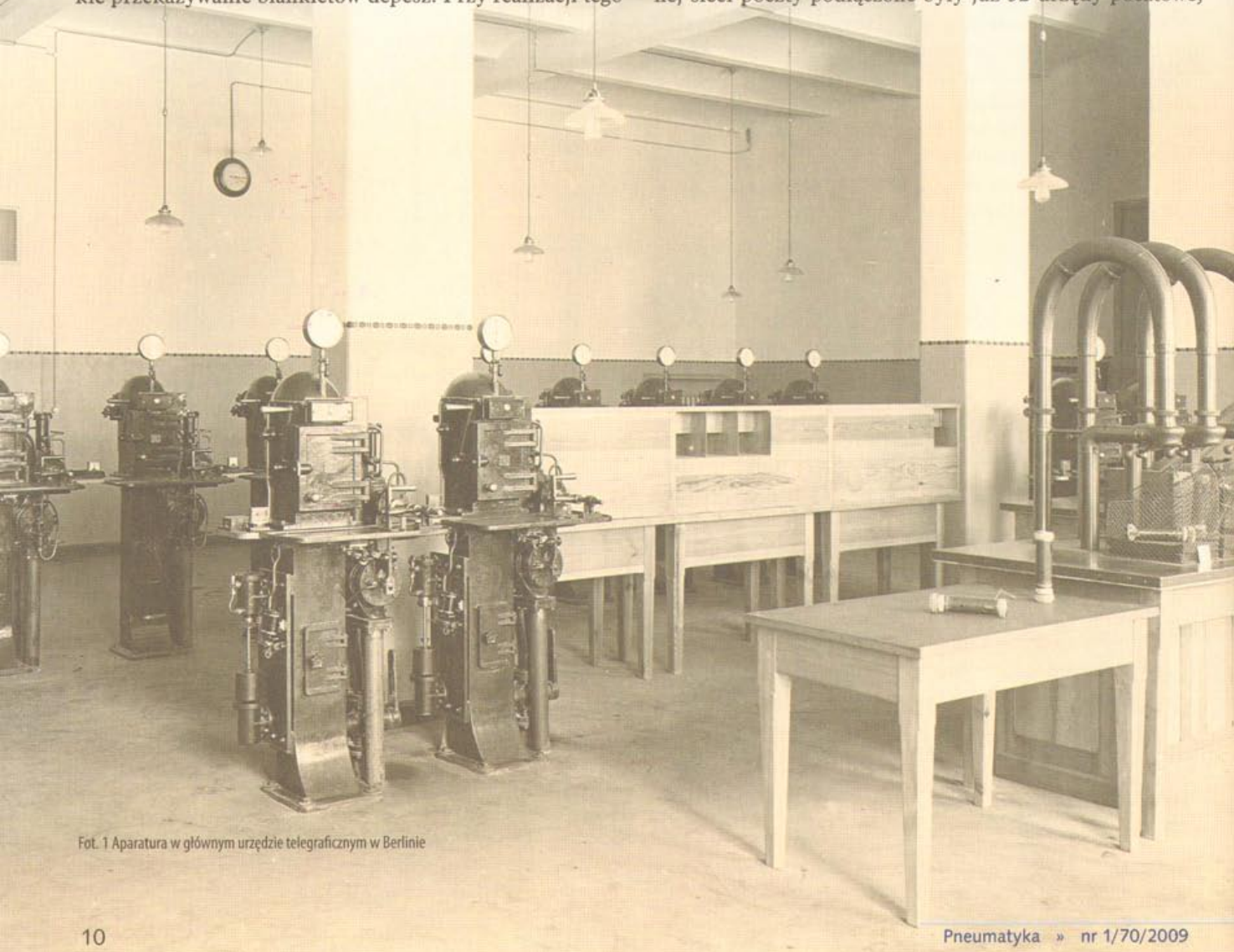
Tylko przez dwa tygodnie, od 1 do 15 marca 2009 roku, w ramach „Wystawy Jednego Eksponatu", we wrocławskim Muzeum Poczty i Telekomunikacji można było obejrzeć obiekty sprowadzone specjalnie z Museum für Kommunikation w Berlinie.

Poczta pneumatyczna, bo o niej właśnie mowa, to specjalna metoda transportu korespondencji, małych paczek lub innych przedmiotów zamkniętych w pojemnikach umieszczonych wewnątrz przewodu rurowego.

Intensywny rozwój łączności telegraficznej zmusił służbę pocztową do stworzenia między urzędami pocztowymi dużych miast sprawnych połączeń, gwarantujących szybkie przekazywanie blankietów depesz. Przy realizacji tego zadania poczta pneumatyczna okazała się niezastąpiona; w rezultacie w dużych miastach (Paryżu, Londynie, Berlinie) powstały wielokilometrowe podziemne sieci poczt miejskich. Nie rezygnowano z niej nawet wtedy, gdy pojawiły się samochody pocztowe, gdyż, pomijając ruch uliczny, mogła nadal szybko i bezkolizyjnie dostarczać przesyłki do urzędów.

Metoda ta, w Polsce praktycznie nieznana, znajdowała zastosowanie w najrozmaitszych instytucjach, hotelach, bankach, domach magazynowych, redakcjach dzienników, bibliotekach, aptekach i szpitalach. Do systemu berlińskiej poczty pneumatycznej dostęp miały między innymi luksusowy hotel Aldon (którego goście błyskawicznie otrzymywali i wysyłali depesze) oraz dom towarowy Wertheim.

Dowodem na to, jak dynamiczny był rozwój miejskich poczt pneumatycznych, jest fakt, że w samym Berlinie 20 lat po uruchomieniu pierwszego połączenia do rozbudowanej sieci poczty podłączone były już 52 urzędy pocztowe,



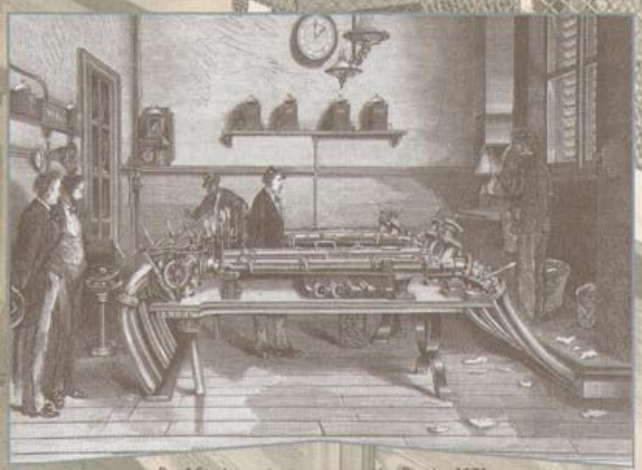
Fot. 1 Aparatura w głównym urzędzie telegraficznym w Berlinie

a dzienna liczba przesyłek między nimi wynosiła 10 tysięcy listów i depesz.

Prezentowana po raz pierwszy we Wrocławiu oryginalna tuba poczty pneumatycznej z lat 20. XX wieku stanowiła część berlińskiej sieci pocztowej, zainstalowanej w niemieckiej stolicy w 1865 roku przez firmę Siemens & Halske. Na wystawie pokazano także fotografie przedstawiające wnętrza stacji nadawczych poczty pneumatycznej oraz oryginalny list nadany 18 sierpnia 1891 roku w urzędzie pocztowym nr 6 w Berlinie. ■

Ewa Pluta

Dział naukowo-oświatowy
Muzeum PiT



Rys.1 Stacja poczty atmosferycznej w Paryżu, 1873

Fot. 2 Urządzenia poczty odbiorczej w głównym urzędzie telegraficznym w Berlinie.

Sprężarki odśrodkowe serii ZH Atlas Copco

Parametry najwyższej jakości sprężarek procesowych w kompaktowej obudowie.

Chłodzone wodą, bezolejowe sprężarki odśrodkowe serii ZH Atlas Copco dostarczane są jako kompletne, gotowe do pracy jednostki wyposażone we wszystkie niezbędne do prawidłowej eksploatacji elementy, połączenia elektryczne oraz rurowe i armaturę, jak również w system sterowania i kontroli, umożliwiający właściwą, tj. bezpieczną i ekonomiczną eksploatację. Kompletne wyposażenie sprężarki jest zmontowane na pojedynczej ramie głównej.

Dzięki zastosowaniu elektrycznych napędów sterowania łopatkami na wlocie do sprężarki oraz zaworu wydmuchowego, a także uszczelnieniom niewymagającym powietrza uszczelniającego, sprężarki nie wymagają powietrza instrumentalnego, będąc w ten sposób niezależne od zewnętrznych źródeł zasilania.

Sprężarki typu ZH są zbudowane według koncepcji „Plug&Run". Aby rozpocząć eksploatację sprężarki, wystarczy posadowić ją na poziomej powierzchni zdolnej do przeniesienia obciążenia statycznego wynikającego z jej ciężaru (nie wymaga fundamentów ani kotwienia), podłączyć do zasilania elektrycznego, obwodu wody chłodzącej oraz sieci sprężonego powietrza.

Sprężarki produkowane są jako dwustopniowe: o ciśnieniach znamionowych od 3,5 bara (g) do 4,6 bara (g) oraz trzystopniowe: o ciśnieniach znamionowych od 7 barów (g) do 10,4 bara (g) i zakresie wydajności od 4400 m^3/h do 26500 m^3/h.

Poniższa tabela przedstawia typoszereg sprężarek ZH. Są one identyczne w zakresie konstrukcji i wyposażenia, różnią się natomiast wielkością ramy i poszczególnych elementów głównego wyposażenia.

Podstawowe elementy standardowego zakresu dostawy

Rama główna

Wszystkie elementy sprężarki – przekładnia główna, silnik elektryczny, chłodnice, skrzynia elektryczna i pozostałe – osadzone są na jednej wspólnej ramie (rys. 1). Zespół silnika posadowiony jest na gumowych poduszkach tłumiących wibracje. Sztywna, samonośna podstawa wyposażona jest w otwory do transportu wózkiem widłowym – dla łatwego rozładunku i posadowienia w miejscu instalacji.

Tor powietrza

- suche filtry wlotowe powietrza w obudowie z tłumikiem powietrza zasysanego
- łopatki kierujące na wlocie (IGV)
- stopnie sprężające w skrzyni przekładniowej dzielonej poziomo
- stopnie I i II na wspólnym wałku
- połączenia rurowe typu Victualic z zaciskaną tuleją między poszczególnymi stopniami, niezbędne w związku z rozszerzalnością termiczną poszczególnych elementów
- chłodnica międzystopniowa o płaszczu tworzącym integralną całość ze skrzynią przekładniową – każda wyposażona w separator kondensatu z automatycznym spustem
- wkłady demontowane (bez konieczności demontażu całych chłodnic)
- chłodnica końcowa

Obieg oleju

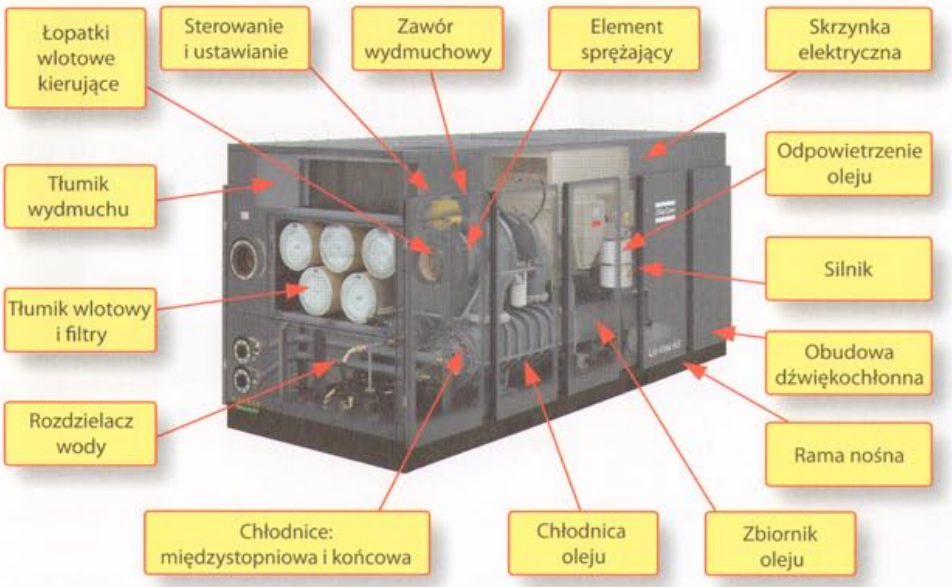
Zbiornik oleju, stanowiący integralną część ramy silnika, wyposażony jest w:

- system podgrzewania oleju
- system zapobiegania przedostawaniu się oparów oleju ze zbiornika oleju do obudowy
- otwory inspekcyjne – dla umożliwienia kontroli i czyszczenia zbiornika
- kontrolę poziomu oleju w zbiorniku
- główną pompę oleju napędzaną z wału silnika głównego
- zabezpieczenie przed obrotami w odwrotnym kierunku, co może zdarzyć się w sytuacji awarii zaworu zwrotnego
- dodatkową pompę oleju na czas startu, zatrzymania oraz zatrzymania awaryjnego
- pojedynczy filtr oleju (lub podwójny – opcjonalnie)
- chłodnicę oleju
- zawór termostatyczny, regulujący temperaturę oleju wpływającego do skrzyni przekładniowej

Obieg wody

Jednostka wyposażona jest w wewnętrzne rozgałęzienia wody chłodzącej, co pozwala na zastosowanie

	Wydajność (m^3/h)	Moc silnika głównego (kW)	Waga (kg)	Wymiary (mm)		
				dług.	szer.	wys.
Trzystopniowe chłodzone wodą						
ZH 7000	4400 do 7200	400 do 800	8000	4060	2120	2400
ZH 10000	6800 do 11000	630 do 1120	12000	5250	2120	2400
ZH 15000	10700 do 17000	1000 do 1850	18000	5800	2370	2630
ZH 26000	17000 do 26500	1600 do 2750	30000	7300	3120	3500
Dwustopniowe chłodzone wodą						
ZH 7000	4400 do 7200	315 do 500	6500	4060	2120	2400
ZH 10000	6800 do 11000	450 do 800	10500	5250	2120	2400
ZH 15000	10700 do 17000	700 do 1250	15000	5800	2370	2630
ZH 26000	17000 do 26500	1250 do 2000	30000	7300	3120	3500



Rys. 1 Rozmieszczenie elementów sprężarki na ramie głównej

Rys. 2 Chłodnice międzystopniowe oraz końcowa – wykonane ze stali nierdzewnej z wodą chłodzącą w prostych rurkach, umożliwiających ich łatwe czyszczenie w miejscu instalacji

jednego przyłącza wody z zewnątrz po stronie wlotu i wylotu. Przyłącza wyposażone są w gumowe kompensatory oraz kołnierze. Woda chłodząca przepływa równolegle przez obie chłodnice międzystopniowe, chłodnicę końcową i chłodnicę oleju.

Skrzynia przekładniowa

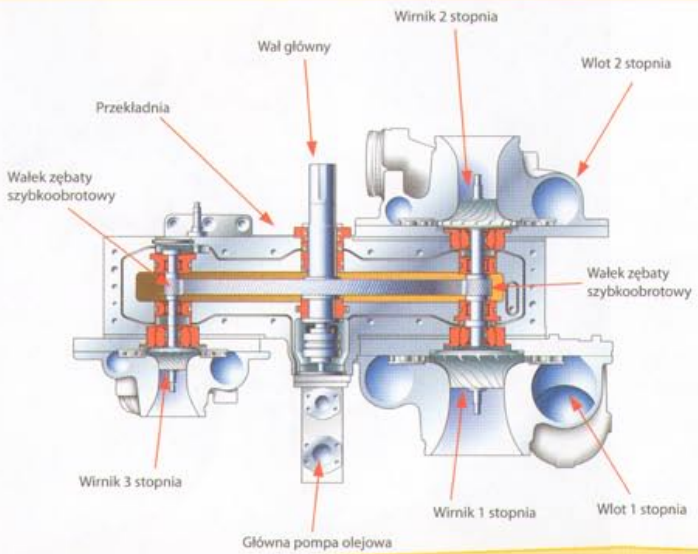
- podzielone poziomo: skrzynia przekładniowa i uszczelnienia
- jedno koło główne i dwa wałki wysokoobrotowe z kołami o zębach skośnych
- dzielone poziomo łożyska o płytkach wahliwych
- łożyska oporowe dla kompensacji sił poosiowych
- labiryntowe uszczelnienia wału z dzielonymi poprzecznie pierścieniami aluminiowymi

Napęd

Sprężarka napędzana jest przez dwubiegunowy, asynchroniczny silnik elektryczny produkcji firmy Siemens o wysokiej sprawności, o stopniu ochrony IP23 (lub opcjonalnie IP55), mocowany do ramy głównej połączonym z przekładnią główną bezobsługowym sprzęgłem. Sprężarka zbudowana jest zgodnie z wymaganiami CE. Kontrola pracy odbywa się za pośrednictwem sterownika programowalnego Elektronikon®.

System sterowania i kontroli

Standardowy system sterowania i kontroli, stosowany w sprężarkach serii ZH Atlas Copco, zbudowany jest w oparciu o sterownik programowalny Elektronikon®. Pozwala on na sterowanie sprężarki zarówno w systemie „Auto-Dual", jak i „Constant pressure control". Zamiany można dokonać w prosty sposób, poprzez zmianę ustawień w sterowniku. Sterownik realizuje funkcje sterowania



Poziomo rozbieralne łożyska ułatwiają ich inspekcję; może się ona odbywać w miejscu instalacji

Klasa dokładności wykonania kół zębatych wału głównego oraz wałków zębatych szybkoobrotowych AGMA 13 jest najwyższa w tego rodzaju urządzeniach

Rys. 3 Poziomo dzielona przekładnia główna z łatwym dostępem podczas przeglądów i konserwacji (na powyższym rysunku przekładnia 3-stopniowa)

i monitorowania wszystkich istotnych parametrów pracy sprężarki. Ustawianie parametrów oraz wywoływanie poszczególnych danych odbywa się za pośrednictwem panelu sterującego z przełącznikami membranowymi.

Kierownica wlotowa (łopatki kierujące)

Umieszczona bezpośrednio przed wlotem do 1. stopnia jest standardowym wyposażeniem sprężarek typu ZH. Dzięki jej zastosowaniu można zaoszczędzić około 9% energii (rys. 5).

Regulacja wydajności w systemie auto-dual lub „stałe ciśnienie"

Regulacja w systemie auto-dual

Ciśnienie robocze sprężarki ustawiane jest na żądanym poziomie i – dzięki modulacji realizowanej za pośrednictwem łopatek na dolocie – utrzymywane jest w zakresie regulacji B – C (rys. 6).

Przy wymaganym w niektórych zastosowaniach stałym ciśnieniu w całym zakresie wydajności sprężarka może pracować w trybie „Constant Pressure Control". Zmiana trybu pracy wymaga jedynie zmiany ustawień na sterowniku indywidualnym sprężarki.

Regulacja w systemie „stałe ciśnienie"

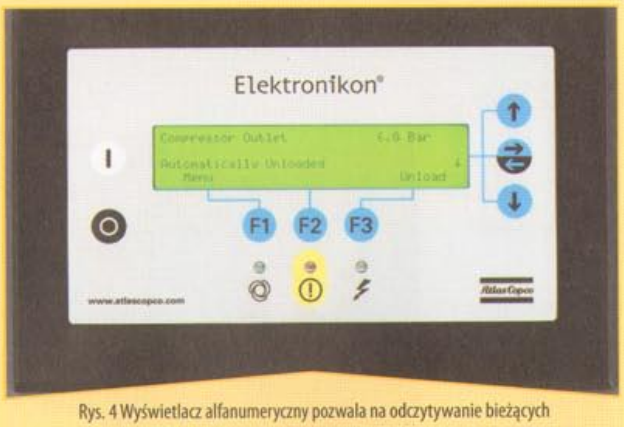
Zawór wydmuchu modulacyjnego oraz tłumik niezbędny do kontroli stałej wartości ciśnienia są dostępne w wyposażeniu standardowym. Ten tryb sterowania wykorzystuje wlotowe łopatki kierujące i sterownik Elektronikon® (rys. 7).

Kontrola pompażu i zabezpieczenie przed pompażem

Kontrola pompażu

Kontrola pompażu możliwa jest dzięki opatentowanej przez Atlas Copco metodzie ciągłego pomiaru „$dp_{przepływ}$/$dp_{stopnia}$" (pomiar – delta przepływu i delta ciśnienia na 2 stopniu sprężania).

Umożliwia ona dokładne umiejscowienie aktualnej „odległości" punktu pracy maszyny od jej granicznej linii pompażu (na jej charakterystyce, jako zależność między ciśnieniem i przepływem). Regulator pompażu przejmuje kontrolę nad układem regulacji maszyny, gdy ona znajdzie się w pobliżu bądź przekroczy bezpieczną, graniczną linię pompażu. Graniczna linia pompażu jest empirycznie ustawiana dla każdej maszyny w chwili jej pierwszego uruchamiania w danej instalacji.



Rys. 4 Wyświetlacz alfanumeryczny pozwala na odczytywanie bieżących parametrów pracy takich jak temperatury, ciśnienia, stan pracy jednostki itd.

Po wyprowadzeniu maszyny z obszaru zagrożonego pompażem kontrolę przejmuje znowu regulator ciśnienia.

Układ ten umożliwia zmniejszanie „marginesu bezpieczeństwa" do minimum przy zachowaniu pełnej kontroli nad pompażem.

Zabezpieczenie przed wystąpieniem pompażu

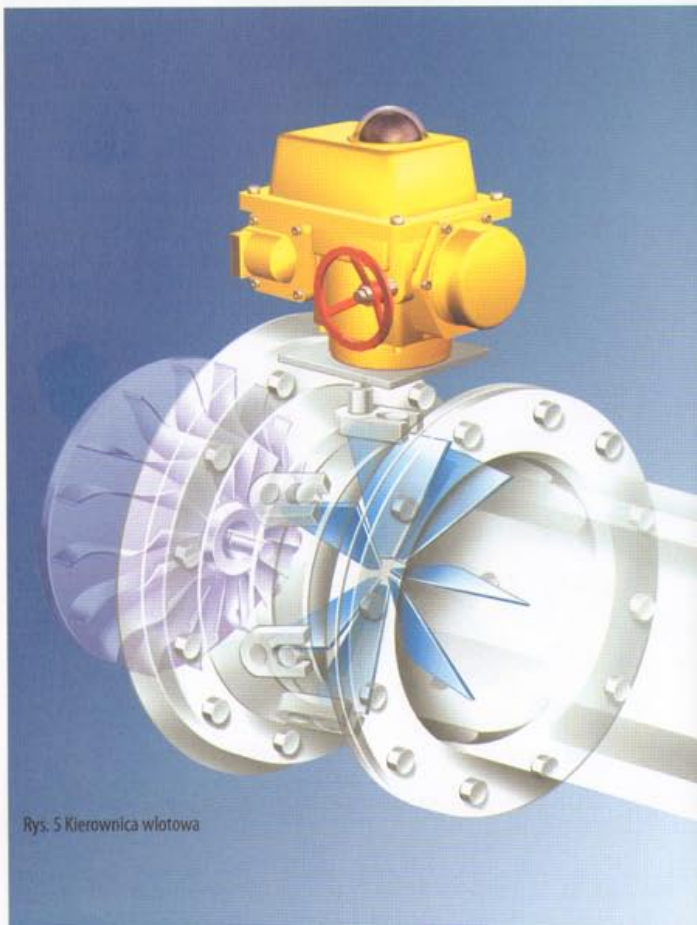
W przypadku, gdy opisana w poprzednim punkcie kontrola pompażu nie jest w stanie zabezpieczyć sprężarki przed wystąpieniem zjawiska pompażu (z powodu np. nagłego odcięcia poboru powietrza w pobliżu sprężarki).

Układ wykrywania pompażu działa na zasadzie monitorowania zmian ciśnienia wylotowego w ostatnim stopniu sprężania.

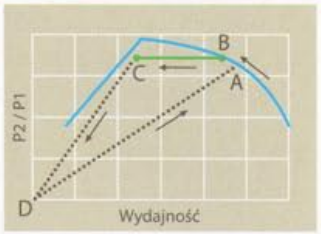
Pompaż charakteryzuje się gwałtownym spadkiem wartości ciśnienia wylotowego, a następnie gwałtownym wzrostem wartości ciśnienia. Typowa różnica czasu między impulsami wynosi od ¼ sekundy do 5 sekund.

Wartości spadku i wzrostu ciśnienia charakterystyczne dla pompażu są sprawdzone, korygowane w sterowniku podczas pierwszego uruchomienia.

Porównując te wartości z aktualnie mierzonymi wartościami tępa skoków ciśnienia sterownik rozpoznaje warunki umożliwiające powstawanie pompażu. W takiej sytuacji sterownik odciąża sprężarkę, gdy pompaż zostanie wykryty, a jeżeli w określo-

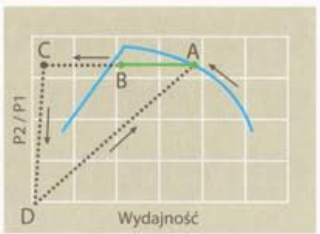

Rys. 5 Kierownica wlotowa

W chwili, gdy punkt pracy maszyny osiąga punkt C (maksymalna redukcja wydajności) łopatki sterujące zatrzymują się i ciśnienie w sieci wzrasta do poziomu odciążenia, co skutkuje przejściem w stan odciążenia.
Sprężarka pozostaje w stanie odciążenia do momentu, w którym ciśnienie spadnie poniżej poziomu dociążenia (A). Tu następuje pełne dociążenie jednostki i cykl opisany powyżej jest powtarzany.
Jeżeli ciśnienie w sieci nie spadnie poniżej poziomu odpowiadającego pkt. A sprężarka zatrzyma się i pozostanie w oczekiwaniu do chwili jego spadku poniżej nastawionej wartości.



Rys. 6 Regulacja wydajności w systemie auto-dual

Wartość ciśnienia wylotowego jest ustawiana na żądanym poziomie, a wlotowe łopatki kierujące sterują ilością powietrza wlotowego w celu utrzymania stałej wartości ciśnienia z przedziału (A→B).
Po osiągnięciu punktu skoku (B) położenie wlotowych łopatek kierujących pozostaje stałe, a zawór wydmuchowy zaczyna otwierać się modulacyjnie i usuwa nadmiar powietrza.
W ten sposób zostanie utrzymana stała wartość ciśnienia w pełnym zakresie roboczym sprężarki (A – C). Układ sterowania sprężarki ZH pozwala na ustawienie zaworu wydmuchowego (BOV) w położeniu maksymalnym. Pozwala to użytkownikowi na minimalizację nieefektywnego czasu pracy w okresach niskiego poboru sprężonego powietrza poprzez ograniczenie działania funkcji wydmuchu do wartości z przedziału (B→C).



Rys. 7 Regulacja wydajności w systemie „stałe ciśnienie"

nym przedziale czasowym nastąpi kilka pompażów, to samoczynnie wyłącza sprężarkę.

Kontrola natężenia prądu silnika

System kontroli natężenia prądu silnika dostępny jest dla obu trybów sterowania: „Auto-Dual" i trybu opartego na stałej wartości ciśnienia. System ma na celu oszczędność energii przy pracy w zmiennych warunkach otoczenia, zabezpieczenie silnika przed przeciążeniem i wykorzystanie pełnej wydajności sprężarki przy niskich temperaturach.

Temperatura powietrza chłodzącego silnik jest stale monitorowana przez sterownik sprężarki. W oparciu o ten parametr obliczana jest maksymalna dopuszczalna wartość natężenia prądu silnika. Gdy aktualna wartość natężenia prądu silnika osiągnie wartość obliczoną, sterownik będzie modulacyjnie zmieniał ustawienie wlotowych łopatek prowadzących, aby uniknąć przekroczenia tej wartości. Dzięki tej funkcji silnik będzie pracował w najbardziej efektywny sposób niezależnie od warunków otoczenia. Jest ona szczególnie użyteczna przy często zmieniającej się temperaturze otoczenia, umożliwia również uniknięcie stosowania silników o zbyt dużej mocy.

Wyposażenie elektryczne

Standardowy moduł sterowania wykonany jest zgodnie ze standardami IEC i wyposażony w następujące podstawowe elementy wraz z osprzętem łączeniowym i zabezpieczeniami:

- pomocnicza pompa oleju
- podgrzewacz zbiornika oleju
- transformator do zasilania obwodów pomocniczych o mocy 1 kVA
- wentylator silnika odsysacza par oleju
- siłownik elektryczny sterujący łopatkami na wlocie (IGV)
- siłownik elektryczny zaworu wydmuchowego (BOV)
- starter gwiazda – trójkąt (w przypadku zastosowania głównego silnika niskonapięciowego)

System kontroli natężenia prądu silnika

- silniki średnionapięciowe: użytkownik, podając sygnał 4-20 mA (dokładność +/- 2%) ze startera silnika, uzyskuje aktualną wartość natężenia prądu silnika
- silniki niskonapięciowe: urządzenie pomiarowe 4-20 mA jest umieszczone w szafce sterowniczej sprężarki

Obudowa dźwiękochłonna

Dzięki zastosowaniu obudowy dźwiękochłonnej, osiągnięto ograniczenie poziomu hałasu do 68-74 dB (A) – w zależności od wariantu (wielkości) sprężarki. Bez obudowy poziom hałasu jest o 11 dB (A) wyższy.

Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony internetowej *http://www.atlascopco.pl* oraz do bezpośredniego kontaktu. Postaramy się odpowiedzieć na wszystkie Państwa pytania. ■

Artykuł promocyjny Atlas Copco

Osoba kontaktowa:

Janusz Ochojski

Produkt Manager Centrifugal Compressors

janusz.ochojski@pl.atlascopco.com
tel. 0 510 025 528

Ryszard Dindorf

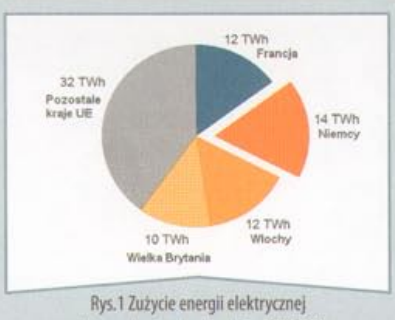
Oszczędność energii w systemach sprężonego powietrza

Zmniejszenie globalnego zapotrzebowania energetycznego, efektywne wykorzystanie zasobów energii oraz wprowadzenie energooszczędnej gospodarki było powodem przyjęcia protokołu z Kyoto (1997 r.), który przewiduje ograniczenie do 2010 roku emisji CO_2 o 6%.

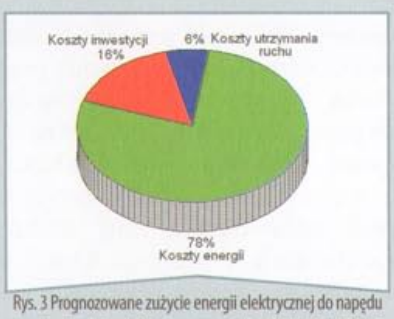
Wprowadzenie

Również głównym priorytetem Unii Europejskiej, przyjętym na szczycie Rady Europejskiej w dniach 8-9 marca 2007 r., jest plan działań integrujący politykę klimatyczną i energetyczną. Działania te mają na celu ograniczenie wzrostu średniej globalnej temperatury o więcej niż 2° C, czyli do poziomu sprzed okresu uprzemysłowienia. W efekcie tego planu powinno dojść do ograniczenia zużycia energii o 20% do 2020 r. Polska zajmuje czołowe miejsce w Europie pod względem emisji dwutlenku węgla do atmosfery, która wynika z produkcji energii elektrycznej i cieplnej niemal wyłącznie z węgla kamiennego i brunatnego, nieefektywnego systemu energetycznego, marnotrawstwa energii oraz struktury przemysłowej z dużym udziałem energochłonnych gałęzi przemysłu. Udział wytwarzania energii elektrycznej z węgla kamiennego w Polsce do 2020 r. ma się zmniejszyć o 41%. W ciągu ostatnich 20 lat zanieczyszczenie atmosfery w Polsce osiągnęło poziom stawiający nasz kraj w rzędzie najbardziej zanieczyszczonych rejonów Europy. Ponieważ zanieczyszczenia powstają w czasie procesów produkcyjnych, głównie przez spalanie węgla kamiennego i brunatnego, dlatego największym źródłem zanieczyszczeń jest gospodarka paliwowo-energetyczna (50%), elektroenergetyczna i ciepłownicza (46%) oraz przemysł metalurgiczny (9%) [3].

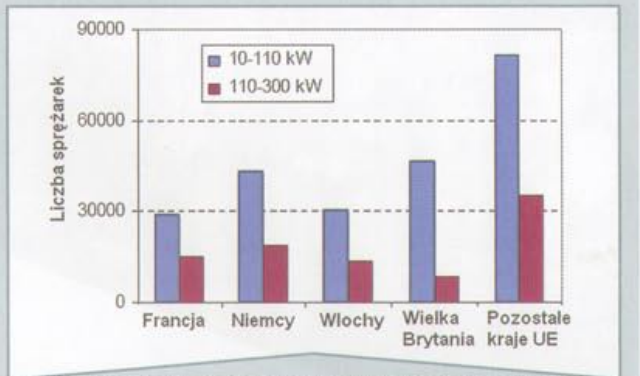
W Siódmym Programie Ramowym UE, dotyczącym priorytetu „Współpraca", znajduje się priorytet tematyczny „Energia", w którym przyjęto do realizacji zadanie pn. „Wydajność energetyczna i oszczędność energii" [6]. Szacuje się, że energooszczędne układy napędowe mogą przynieść Europie oszczędności zużycia energii elektrycznej o 200 mld kWh i zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 100 milionów ton rocznie. W ramach Programu Unii Europejskiej „Systemy sprężonego powietrza w Unii Europejskiej" (*Compressed Air Systems in the European Union*) planowane są działania prowadzące do zwiększenia zużycia sprężonego powietrza przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia energii elektrycznej [5]. W Unii Europejskiej do napędu sprężarek zużywa się od 7 do 10% wytwarzanej energii elektrycznej. Zużycie energii elektrycznej w 2001 r. do napędu sprężarek w wybranych, wysoko uprzemysłowionych krajach UE, przedstawiono na rys.1. Ze schematu rys. 1 wynika, że w całej Unii Europejskiej



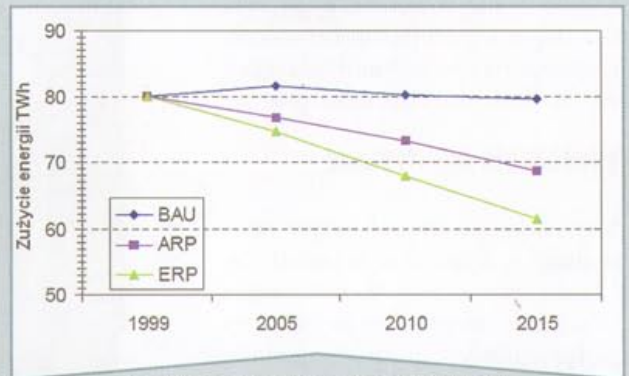
Rys.1 Zużycie energii elektrycznej do napędu sprężarek w krajach UE, [9]



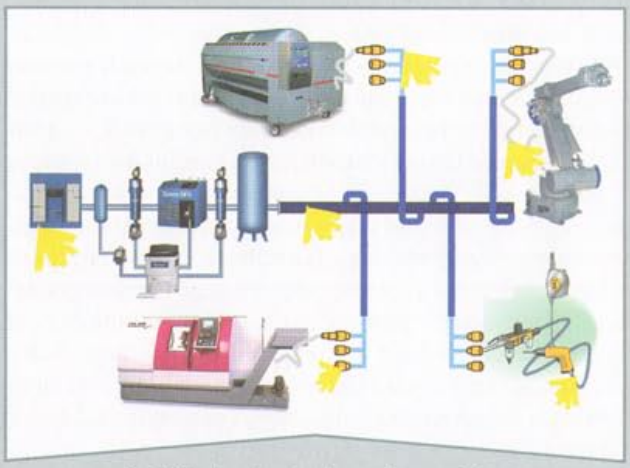
Rys. 3 Prognozowane zużycie energii elektrycznej do napędu sprężarek w krajach UE, prognozy według BAU, ARP i ERP, [9]



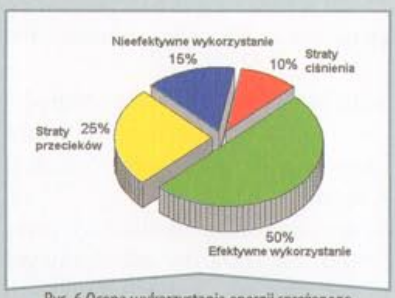
Rys. 2 Liczba sprężarek o dwóch zakresach mocy, zainstalowanych w krajach UE, [9]



Rys. 4 Koszty eksploatacji sprężarek (według Testo Co Ltd.)



Rys. 5 Poglądowy schemat systemu sprężonego powietrza z zaznaczonymi punktami możliwych przecieków



Rys. 6 Ocena wykorzystania energii sprężonego powietrza w warunkach przemysłowych, [7]

koszty energii zużytej do napędu sprężarek wynoszą około 80 TWh. W samych tylko Niemczech do tego celu zużywa się około 14 TWh – czyli prawie tyle energii, ile zużywa kolej niemiecka w ciągu jednego roku [8]. Natomiast na rys. 2 przedstawiono ilość sprężarek o mocy 10-110 kW i 110-300 kW, zainstalowanych w różnych krajach UE. Prognozy dotyczące zmniejszenia zużycie energii elektrycznej do napędu sprężarek, opracowane według BAU (*Business As Usual*), ARP (*Awareness Raising Programme*) i ERP (*Economic and Regulatory Programme*), przedstawiono na rys. 3. Jak wynika z rys. 4, udział kosztów energii elektrycznej w ogólnych kosztach eksploatacji sprężarek wynosi około 70%. Do oszacowania zużycia energii elektrycznej przez sprężarki stosuje się wzory zlecane przez normy międzynarodowe [9]. W energooszczędnych systemach sprężonego powietrza rożnymi metodami dąży się do zmniejszenia strat energetycznych i minimalizacji zużycia energii. Wprowadzanie energooszczędnych systemów sprężonego powietrza wiąże się także ze zmniejszeniem zużycia energii do napędu sprężarek oraz do sterowania systemów sprężonego powietrza. W wielu firmach wdraża się komputerowo wspomagane analizy wykorzystania sprężonego powietrza, która umożliwiają obliczenie zapotrzebowania na energię w stacjach sprężarek.

Program oszczędności energii sprężonego powietrza

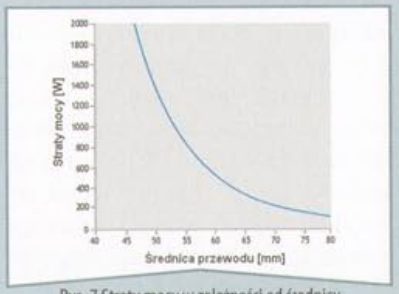
W Unii Europejskiej realizowane są różne programy prowadzące do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej, np. program „The European Motor Challenge Programme" dotyczy wspierania zakładów przemysłowych w zwiększaniu efektywności zużycia energii elektrycznej w różnych systemach napędowych (mechanicznych, hydraulicznych, pneumatycznych) [4]. W programie tym znalazł się moduł systemów sprężonego powietrza CAS (Compressed Air Systems Module), który dotyczy efektywnego wykorzystania sprężonego powietrza przez racjonalizację wytwarzania i wykorzystania sprężonego powietrza. Producenci i konstruktorzy systemów pneumatycznych podejmują szereg działań, których celem jest zmniejszenie zużycia energii elektrycznej (przez poprawę sprawności sprężarek) oraz zmniejszenie zużycia energii sprężonego powietrza (przez ograniczenie strat ciśnienia i przecieków w instalacjach pneumatycznych). Efektywne wykorzystanie sprężonego powietrza wymaga kompleksowej analizy systemu sprężonego powietrza – od jego wytwarzania, dystrybucji, aż do wykorzystania. Poglądowy schemat systemu sprężonego powietrza z potencjalnymi punktami strat przecieków przedstawiono na rys. 5. Analiza efektywnego wykorzystania energii sprężonego po-

Tablica 1
Środki oszczędności energii przy wytwarzaniu i przygotowaniu sprężonego powietrza

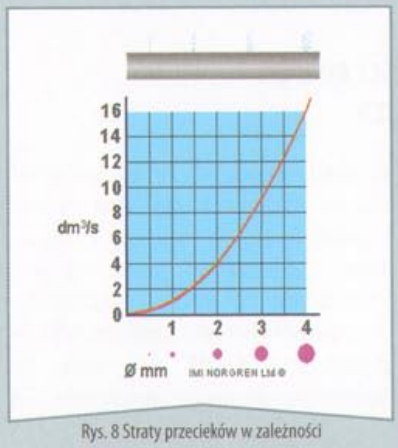
1	Zoptymalizowanie regulacji sprężarki lub układu sprężarek, zastosowanie napędu zmienno-prędkościowego.
2	Rozproszenie zasilania sieci pneumatycznej, zastosowanie sieci typu oczkowego.
3	Zoptymalizowanie ciśnienia powietrza w układach regulacji sprężarek.
4	Obniżenie temperatury powietrza wlotowego przez zmianę lokalizacji wlotu powietrza.
5	Filtrowanie i osuszanie powietrze do minimalnego poziomu wymaganego w systemie.
6	Zoptymalizowanie procesu wymiany filtrów.
7	Odzyskiwanie i wykorzystywanie ciepła z chłodzenia powietrza.
8	Wymiana sprężarki na bardziej energooszczędną.

Tablica 2
Środki oszczędności energii w sieciach sprężonego powietrza

1	Zredukowanie wycieku powietrza poprzez zastosowanie szczelnych złączek i wysokiej jakości szybkozłącz.
2	Podzielenie układu na strefy z regulacją ciśnienia, zastosowanie zaworów odcinających.
3	Zastosowanie metod odwadniających do usuwania kondensatu, niepowodujących strat powietrza.
4	Zainstalowanie pomocniczych, uzupełniających zbiorników blisko odbiorników o zmiennym zapotrzebowaniu powietrza.
5	Ograniczenie strat ciśnienia przez zastosowanie instalacji w formie pierścienia oraz zmiana średnic przewodów instalacji pneumatycznej.



Rys. 7 Straty mocy w zależności od średnicy przewodu rurociągu instalacji pneumatycznej, [8]



Rys. 8 Straty przecieków w zależności od średnicy otworu nieszczelności (Norgren)

wietrza powinna uwzględniać następujące zadania:

- Przeprowadzenie inwentaryzacji posiadanych układów sprężonego powietrza.
- Analiza efektywności wytwarzania i wykorzystania sprężonego powietrza.
- Ocena możliwości zastosowania środków służących oszczędności energii.
- Przyjęcie planu redukcji kosztów poprzez poprawę efektywności energetycznej.
- Przygotowanie raportu z postępu w realizacji planu działania.

Kompleksową kontrolę sieci (instalacji) pneumatycznych umożliwia audyt sprężonego powietrza, który może pokazać skalę strat energii oraz przedstawić plan optymalizacji wykorzystania sprężonego powietrza w zakładowych systemach.

Ponieważ wiele firm nie ma wewnętrznych służb zajmujących się rozpoznawaniem i rozwiązywaniem takich problemów, dlatego profesjonalny audyt zewnętrzny może pomóc w diagnozowaniu całego procesu wytwarzania sprężonego powietrza – od sprężarek, poprzez sieć instalacji, aż do odbiorników. Audyt sprężonego powietrza umożliwi użytkownikowi przyjęcie rozwiązania efektywnego ekonomicznie, które przyniesie szybki zwrot kosztów inwestycji.

Największe oszczędności energii w systemach pneumatycznych można osiągnąć przez optymalne wykorzystanie źródła energii sprężonego powietrza (sprężarek), ograniczenie strat ciśnienia i zmniejszenie przecieków sprężonego powietrza w instalacji pneumatycznej. Oszczędności energii zależą także od efektywnego wykorzystania systemów sprężonego powietrza. Na schemacie rys. 6 przedstawiono szacunkową ocenę efektywnego wykorzystania energii sprężonego powietrza do celów produkcyjnych, a także nieefektywnego wykorzystania sprężonego powietrza, oraz określono udział strat ciśnienia i przecieków. Ocenia się różne środki i możliwości oszczędności energii w systemach sprężonego powietrza [1]:

1. Zmniejszenie zużycie energii elektrycznej do napędu sprężarek oraz poprawa sprawności sprężarek (16% oszczędności energii).
2. Ograniczenie strat energii w instalacjach pneumatycznych przez ograniczenie wycieków sprężonego powietrza i strat ciśnienia (18% oszczędności energii).
3. Usprawnienie konstrukcji i sterowania napędów pneumatycznych, poprawa efektywności sterowania pneumatycznego, nowe, energooszczędne metody sterowania (2% oszczędności energii).
4. Zmniejszenie kosztów wytwarzania elementów pneumatycznych: zmniejszenie wymiarów gabarytowych, masy i kosztów materiałowych, zminimalizowanie zapotrzebowania energetycznego, zmniejszenie wydajności i czasu zadziałania (trudno oszacować skalę oszczędności energii).

Zgodnie z programem modułu MCP-CAS, który ma na celu oszczędności energii elektrycznej do napędu sprężarek i ograniczenie strat energii w systemach sprężonego powietrza, zalecane są odpowiednie środki oszczędności energii, zamieszczone w tablicach [5]:

- Środki oszczędności energii przy wytwarzaniu sprężonego powietrza (Tablica 1).

Tablica 3
Środki oszczędności energii w zespołach przygotowania powietrza

1	Zastosowanie odpowiednich zespołów przygotowania, dostosowanych do instalacji.
2	Naprawa lub wymiana nieszczelnych elementów lub urządzeń przygotowania powietrza.
3	Odłączenie dopływu powietrza w przypadku, gdy dane urządzenie nie pracuje.
4	Zweryfikowanie i zoptymalizowanie zespołów przygotowania powietrza, np. przez zastosowanie specjalnych regulatorów ciśnienia.

Tablica 4
Środki oszczędności energii w układach sterowania napędów pneumatycznych

1	Zróżnicowanie ciśnienia w obwodach sterowania układów pneumatycznych.
2	Zastosowanie energooszczędnych metod sterowania z optymalizacją ciśnienia roboczego.
3	Zastosowanie do sterowania układów pneumatycznych zaworów szybkoprzełączających oraz zaworów piezoelektrycznych.
4	Zastosowanie do sterowania zaworów pneumatycznych metody modulacji impulsowej PWM (Pulse Width Modulation).
5	Miniaturyzacja elementów pneumatycznych, zastosowanie elementów zminiaturyzowanych i mikroelementów.

- Środki oszczędności energii w sieciach sprężonego powietrza (Tablica 2).
- Środki oszczędności energii w zespołach przygotowania powietrza (Tablica 3).
- Środki oszczędności energii w układach sterowania napędów pneumatycznych (Tablica 4).

Straty energii w instalacji pneumatycznej

Przepływowi strumienia sprężonego powietrza w instalacji pneumatycznej towarzyszą straty energii związane ze stratami ciśnienia. Straty te muszą być skompensowane przez dodatkowe zużycie energii elektrycznej do napędu sprężarek, aby utrzymać odpowiednie ciśnienie zasilania. Zbyt duże ciśnienie sprężonego powietrza powoduje nadmierne oraz nieuzasadnione akumulowanie energii sprężonego powietrza, tym bardziej że wartość ciśnienia zasilania jest składnikiem obliczania zapotrzebowania powietrza. Na rys. 7 przedstawiono wykres strat mocy w zależności od średnicy wewnętrznej rurociągu instalacji pneumatycznej, który został określony dla natężania przepływu 50 m³/h przy ciśnieniu manometrycznym 7 barów (700 kPa) na długości 100 m rury stalowej. Do obliczania strat ciśnienia lub średnicy przewodu instalacji pneumatycznej korzysta się z następującej zależności:

$$\Delta p = \frac{1{,}6 \cdot 10^8 \cdot q_v^{1{,}85} \cdot L}{d^5 \cdot p_{abs}}$$

gdzie:

Δp – straty ciśnienia (bar),
q_v – strumień objętości powietrza (m³/s),
L – długość przewodu (m),
d – średnica wewnętrzna przewodu instalacji (mm),
p_{abs} – ciśnienie absolutne zasilania (początkowe, bar).

W instalacji pneumatycznej występują także straty energii spowodowane niepożądanym przeciekiem sprężonego powietrza. W instalacjach pneumatycznych zakładów produkcyjnych prawdopodobny jest wyciek dochodzący nawet do 20% wytworzonego sprężonego powietrza. Ponieważ przecieki są nieuniknione, dlatego dopuszcza się występowanie przecieków w zależności od wielkości sieci sprężonego powietrza, np. w małych sieciach (warsztaty, laboratoria) dopuszczalny jest 5-proc. przeciek, a w dużych sieciach (odlewnie, huty, elektrownie) dopuszcza się nawet 15-proc. przeciek. Wpływ średnicy otworu nieszczelności na przeciek (przepływ objętościowy) przedstawiono na rys. 8. Do oszacowania strat mocy, wynikających z niepożądanego przecieku sprężonego powietrza, można zastosować wzór:

$$P_{sp} = q_{vp} \cdot k_e$$

gdzie:

P_{sp} – straty mocy spowodowane przeciekiem (W),
q_{vp} – przeciek (przepływ objętościowy) przez otwór nieszczelności przy określonym ciśnieniu zasilania (dcm³/s),
k_e – współczynnik zużytej mocy na jednostkę strumienia objętości sprężonego powietrza przy określonym ciśnieniu zasilania (W·s/dcm³).

Uwzględniając zużycie energii elektrycznej do napędu sprężarek w krajach UE (patrz schemat rys. 1), po uwzględnieniu 10-20% straty przecieków w instalacjach pneumatycznych, oznacza to straty energii elektrycznej rzędu 8-16 TWh, związane z przeciekami. Przedstawione obliczenia oznaczają duże potencjalne możliwości oszczędności energii w systemach sprężonego powietrza. Jeżeli obliczenia

Streszczenie

W systemach sprężonego powietrza konieczne jest kompleksowe podejście do racjonalizacji zużycia energii przez efektywne wytwarzane, dystrybucję i wykorzystanie sprężonego powietrza. Audyt sprężonego powietrza ukazuje skalę strat energii w przemysłowych systemach sprężonego powietrza. W oparciu o wytyczne zawarte w The European Motor Challende Programme (MCP)-Compressed Air Systems Module (CAS) przedstawiono potencjalne możliwości oszczędności przy produkcji i uzdatnianiu sprężonego powietrza, w sieciach sprężonego powietrza, w urządzeniach wykonawczych oraz w konstrukcjach, eksploatacji i sterowaniu systemów pneumatycznych.

Summary

Energy Savings in Compressed Air sysTems

The compressed air systems require the complex approach towards rational energy consumption by effective production, distribution and application of the compressed air. The audit of the compressed air shows the scale of energy loses in industrial compressed air systems. Basing upon guidelines included in the European Motor Challenge Programme (MCP) – Compressed Air Systems Module (CAS) the paper discusses potential energy savings opportunities in production and treatment of compressed air, compressed air networks, end use devices (actuators), overall system design, operation and control pneumatic systems.

przeprowadzone zostaną dla sprężarki o mocy 110 kW pracującej przez 6000 h, to przy zużyciu energii 660 MWh straty przecieków wynoszą 66-132 MWh. Nieszczelności w przemysłowych systemach sprężonego powietrza mogą być spowodowane różnymi czynnikami, np. niedokładnością wykonania i montażu, starzeniem, korozją, uszkodzeniem elementów instalacji pneumatycznych. Najczęstszymi miejscami wycieków sprężonego powietrza są: połączenia instalacji (złączki, przewody), filtry, regulatory ciśnienia, zawory bezpieczeństwa, zawory odcinające, zawory/spusty kondensatu, zbiorniki, a także czynności związane z łączeniem i rozłączaniem przewodów pneumatycznych. Duże przecieki są bardzo łatwe do zlokalizowania i usunięcia, natomiast małe lub bardzo małe przecieki bywają trudne do wykrycia i zlokalizowania – nawet przez czułe przyrządy akustyczne, których obsługa wymaga dużej wiedzy i doświadczenia badawczego [2], [3].

Podsumowanie

Z dotychczasowej praktyki wynika, że celowe są opracowania systemowe, polegające na kompleksowym podejściu do oszczędności energii podczas wytwarzania (sprężarki, stacje uzdatniania i przygotowania powietrza), dystrybucji (instalacje, rurociągi) i wykorzystania (napędy, narzędzia, urządzenia) sprężonego powietrza. Zgodnie z postanowieniem Komisji Europejskiej o ograniczeniu emisji CO_2, wdrożono europejski program MCP *Motor Challenge Programme*, którego celem w module systemów sprężonego powietrza CAS *Compressed Air Systems Module* jest efektywne wykorzystanie sprężonego powietrza *Compressed Air Efficiency* przez zmniejszenie zużycia energii i racjonalizację wykorzystania energii w systemach sprężonego powietrza. Uczestnicy programu MCP w małych i średnich zakładach przemysłowych powinni dążyć do oszczędności i racjonalizacji zużycia różnych nośników energii. Poprzez audyt energetyczny można wykazać sposoby zmniejszenia zużycia różnych nośników energii. Uczestnicy programu MCP-CAS w ramach działań „Efektywne Systemy Sprężonego Powietrza" powinni przeprowadzić audyt sprężonego powietrza do oceny potencjału oszczędności energii w zakładowych systemach sprężonego powietrza. Pomimo programu MCP-CAS, w wielu krajach europejskich nie udało się opracować kompleksowych rozwiązań do racjonalizacji zużycia i efektywnego wykorzystania energii sprężonego powietrza. Przy projektowaniu energooszczędnych systemów sprężonego powietrza konieczne jest prowadzenie odpowiednich badań przez wyspecjalizowane jednostki naukowo-badawcze, ponieważ pojedynczy projektant nie ma świadomości lub czasu do każdorazowego przeliczenia możliwości oszczędności w danym systemie sprężonego powietrza. W energooszczędnych systemach sprężonego powietrza dąży się do zmniejszenia strat energetycznych i minimalizacji zużycia energii. Wprowadzanie energooszczędnych systemów sprężonego powietrza wiąże się także ze zmniejszeniem zużycia energii potrzebnej do sterowania napędów pneumatycznych i zasilania urządzeń pneumatycznych. ■

dr hab. inż. Ryszard Dindorf

profesor nadzwyczajny

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
e-mail: dindorf@agh.edu.pl

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach
e-mail: dindorf@tu.kielce.pl

Literatura

[1] **Dindorf R.**: *Energooszczędne sterowanie układami pneumatycznymi*. Pneumatyka, nr 2, 2007.

[2] **Dindorf R.**: *Próba szczelności elementów pneumatycznych*. Pneumatyka, nr 4, 2007.

[3] **Dindorf R.**: *System sprężonego powietrza w elektrofiltrach i instalacji usuwania suchego popiołu*. Napędy i Sterowanie, nr 1, 2008. Portal internetowy WNP – Wirtualny Nowy Przemysł.

[4] **Dindorf R., Łaski P., Takosoglu J.**: *Pomiar przecieków powietrza w instalacji pneumatycznej przy wykorzystaniu dysz wzorcowych*. Pneumatyka, nr 2, 2008.

[5] **De Keulenaer H. a. al.**: *The European Motor Challende Programme*. European Copper Institute (ECI), Brussels, Belgium.

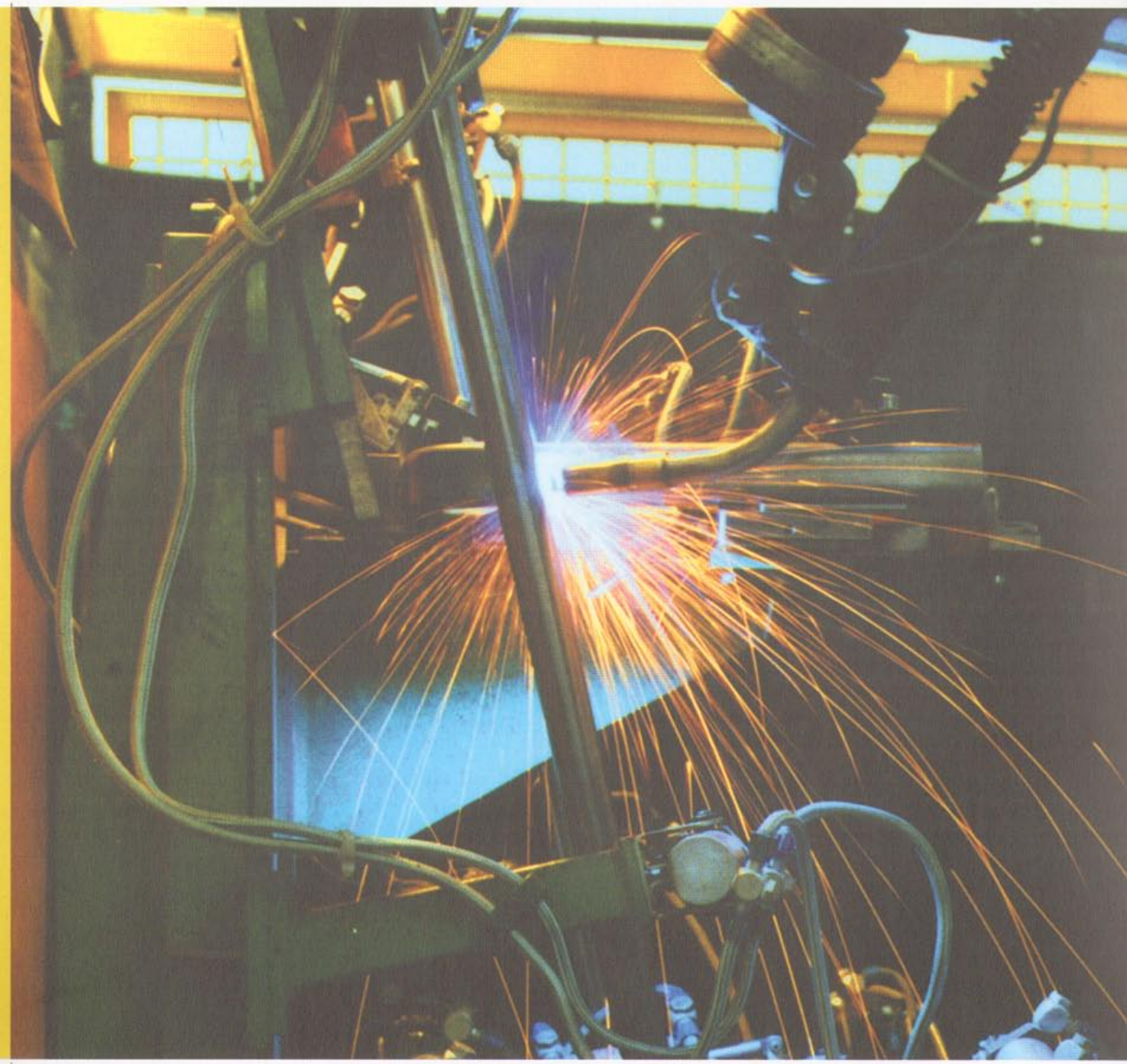
[6] **De Keulenaer H. a. al.**: *Energy Efficient Motor Driven Systems*. European Copper Institute (ECI), Brussels 2004, Belgium.

[7] **De Keulenaer H. a. al.**: *Compressed Air Systems Module*. The European Motor Challende Programme. European Commission, Directorate-General Energy and Transport. Brussels, 2003, Belgium.

[8] *Energy efficient compressed air systems*. GPG385. Carbon Trust GmbH. Stuttgart 2002.

[9] **Radgen P., Blaustein E.**: *Compressed Air Systems in the European Union*. LOG_X Verlag GmbH, Stuttgart 2001.

AIR LIQUIDE™



Air Liquide - Twój niezawodny dostawca

Rozmowa ze Zbigniewem Czarnotą, prezesem firmy REWA Sp. z o.o.

Ostatnio w „Pneumatyce" ukazał się artykuł, w którym omawiane było badanie klap dymnych. Pańska firma produkuje te klapy. Proszę zatem przybliżyć swoją firmę naszym czytelnikom.

Nasza firma mieści się w Woli Rafałowskiej niedaleko Rzeszowa. Powstała w wyniku połączenia kilku mniejszych zakładów w 1995 roku, przejmując ich zasoby produkcyjne i doświadczenia. Celem nowo powstałego przedsiębiorstwa była produkcja urządzeń oddymiających przeznaczonych na rynek Unii Europejskiej, a w szczególności na rynek francuski. Równocześnie rozpoczęliśmy działalność na rynku krajowym, wówczas dopiero wkraczającym w zagadnienia oddymiania obiektów. Dzisiaj firma REWA jest prężnie rozwijającym się, średniej wielkości przedsiębiorstwem, posiadającym nowoczesny park maszynowy oraz wykwalifikowaną kadrę, jak również cały szereg opatentowanych rozwiązań, dających naszym klientom najwyższej klasy produkt.

Klapy oddymiające montujecie Państwo w supermarketach, np. Carrefour we Wrocławiu. Jaką rolę pełnią te urządzenia w dużych pomieszczeniach?

Nie tylko w supermarketach, ale w różnego rodzaju obiektach użyteczności publicznej, halach produkcyjnych czy magazynowych. Rolę, jaką pełnią klapy oddymiające w dużych pomieszczeniach, można podzielić na dwie części. W normalnych warunkach użytkowania służą do ich doświetlania i przewietrzania. Jednak główne atuty klap uwidaczniają się w przypadku zagrożenia pożarowego. Poprzez odprowadzanie dymu, ciepła i substancji toksycznych przyczyniają się do ułatwienia ewakuacji i prowadzenia akcji ratowniczej, dzięki odciążeniu termicznemu zapewniają również ochronę konstrukcji budynku. Wszystkich zalet zamontowania klap oddymiających nie sposób wymienić. Na pewno przyczyniają się one do zwiększenia bezpieczeństwa osób przebywających w budynkach wyposażonych w takie klapy i mogą się przyczynić do zmniejszenia szkód powstałych w wyniku pożaru. Jako przykłady naszych największych realizacji mogę podać Centrum Handlowe Arkadia, halę produkcyjną Procter&Gamble oraz Centrum Handlowe Fort Wola w Warszawie, Miller Die Lila w Gliwicach, King Cross Marcelin czy Galerię Stary Młyn w Kwidzyniu.

Istotnym elementem w tych klapach jest siłownik pneumatyczny specjalnej konstrukcji, będący oryginalnym rozwiązaniem firmy REWA. Na czym polega istota tego rozwiązania?

Zadaniem siłownika jest otwieranie i zamykanie klap w celu wentylacji pomieszczeń oraz szybkie wysunięcie tłoczyska w przypadku zagrożenia pożarowego, a także utrzymanie go w tej pozycji pomimo znacznego wzrostu temperatury. Odpowiedni dobór materiałów i rozwiązania techniczne sprawiają, że siłownik naszej produkcji jest w stanie przez kilkadziesiąt minut wytrzymać znaczny wzrost temperatury i ciśnienia. Zwolnienie blokady wysuniętego tłoczyska następuje tylko po podaniu medium lub po zwolnieniu ręcznym poprzez obrót pierścienia blokady.

Ale nie jest to jedyny element pneumatyczny produkowany w Pańskiej firmie. Proszę również powiedzieć coś o innych elementach pneumatycznych.

Jeżeli klapa sterowana jest pneumatycznie, to każdy element tego układu jest w większym lub w mniejszym stopniu z pneumatyką powiązany. W zależności od rodzaju sterowania są to skrzynki i szafy sterownicze, naboje dwutlenku węgla, moduły pneumatyczne, zatrzaski do klapy dymowej, termobezpieczniki i przebijaki naboju dwutlenku węgla. Szafy i skrzynki to zaawansowane centra sterownicze, w których umieszczone są moduły, przebijaki i naboje dwutlenku węgla.

Za ich pomocą możliwe jest sterowanie całym układem, przy czym skrzynki wykorzystywane są do pojedynczych lub grupy klap, a za pomocą szaf można sterować klapami w całym obiekcie. Moduł elektryczny lub pneumatyczny służy do uruchomienia przebijaka naboju dwutlenku węgla, którego zadaniem jest wyzwolenie sprężonego gazu z naboju.

Zatrzask posiada wmontowany mikrosiłownik, którego zadaniem jest odblokowywanie klapy. Termobezpiecznik pełni rolę zaworu, który otwiera się w określonej temperaturze i umożliwia przepływ medium.

Z jakimi ośrodkami naukowymi Pańska firma współpracuje? Jakie konkretne rezultaty przynosi ta współpraca?

Od kilku lat współpracujemy z Zakładem Mechaniki Płynów i Aerodynamiki Politechniki Rzeszowskiej. Korzystając z wiedzy i doświadczenia pracowników Zakładu oraz jego unikalnego wyposażenia, przeprowadziliśmy serię badań klap oddymiających w tunelu aerodynamicznym. Planujemy również w przyszłości przyjmować studentów Politechniki na praktyki i staże w naszym przedsiębiorstwie.

Jak przebiegała ekspansja firmy na europejski rynek?

Od samego początku działalności REWY związani byliśmy z rynkiem francuskim. W późniejszym czasie nawiązaliśmy współpracę z niemieckimi firmami, umacniając swoją pozycję na rynku europejskim. Współpraca ta zaowocowała opracowaniem kilku rozwiązań technicznych. Kolejnym naszym osiągnięciem było nawiązanie współpracy z rumuńską firmą Firex, dzięki czemu zaistnieliśmy na tamtejszym rynku. Niemałym sukcesem było też uzyskanie certyfikatów i licencji w Moskiewskim Instytucie „Pożtest", dzięki czemu otrzymaliśmy dostęp do rynku rosyjskiego. Od 2004 roku działamy również na rynku ukraińskim, gdzie zrealizowaliśmy już kilkaset projektów.

Czy korzysta Pan z dotacji Unii Europejskiej i jak firma się rozwija? Czy widzi Pan w niej miejsce dla młodych inżynierów?

REWA rozwija się dynamicznie, między innymi dzięki dotacjom z UE, które zwiększają zasób funduszy na inwestycje. Dzięki nim rozbudowujemy nasz park maszynowy, jak również samą firmę, a także prowadzimy badania nad nowymi rozwiązaniami. W tym roku planujemy zwiększyć przestrzeń produkcyjną i magazynową naszego przedsiębiorstwa. W związku z narastającymi potrzebami rynku, w ostatnim czasie w naszej firmie znalazło zatrudnienie kilku młodych inżynierów. Poza tym, jak już wspomniałem wcześniej, zamierzamy dać możliwość przyszłym inżynierom odbycia praktyk i staży w naszej firmie, co pozwoli im poznać najnowszą technologię oraz procesy zachodzące w przedsiębiorstwie o ugruntowanej na rynku europejskim pozycji.

Dziękujemy za rozmowę. ■

Rozmawiała M. Wiewiórowska

Siłowniki pneumo-mechaniczne firmy CKD

Czy używając jedynie sprężonego powietrza o ciśnieniu 6 barów do zasilania siłownika o średnicy 120 mm można wygenerować siłę docisku równą 55 kN?

Wydaje się to nierealne. Jednak japońska firma CKD Corporation niemożliwe czyni możliwym, nie naruszając jednocześnie praw fizyki! CKD Corporation zaprezentowała niedawno swoje najmłodsze dziecko: siłownik pneumo-mechaniczny serii MCP.

Siłowniki pneumo-mechaniczne serii MCP wyróżniają się znacznym zwielokrotnieniem siły docisku, zachowując jednocześnie zalety napędu pneumatycznego (takie jak niska cena, duża szybkość działania) oraz wykorzystują „czyste medium", co ma kolosalne znaczenie w przypadku drobnych nieszczelności. Siłowniki pneumo-mechaniczne serii MCP oferują siłę docisku porównywalną z napędami hydraulicznymi (23 kN dla modelu o średnicy 80 mm oraz 55 kN dla modelu o średnicy 120 mm, przy ciśnieniu sprężonego powietrza równym 6 barów).

Siłowniki serii MCP produkowane są w dwóch wariantach:

- **wariant I** – cykl pracy jest podzielony na dwa etapy: szybki dobieg (skok 10-500 mm) oraz silny docisk (skok 10 mm);
- **wariant II** – tylko etap silnego docisku.

Ze względu na dużą wytrzymałość oraz szybkość działania, siłowniki nadają się do zastosowania w produkcji seryjnej różnego rodzaju elementów. Siłowniki MCP to doskonały produkt do realizacji takich procesów, jak: zgniatanie/cięcie materiału (np. profili lub prętów), wtłaczanie montażowe, przebijanie technologiczne, znakowanie oraz wiele innych. Zasadę działania siłownika przedstawia rys. 1. ■

Artykuł promocyjny

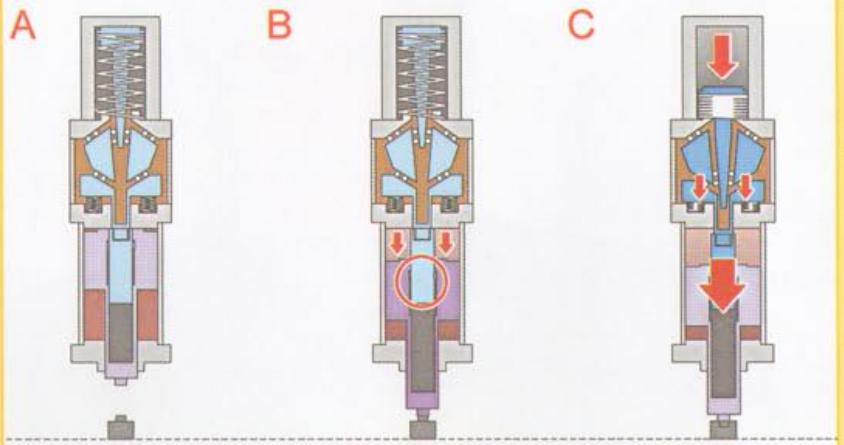
Robert Guniewski,
kierownik Działu Pneumatyki

BIBUS MENOS Sp. z o.o.
www.bibusmenos.pl

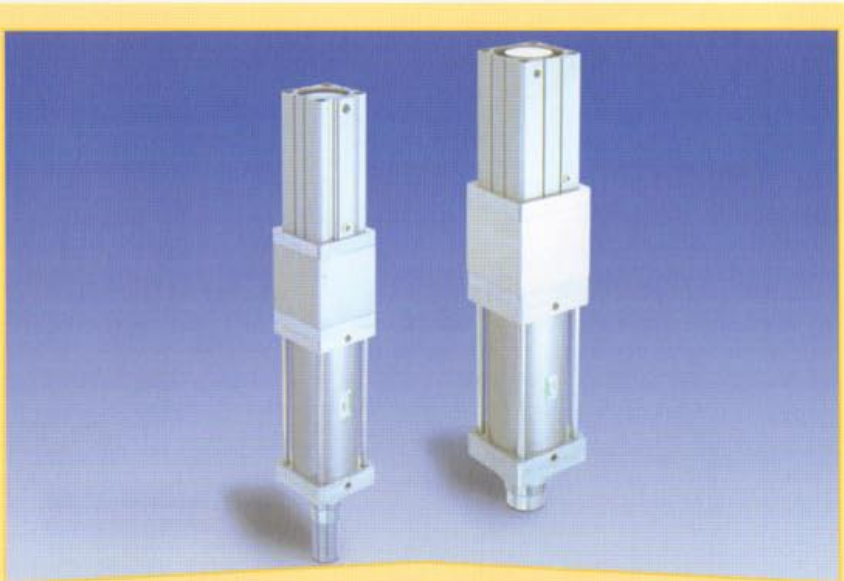
A
Pozycja wyjściowa – tłoczysko cofnięte, tłok podniesiony ciśnieniem powietrza w komorze tłoczyskowej;

B
Ruch szybki – tłoczysko wysunięte, dochodzi do oporu materiału. W czasie wysuwania zespół tłoka przesuwa się względem wewnętrznie współosiowego trzpienia. Przesuw realizowany jest sprężonym powietrzem, działającym na górną powierzchnię czołową tłoka. Przed osiągnięciem krańcowego położenia, po dojściu do oporu, następuje sprzęgnięcie mechaniczne zespołu tłoka z trzpieniem prowadzącym;

C
Ruch roboczy ze wzmocnieniem siły docisku. Za pomocą sprężonego powietrza uruchomiony zostaje siłownik wzmocnienia siły docisku (pojedynczego działania, ze sprężyną). Siłownik ten, przemieszczając się, przesuwa tłoczysko w postaci klina rozporowego. Klin rozporowy, działając poprzez przełożenie dźwigniowe, przemieszcza zespół trzpienia związanego mechanicznie z tłoczyskiem siłownika – następuje silne dociśnięcie o skoku do około 10 mm. Następnie cały układ powraca do pozycji wyjściowej.



Rys. 1 Zasada działania siłownika pneumo-mechanicznego



Rys. 2 Siłowniki pneumo-mechaniczne firmy CKD

Stanisław Kozioł, Krzysztof Matecki, Tomasz Samborski

W artykule omówiono koncepcję, budowę i zasadę działania pneumatycznego manipulatora do badania parametrów technicznych i trwałości ratowniczych narzędzi hydraulicznych.

Pneumatyczny manipulator w urządzeniu do badań hydraulicznych narzędzi ratowniczych

Manipulator zastępuje osobę obsługującą narzędzie, wielokrotnie wykonujące podczas badania cykl pracy. Opisano układ pneumatyczny manipulatora oraz jego współpracę z hydraulicznym układem stanowiska badawczego systemami pomiarowymi oraz systemem sterowania. Przedstawiono urządzenie do wyznaczania charakterystyk siłowych i badania trwałości hydraulicznych narzędzi ratowniczych.

Wprowadzenie

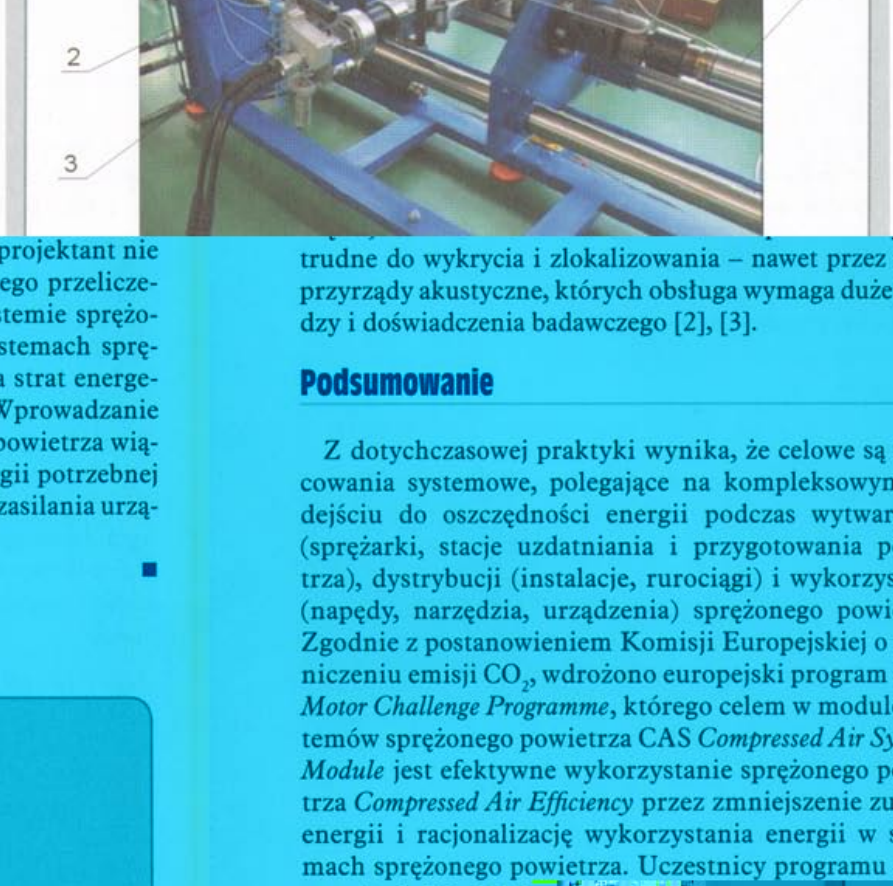
Hydrauliczne narzędzia ratownicze znalazły szerokie zastosowanie w działaniach służb interwencyjnych prowadzących akcje ratownictwa technicznego w czasie pożarów, klęsk żywiołowych, wypadków komunikacyjnych, awarii chemicznych itp. Należą do najczęściej stosowanego i jednocześnie skomplikowanego sprzętu używanego przez służby ratownicze. Skonstruowane w oparciu o najnowszą wiedzę techniczną do konkretnych, szczególnie odpowiedzialnych zastosowań, zbudowane z nowoczesnych elementów oraz wysokiej jakości materiałów konstrukcyjnych, są obiektami technicznymi, od których wymaga się odpowiedniej funkcjonalności, skuteczności i niezawodności. W celu zapewnienia gotowości sprzętu do prowadzenia działań ratowniczych niezbędne jest wykonywanie badań mających na celu ocenę technicznych i eksploatacyjnych cech i parametrów narzędzi. Są to badania kompletnych zastawów ratowniczych łącznie z zasilaczami hydraulicznymi, prowadzone na stanowiskach badawczych symulujących warunki zbliżone do występujących podczas rzeczywistych działań. Jako badania stanowiskowe zapewniają pełną powtarzalność prób, eliminują wpływ czynnika ludzkiego oraz umożliwiają prowadzenie badań w sposób ciągły, co ma szczególne znaczenie przy próbach długotrwałych, np. trwałościowych. Wynikiem takich badań jest określenie eksploatacyjnych parametrów narzędzi oraz ocena ich niezawodności i trwałości.

Do hydraulicznych narzędzi ratowniczych ma zastosowanie norma PN-EN 13204:2005(U) „Hydrauliczne narzędzia ratownicze dwustronnego działania dla straży pożarnej – Wymagania eksploatacyjne i dotyczące bezpieczeństwa", która określa podstawowe wymagania w zakresie bezpieczeństwa i parametrów technicznych narzędzi oraz podaje metody ich weryfikacji. Norma nie przewiduje prób trwałościowych narzędzi ani prób użytkowych. Jak wskazuje praktyka, narzędzia w jednostkach straży pożarnej są intensywnie eksploatowane przez długi okres czasu, co jest spowodowane m.in. wciąż zbyt małą ilością sprzętu w stosunku do potrzeb i ilości zdarzeń. Wielokrotnie, w trakcie okresowych badań kwalifikacyjnych, stwierdzano spadek uzyskiwanych parametrów lub poważne usterki eliminujące przydatność sprzętu, wynikające np. z niewystarczającej wytrzymałości zastosowanych materiałów konstrukcyjnych lub wadliwego systemu uszczelnień.

W skład podstawowego zestawu ratowniczego wchodzą między innymi następujące narzędzia: rozpieracz szczękowy, narzędzie rozpierająco-tnące „combi", cylinder rozpierający oraz nożyce. Funkcje robocze rozpierania, ciągnięcia lub ściskania realizowane są przez przemieszczanie końcówek roboczych przez wysokociśnieniowy siłownik hydrauliczny, zasilany z pompy napędzanej silnikiem spalinowym i sterowany ręcznym zaworem umieszczonym w rękojeści narzędzia. Dla tego rodzaju narzędzi w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie opracowano metodykę badań, których celem jest wszechstronna ocena ich jakości, funkcjonalności oraz niezawodności przed dopuszczeniem do stosowania w państwowych służbach ratowniczych. Do realiza-

Rys. 1 Rozpieracz firmy Lukas

cji zawartych w metodyce badań procedur badawczych w Instytucie Technologii Eksploatacji PIB w Radomiu zaprojektowano i wykonano urządzenie badawcze.



Rys. 2 Widok urządzenia do badania hydraulicznych narzędzi ratowniczych
1 – badany rozpieracz hydrauliczny, 2 – urządzenie do badania narzędzi hydrau
4 – tłoczysko siłownika obciążającego badane

Urządzenie do badania hydraulicznych narzę ratowniczych z manipulatorem pneumatycz

Narzędzia takie jak: rozpieracz hydrauliczny, n „combi", nożyce hydrauliczne czy cylinder rozpie pochodzące od tego samego producenta, niezale ich wielkości czy parametrów pracy – posiadają rodzaj rękojeści sterującej. Natomiast narzędzia mego rodzaju – nawet o bardzo zbliżonych para technicznych, ale pochodzące od różnych produc posiadają inną konstrukcję elementów przezna do sterowania ich pracą (rys. 1 i rys. 2).

W narzędziach firm Holmatro i Lukas przełącz bywa się poprzez obrót pierścienia (różnią się wy i kształtem) w lewo lub w prawo. Sterowanie narz firmy Weber-Hydraulik realizowane jest przez w przycisków znajdujących się po przeciwnych stro kojeści. W zależności od tego, który przycisk jest w

który jest w stanie obsłużyć różne typy narzędzi, przy czym dla narzędzi firm Lukas i Holmatro zastosowanie go do sterowania ich pracą wiąże się z demontażem zewnętrznych, obrotowych elementów przełączających.

Urządzenie do badania hydraulicznych narzędzi ratowniczych, wyposażone w manipulator pneumatyczny, zostało przedstawione na rys. 2. Badany rozpieracz hydrauliczny (1) jest zamocowany końcówkami szczęk w hydraulicznym układzie obciążającym (4) urządzenia badawczego (2). Manipulator pneumatyczny (3) jest zaciśnięty na rękojeści badanego narzędzia i powoduje przesterowanie zaworu, wywołując ruch ściskający lub rozpierający.

Urządzenie przeznaczone jest do wy-

ma świadomości lub czasu do każ
nia możliwości oszczędności w da
nego powietrza. W energooszczęd
żonego powietrza dąży się do zmn
tycznych i minimalizacji zużycia e
energooszczędnych systemów sprę
że się także ze zmniejszeniem zuży
do sterowania napędów pneumaty
dzeń pneumatycznych.

dr hab. inż. Ryszard Dindorf
profesor nadzwyczajny
Akademia Górniczo-Hutnicza w Kr
e-mail: dindorf@agh.edu.pl
Politechnika Świętokrzyska w Kiel

ynczy projektant nie
lorazowego przelicze-
nym systemie sprężo-
nych systemach spręż-
ejszenia strat energe-
nergii. Wprowadzanie
onego powietrza wią-
cia energii potrzebnej
znych i zasilania urzą-

■

kowie
ach

manipulatorem pneumatycznym:
znych, 3 – manipulator pneumatyczny,
rzędzie

dzi
ym
rzędzie
ający –
nie od
en sam
ego sa-
netrach
ntów –
zonych
nie od-
niarami
dziami
iskanie
ach re-

trudne do wykrycia i zlokalizowania – nawet przez czułe przyrządy akustyczne, których obsługa wymaga dużej wiedzy i doświadczenia badawczego [2], [3].

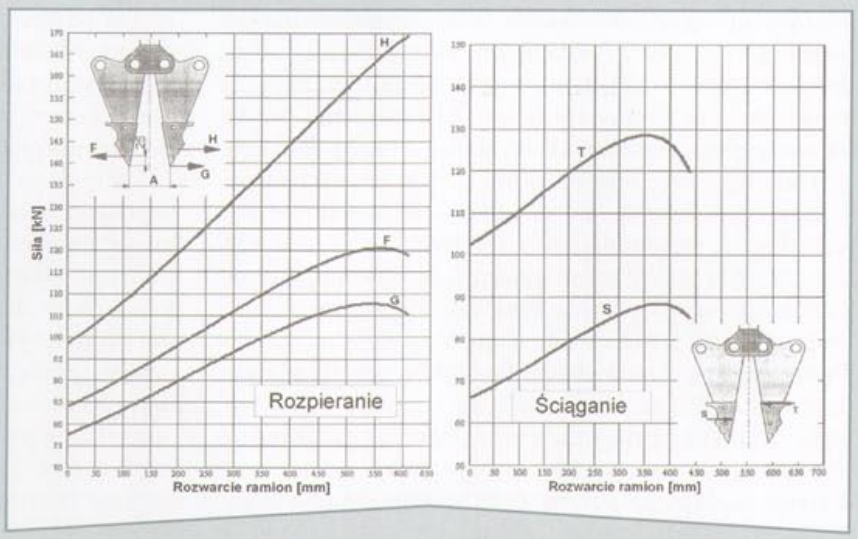
Podsumowanie

Z dotychczasowej praktyki wynika, że celowe są opracowania systemowe, polegające na kompleksowym podejściu do oszczędności energii podczas wytwarzania (sprężarki, stacje uzdatniania i przygotowania powietrza), dystrybucji (instalacje, rurociągi) i wykorzystania (napędy, narzędzia, urządzenia) sprężonego powietrza. Zgodnie z postanowieniem Komisji Europejskiej o ograniczeniu emisji CO_2, wdrożono europejski program MCP *Motor Challenge Programme*, którego celem w module systemów sprężonego powietrza CAS *Compressed Air Systems Module* jest efektywne wykorzystanie sprężonego powietrza *Compressed Air Efficiency* przez zmniejszenie zużycia energii i racjonalizację wykorzystania energii w systemach sprężonego powietrza. Uczestnicy programu MCP

znaczania charakterystyk siłowych oraz badań trwałościowych narzędzi hydraulicznych. Na rys. 4 przedstawiono przykładową charakterystykę rozpieracza obrazującą przebieg siły rozpierania/ściągania w funkcji rozwarcia ramion. Próba trwałościowa to wykonanie 160 cykli pracy rozpierania i ściągania przy wywołanym przez urządzenie w sposób ciągły i powtarzalny oporze biernym równym 80% obciążenia maksymalnego badanego narzędzia. Próby te pozwalają, w krótkim czasie, z dużym prawdopodobieństwem wnioskować o trwałości i wytrzymałości badanych narzędzi.

W przedstawionym urządzeniu badawczym układ hydrauliczny wykorzystujący elementy techniki proporcjonalnej spełnia rolę obciążenia czynnego lub biernego badanego narzędzia. Badane narzędzie hydrauliczne z własnym systemem zasilania jest połączone końcówkami elementów roboczych z czujnikiem siły i końcem tłoczyska siłownika hydraulicznego. Ruch roboczy narzędzia powoduje przemieszczanie tłoczyska siłownika. Wartość przemieszczenia jest mierzona przez czujnik przesunięcia. Hydrauliczny system zasilania, poprzez odpowiednie sterowanie ciśnieniem i przepływem oleju w przewodach si-

kli pracy, co powoduje nagrzewanie się powierzchni uchwytu do temperatury ok. 60° C. Również ze względów bezpieczeństwa i higieny pracy badanie to nie powinno być wykonywane ręcznie. Ponadto, manipulator pozwala na pomiar siły potrzebnej do przełączania zaworu narzędzia, a tym samym umożliwia określenie, w którym momencie następuje „zacieranie się" suwaka zaworu, co jest sygnalizowane potrzebą użycia większej siły do jego przesunięcia.



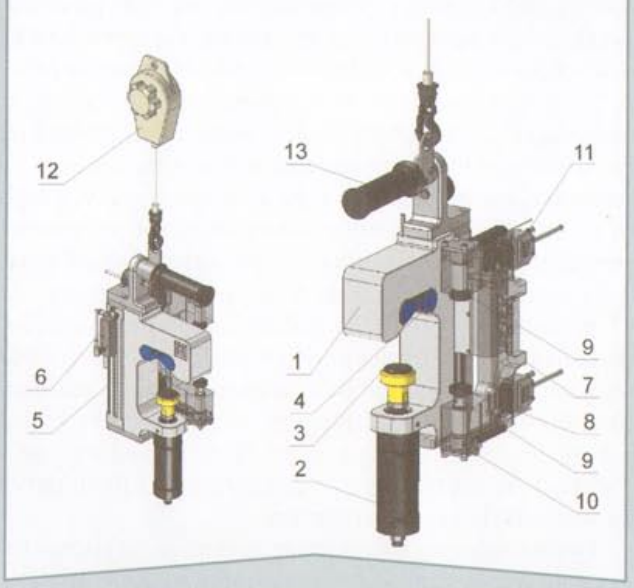
Rys. 4 Przykładowa charakterystyka siłowa rozpieracza klasy CS[4]

Konstrukcja pneumatycznego manipulatora do badania narzędzi ratowniczych

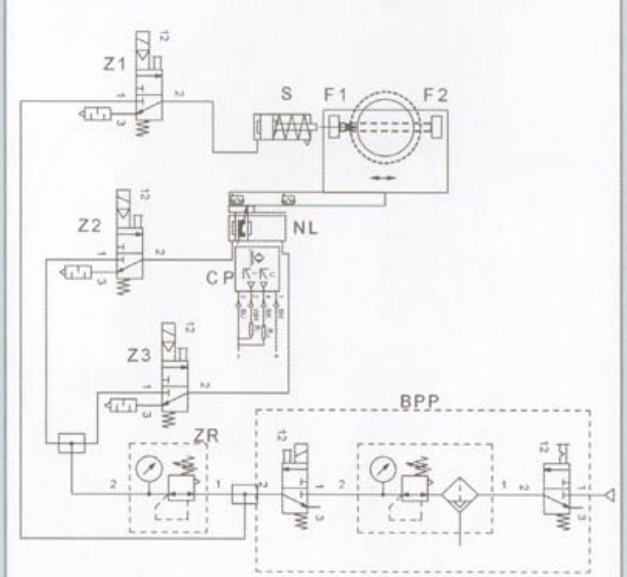
W oparciu o analizę konstrukcji elementów sterujących pracą narzędzi hydraulicznych różnych producentów opracowano koncepcję manipulatora (rys. 5).

Konstrukcję nośną manipulatora stanowi monolityczny, specjalnie wyprofilowany korpus (1). W dolnej części korpusu zamocowany jest siłownik dociskowy (2), służący do mocowania manipulatora na badanym narzędziu hydraulicznym. W celu zabezpieczenia rękojeści badanego narzędzia przed uszkodzeniem końcówka siłownika dociskowego zaopatrzona jest w wykonaną z tworzywa sztucznego elastyczną wkładkę (3). Po przeciwnej stronie siłownika dociskowego w gniazdach korpusu umieszczone są polimerowe wkładki oporowe (4), stanowiące oparcie dla rękojeści narzędzia. Na pionowej części korpusu umieszczono beztłoczyskowy siłownik pneumatyczny (5), wyposażony w bezstykowy czujnik położenia (6). Z wózkiem napędu połączone jest jarzmo (7), przesuwające suwak sterujący obiegiem oleju w hydraulicznym układzie zasilającym narzędzie. Kontakt jarzma z suwakiem realizowany jest za pośrednictwem dwóch końcówek (8) ze stożkowymi zagłębieniami ułatwiającymi ich współosiową współpracę z suwakiem. Ślizgowe ułożyskowanie końcówek, w wykonanych z teflonu tulejkach (9), pozwala na przeniesienie reakcji od przemieszczanego suwaka na jeden z dwóch przetworników siły (10), umieszczonych w gniazdach jarzma. Przetworniki siły połączone są ze wzmacniaczami z wykorzystaniem złącz DB9 (11). W celu wyeliminowania obciążenia badanego narzędzia ciężarem manipulatora zastosowano nastawny balanser (12). Zakładanie manipulatora na rękojeść badanego narzędzia ułatwia uchwyt (13).

Siły wywierane przez elementy manipulatora i jego ruchy robocze realizowane są za pomocą układu pneuma-



Rys. 5 Konstrukcja manipulatora: 1 – korpus, 2 – siłownik dociskowy, 3 i 4 – elastyczne wkładki dociskowe, 5 – siłownik beztłoczyskowy, 6 – sygnalizator położenia siłownika, 7 – jarzmo, 8 – końcówka oporowa, 9 – tulejka ślizgowa, 10 – przetwornik siły, 11 – złącze elektryczne przetworników siły, 12 – balanser, 13 – rękojeść



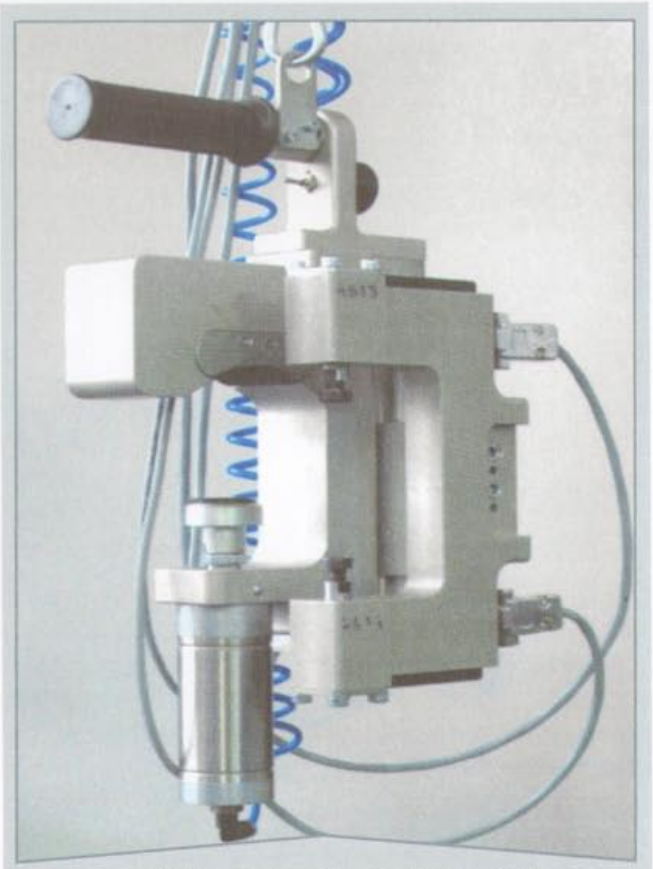
Rys. 6 Schemat pneumatycznego układu sterowania manipulatorem

tycznego przedstawionego na schemacie (rys. 6). W opracowanym układzie zastosowano blok przygotowania powietrza (BPP) z podtrzymywanym elektrycznie zaworem odpowietrzającym układ w przypadku zaniku napięcia sterującego. Precyzyjny regulator (ZR) ciśnienia powietrza zasilającego beztłoczyskowy napęd liniowy (NL) porusza jarzmem przemieszczającym suwak zaworu badanego narzędzia. Pozwala to na zadawanie określonej siły niezbędnej do sterowania zaworem hydraulicznym o wartości deklarowanej przez producenta. Sterowanie kierunkiem ruchu napędu realizowane jest z wykorzystaniem dwóch zaworów 3/2 (Z2 i Z3). Kontrola położenia suwaka odbywa się za pośrednictwem bezstykowego układu pomiarowego (CP), zamocowanego na napędzie liniowym. Zawór (Z1) wraz z siłownikiem (S) tworzą zespół mocowania manipulatora na rękojeści narzędzia.

Przyjęto następujące parametry techniczne manipulatora:

- zakres średnic rękojeści badanych narzędzi: 40-70 mm;
- zakres regulacji położenia końcówek napędzających: 0-15 mm, co pozwala na badanie narzędzi o długości suwaka sterującego w przedziale 55-80 mm;
- maksymalny skok suwaka sterującego: 25 mm;
- pomiar siły sterowania zaworem hydraulicznym narzędzia w zakresie 1-500 N;
- pomiar przemieszczenia suwaka w zakresie ±25 mm.

Na podstawie konstrukcji przedstawionej na rys. 5 opracowano dokumentację techniczną i wykonano pneumatyczny manipulator do sterowania hydraulicznymi narzędziami ratowniczymi podczas badań trwałościowych (rys. 7). Do budowy większości jego elementów zastosowano stop aluminium „Fortal". Było to podyktowane koniecznością zminimalizowania obciążeń testowanego narzędzia siłami niezwiązanymi z jego pracą, a mogącymi wpływać na przebieg prowadzonych badań.



Rys. 7 Manipulator do sterowania pracą narzędzi hydraulicznych podczas badań trwałościowych

Manipulator zamontowano na urządzeniu badawczym za pomocą balansera o regulowanej sile. Do napędu suwaka sterującego obiegiem oleju w układzie sterowania narzędziem wykorzystano beztłoczyskowy napęd liniowy, wyposażony dodatkowo w prowadnice ślizgowe podnoszące jego sztywność i nośność. Pneumatyczny układ sterowania pracą manipulatora pozwala na niezależną regulację ciśnienia w obwodach mocowania manipulatora i sterowanie pracą badanego narzędzia. Zróżnicowanie ciśnień w powyższych obwodach pozwala na pewne zamocowanie manipulatora na badanym narzędziu (ciśnienie ok. 0,6 MPa) oraz niezależną, precyzyjną regulację siły niezbędnej do sterowania zaworem hydraulicznym.

System sterowania i akwizycji danych pomiarowych

Układ sterująco-pomiarowy sterujący pracą całego urządzenia (rys. 8) zbudowany został w oparciu o sterownik PLC wyposażony w moduły wejść i wyjść cyfrowych oraz analogowych, pozwalające na sterowanie pracą stanowiska i dokonywanie pomiarów przebiegu sił i przemieszczeń w trakcie prób. W celu umożliwienia zadawania parametrów próby oraz obserwacji przebiegu testu opracowano program na komputer PC. Program ten pozwala na łączenie się ze sterownikiem PLC poprzez łącze szeregowe i dwukierunkową wymianę danych – do sterownika PLC przekazywane są informacje o parametrach próby, a dane o przebiegu próby przekazywane są do komputera.

Wyniki pomiarowe podzielono na dwie grupy. Wyniki z przebiegów wolnozmiennych przekazywane są do komputera PC na bieżąco (ok. 10 pomiarów na sekundę), a wyniki z przebiegów szybkozmiennych (ok. 100 pomiarów na sekundę) magazynowane są w pamięci sterownika PLC i transmitowane do komputera PC po zakończeniu procesu. Do grupy pomiarów wolnozmiennych należą sygnały pochodzące z toru pomiaru siły wywieranej przez końcówki robocze badanego narzędzia oraz toru pomiaru ich przemieszczenia. W grupie sygnałów wymagających szybkiego zapisu znajdują się pomiary związane ze sterowaniem pracą narzędzia: pomiar siły przemieszczającej suwak zaworu sterującego oraz pomiar jego przemieszczenia.

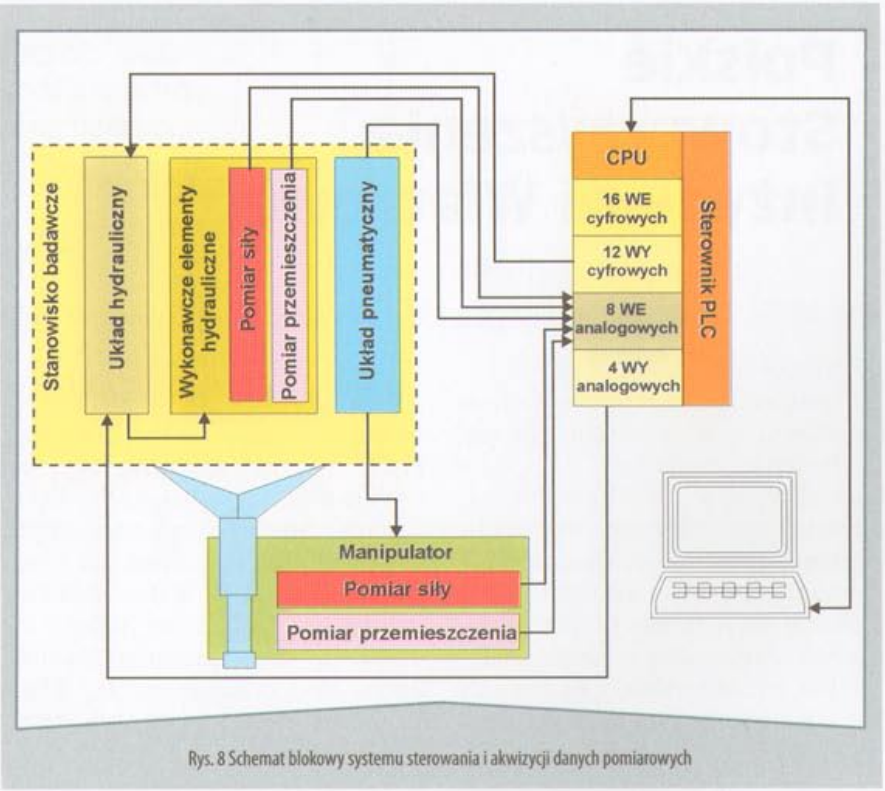
Uruchomienie programu nadzorującego pracę urządzenia badawczego pozwala na wprowadzenie danych badanego narzędzia lub przejście bezpośrednio do realizacji procedur badawczych. Parametry dotyczące skoku końcówek roboczych narzędzia oraz prędkość i czas zamykania/otwierania mogą być wprowadzane ręcznie lub zidentyfikowane w trybie automatycznym.

Po wprowadzeniu parametrów narzędzia i wyborze trybu pracy (ręczny/automatyczny) wprowadza się dodatkowe wielkości związane z obciążeniami badanego obiektu. Należą do nich opór bierny w postaci siły przeciwdziałającej ruchowi końcówek narzędzia lub stałej, niezależnej od

obciążenia, prędkości tłoczyska siłownika urządzenia badawczego.

W trybie pracy ręcznej operator po zakończeniu każdego cyklu badawczego może dokonać zapisu danych pomiarowych bądź kontynuować próbę bez ich zapisywania. W trybie pracy z manipulatorem zapis pozyskanych danych odbywa się automatycznie. Archiwizowane są dane dotyczące parametrów eksploatacyjnych pracy narzędzia (siła, prędkość końcówek roboczych oraz ciśnienie i temperatura oleju) oraz towarzyszące im wielkości charakteryzujące pracę jego zaworu sterującego (siła przełączająca, przemieszczenie).

Przeprowadzono szereg badań kilku różnych rozpieraczy szczękowych, które potwierdziły poprawność działania wykonanego manipulatora, jak i całego urządzenia badawczego.



Rys. 8 Schemat blokowy systemu sterowania i akwizycji danych pomiarowych

Podsumowanie

Zastosowanie w jednym urządzeniu badawczym hydraulicznego układu wykonawczego wyposażonego w proporcjonalne elementy sterujące, układu pneumatycznego i elektronicznych układów pomiarowych zintegrowanych przez wspólny układ sterowania i akwizycji wyników pomiarów pozwoliło na zbudowanie systemu badawczego, pozwalającego na elastyczną realizację różnych procedur badawczych dostosowanych do indywidualnych parametrów technicznych i wymagań ratowniczych narzędzi hydraulicznych.

Manipulator jest przykładem pneumatycznego zespołu wykonawczo-diagnostycznego, który dzięki zastosowaniu elektronicznego sterowania i pomiarów został włączony w zaawansowany inteligentny system wykonawczy dużego urządzenia badawczego.

Zastosowanie manipulatora pneumatycznego w badaniach wysokociśnieniowych i wysokoobciążonych, a tym samym niebezpiecznych w szczególnych warunkach testowych, narzędzi hydraulicznych, pozwoliło na zapewnienie bezpieczeństwa i powtarzalności tych badań dzięki wyeliminowaniu konieczności ręcznego sterowania ich pracą. ■

Praca naukowa finansowana ze środków ministra nauki i informatyzacji, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004-2008".

Stanisław Kozioł, Krzysztof Matecki, Tomasz Samborski

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

Literatura

[1] **Matecki K., Samborski T., Kozioł S.:** *Zastosowanie techniki proporcjonalnej w hydraulicznych układach obciążających aparatury badawczej.* Problemy Eksploatacji, 2008, 4, 113--122.

[2] **Czarnecki R., Czerwienko D., Prasuła J., Sural Z.:** Sprawozdanie z realizacji zadania badawczego pt. *Opracowanie metodyki wyznaczania w czasie rzeczywistym sił rozpierania i ciągnięcia w funkcji przemieszczenia końcówek roboczych narzędzi hydraulicznych.* CNBOP, Józefów, 2006.

[3] **Czarnecki R., Czerwienko D., Prasuła J., Sural Z.:** Sprawozdanie z realizacji zadania badawczego pt. *Opracowanie metod badań trwałości hydraulicznych narzędzi ratowniczych oraz budowa stanowiska do badań trwałościowych z uwzględnieniem możliwości monitorowania parametrów pracy narzędzi podczas badań.* CNBOP, Józefów, 2007.

[4] Katalogi wyrobów firmy Festo Sp. z o.o., Janki k. Warszawy, ul. Mszczonowska 7, 05090 Raszyn. http://www.festo.pl

[5] PN-EN 13204:2005 (U) *Hydrauliczne narzędzia ratownicze dwustronnego działania dla straży pożarnej. Wymagania eksploatacyjne i dotyczące bezpieczeństwa.*

Polskie Stowarzyszenie Inżynierii Wiatrowej

Nasze czasopismo zajmuje się całokształtem zagadnień związanych z powietrzem, nie tylko sprężonym.

Zagadnienia związane z badaniami modelowymi oddziaływań wiatrów na budowle, badaniami elementów budowlanych w tunelach aerodynamicznych oraz badaniami elementów elektrowni wiatrowych – a generalnie mechanika płynów i aerodynamika – mieszczą się w profilu zainteresowań naszych czytelników, dlatego wielokrotnie zamieszczaliśmy na naszych łamach artykuły z tej tematyki. Dziś podajemy informację dotyczącą powstania Polskiego Stowarzyszenia Inżynierii Wiatrowej (PSIW), którego członkami założycielami są miedzy innymi nasi współpracownicy.

17 kwietnia 2008 roku w Instytucie Techniki Budowlanej w Warszawie odbyło się zebranie założycielskie Polskiego Stowarzyszenia Inżynierii Wiatrowej (PSIW). Była to inicjatywa działającej od 1998 r. Polskiej Grupy Współpracy z International Association for Wind Engineering (IAWE), afiliowanej przy Komitecie Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk. Prekursorem Polskiej Grupy był prof. dr hab. inż. Roman Ciesielski. Znalazły się w niej osoby zajmujące się zagadnieniami aerodynamiki budowli i inżynierii wiatrowej w Polsce z Politechnik: Krakowskiej, Poznańskiej, Opolskiej, Rzeszowskiej, Lubelskiej, Instytutu Techniki Budowlanej i innych ośrodków naukowych. Celem PSIW jest inspirowanie i rozwijanie działalności naukowej, badawczej i technicznej związanej z inżynierią wiatrową.

20 maja 2008 r. Sąd Rejonowy dla Krakowa-Śródmieścia dokonał wpisu PSIW do rejestru stowarzyszeń, innych organizacji społecznych i zawodowych, fundacji oraz publicznych Zakładów Opieki Zdrowotnej. 2 października 2008 r. Walne Zebranie Członków PSIW, które odbyło się w warszawskim Instytucie Techniki Budowlanej, dokonało wyboru władz Stowarzyszenia. Jego przewodniczącym został prof. dr hab. inż. Andrzej Flaga, zastępcą prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielewski, sekretarzem dr inż. Ewa Błazik-Borowa, a skarbnikiem dr inż. Tomasz Lipecki. W skład komisji rewizyjnej weszli: prof. dr hab. inż. Janusz Kawecki (jako przewodniczący) oraz doc. dr hab. inż. Jerzy Antoni Żurański i dr inż. Mariusz Gaczek.

Zarząd IAWE (International Association for Wind Engineering) 3 lutego 2009 r. przyjął Polskie Stowarzyszenie Inżynierii Wiatrowej (Polish Association for Wind Engineering – PAWE) jako organizację członkowską IAWE. PAWE będzie patronować kolejnym sympozjom poświęconym wpływom środowiskowym na budowle i ludzi. Najbliższe takie spotkanie – 6-th Symposium on Environmental Effects on Buildings and People – Actions, Influences, Interactions, Discomfort – odbędzie się w 2010 roku.

■

Firma REWA Sp. z o.o. powstała w 1995 roku w wyniku połączenia kilku mniejszych przedsiębiorstw. Główną dziedziną jej funkcjonowania jest produkcja systemów oddymiających na rynek europejski.

Siłowniki pneumatyczne produkowane w firmie REWA

Początkowo produkcja była kierowana głównie na rynek francuski, a następnie – w miarę rozwoju – na inne rynki europejskie. Również w Polsce sukcesywnie wzrasta zapotrzebowanie na produkty firmy. REWA Sp. z o.o. kładzie duży nacisk na jakość, estetykę i funkcjonalność swoich wyrobów, prowadząc ich 100-procentową kontrolę i jednocześnie poszukując nowych, innowacyjnych rozwiązań.

Przez kilkanaście lat działalności firma REWA Sp. z o.o. wypracowała różne metody sterowania otwieraniem i zamykaniem klap oddymiających. Jedną z nich jest zastosowanie w tym celu siłowników pneumatycznych własnej produkcji. Materiały używane do ich produkcji pozwalają na normalną pracę siłowników w temperaturze od 20° C do ok. 80° C, a w razie konieczności (np. zagrożenia pożarowego) jednorazowo do ok. 300° C przez 30 minut. Medium roboczym siłownika jest dwutlenek węgla; ewentualnie zamiennie może być stosowane powietrze o ciśnieniu 0,7-10 MPa, przy czym, podobnie jak w przypadku temperatury, ciśnienie maksymalne może być stosowane przez krótki okres czasu.

Firma REWA Sp. z o.o., wychodząc naprzeciw oczekiwaniom klientów, opatentowała cały szereg innowacyjnych rozwiązań, mających na celu zaspokajanie ich rosnących potrzeb. Normatywnie firma jest zobligowana do produkcji siłowników z blokadą tłoczyska po wysunięciu, jednak na specjalne życzenie klienta istnieje możliwość wprowadzenia dodatkowej blokady w pozycji wyjściowej tłoka. Odblokowanie tłoczyska może następować automatycznie – poprzez wprowadzenie medium – lub też ręcznie poprzez obrót pierścienia odblokowującego (ten sposób jest znacznie wygodniejszy od metod stosowanych przez innych producentów siłowników tego typu).

Stosowane przez firmę REWA Sp. z o.o. różne długości skoków oraz średnice tłoka pozwalają na wykorzystanie siłowników pneumatycznych do napędzania klap o różnych gabarytach, a tym samym do stosowania ich w obiektach zarówno dużych, jak i małych.

W razie potrzeby firma REWA Sp. z o.o. jest w stanie wykonać siłowniki pneumatyczne służące do innych celów przemysłowych.

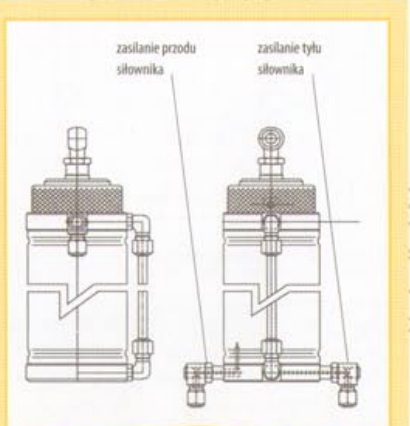
Firma REWA Sp. z o.o. może się pochwalić szeregiem zrealizowanych projektów z wykorzystaniem siłowników pneumatycznych do napędu klap oddymiających. Poniższe fotografie przedstawiają fragmenty kilku z nich. ■

mgr inż. Daniel Ficek
REWA Sp. z o.o.

Fot. 1 Siłownik pneumatyczny firmy REWA, zamontowany w klapie

Fot. 2 Świetlik na dachu hali produkcyjnej w Woli Rafałowskiej

Fot. 3 Klapa pionowa hali magazynowej w okolicach Warszawy



Rys. 1 Siłownik serii 527 firmy REWA (dwie opcje zasilania)

Fot. 4 Klapa jednoskrzydłowa na dachu hali produkcyjnej w Pionkach

Fot. 5 Klapa dwuskrzydłowa na dachu hali magazynowej w okolicach Warszawy

Andrzej Zbrowski

Pneumatyczny system czyszczący czoła wałeczków łożyskowych

W artykule zaprezentowano rozwiązanie zastosowane w automatyzacji kontroli jakości w linii technologicznej wytwarzania wałeczków łożysk tocznych.

Przedmiotem rozwiązania jest automatyczne oczyszczanie powierzchni wałeczka łożyskowego przed procesem automatycznej optycznej inspekcji, realizowane z wydajnością 3-4 szt./s.

Ze względu na optyczny charakter procesu kontroli, powierzchnia kontrolowana musi być odpowiednio czysta w celu uniknięcia pomyłek w procesie analizy pozyskanego obrazu. Zadaniem opracowanego systemu jest przygotowanie czoła wałeczka do procesu inspekcji.

System posiada budowę modułową dopasowaną do wielostopniowego sposobu oczyszczania, w którym rozróżnia się pulsacyjny nadmuch, odsysanie i przecieranie gumową rolką. Artykuł szczegółowo omawia budowę modułu czyszczącego, głowicy pneumatycznej i modułu wytwarzającego podciśnienie.

Wprowadzenie

Proces optycznej inspekcji [1] obiektów wysoko refleksyjnych może być prowadzony wyłączne dla powierzchni pozbawionych zanieczyszczeń stałych lub ciekłych. W przypadku kontroli czół wałeczków łożyskowych zanieczyszczenia na kontrolowanej powierzchni pochodzą z procesu szlifierskiego i są pozostałościami płynu chłodzącego oraz cząstek stałych materiału szlifierskiego. Wszelkie zanieczyszczenia o rozmiarach przekraczających rozdzielczość pomiarową w procesie analizy danych są błędnie interpretowane jako wady [2]. Ponadto, ze względu na zjawiska optyczne zachodzące w cieczy, zanieczyszczenia ciekłe zakłócają działanie układu wizyjnego. Możliwe jest występowanie refleksów, lśnień, zjawisk soczewkowych wykluczających prawidłową akwizycję i analizę danych pomiarowych. Aby sprostać wymaganiom metod wizyjnych, wałeczek przed procesem inspekcji musi zostać poddany zabiegowi oczyszczenia czoła z nagromadzonych zanieczyszczeń. Skuteczne oczyszczenie czoła wałeczka jest krytycznym czynnikiem wpływającym na poprawność procesu inspekcji.

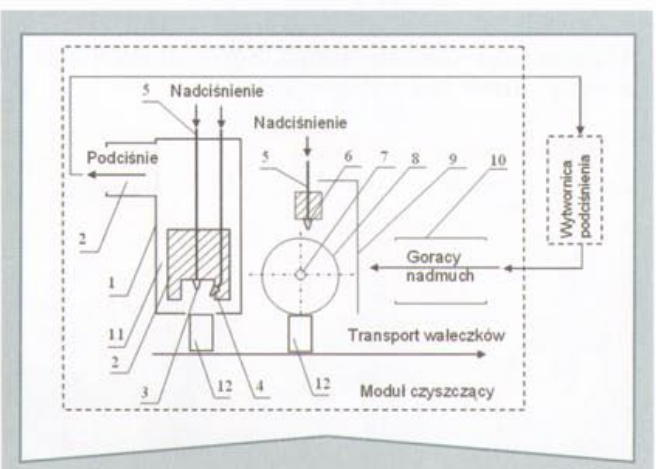
Metoda

Istotą rozwiązania jest czyszczenie czół wałeczków w sposób automatyczny, z całkowitym wyeliminowaniem pracy ręcznej, bez dodatkowego udziału czyściwa tekstylnego. Dzięki temu metoda nadaje się do zastosowania w automatyzacji procesu przygotowania powierzchni wałeczka łożyskowego do optycznej inspekcji [3, 4].

Czyszczenie według opracowanej metody [5] realizowane jest hybrydowo: pneumatycznie (z zastosowaniem nadciśnienia i podciśnienia) oraz termicznie (rys. 1). Warunkiem poprawnej realizacji procesu jest dostarczanie wałeczków wilgotnych, pokrytych cienkim filmem chłodziwa.

Czyszczenie czół wałeczków łożyskowych jest realizowane kilkustopniowo. W pierwszym etapie, za pomocą odpowiednio ukształtowanego strumienia sprężonego powietrza, zanieczyszczenia są pulsacyjnie zdmuchiwane z powierzchni czoła wałeczka razem z cieczą – w postaci wytworzonego aerozolu. Pulsacja o ciśnieniu 5 barów jest wywarzana za pomocą elektrozaworów w impulsach o długości 30 μs w odstępach 10 μs. Usunięte pulsacyjnie zanieczyszczenia są natychmiast odsysane za pomocą podciśnienia 0,2 bara. W następnym takcie czoło wałeczka jest przecierane obrotową, gumową rolką zgarniającą, w celu nadania kontrolowanej powierzchni naturalnej refleksyjności. Gorący nadmuch o temperaturze ok. 50° C osusza rolkę zgarniającą. Strumień sprężonego powietrza, dostarczany nad rolkę, utrzymuje film powstały z resztek cieczy chłodzącej po jednej stronie rolki, zapobiegając wtórnemu przenoszeniu zanieczyszczeń na powierzchnię czoła wałeczka łożyskowego.

Czoło wałeczka w pneumatycznym systemie czyszczącym poddawane jest działaniu sprężonego powietrza oraz podciśnienia za pomocą dysz i kanałów pneumatycznych, umieszczonych w rdzeniu specjalnej głowicy pneumatycznej. Dysze ustawione są współosiowo do podłużnej osi wałeczka (dysza 3) oraz skośnie względem podłużnej osi wałeczka (dysza 4). Głowica posiada port łączący wewnętrzną komorę ze źródłem podciśnienia.



Rys. 1 Schemat metody oczyszczania czół wałeczków: 1 – płaszcz głowicy, 2 – wkładka, 3 – dysza zdmuchująca centralna, 4 – dysza zdmuchująca boczna, 5 – przewody sprężonego powietrza, 6 – dysze rolki zgarniającej, 7 – oś rolki zgarniającej, 8 – rolka zgarniająca, 9 – osłona rolki, 10 – dysza gorącego nadmuchu, 11 – kanał podciśnieniowy, 12 – wałeczek łożyskowy

System czyszczący składa się z dwóch podstawowych modułów: modułu czyszczącego oraz wytwornicy podciśnienia. System jest energooszczędny, ponieważ gorące powietrze – wytwarzane na skutek sprężania po stronie tłoczącej wytwornicy podciśnienia – jest odzyskiwane i wykorzystywane jako gorący nadmuch w module czyszczącym.

Moduł czyszczący

Moduł czyszczący (rys. 2) bezpośrednio współpracuje z rewolwerowym podajnikiem wałeczków łożyskowych. Wałeczki łożyskowe osadzone w gniazdach podajnika przemieszczane są pod modułem czyszczącym w celu realizacji kolejnych faz przygotowania powierzchni do automatycznej, optycznej inspekcji. Modułu czyszczący posiada zwartą, kompaktową budowę, umożliwiającą łatwą instalację na płycie podajnika wałeczków, bezpośrednio przed stanowiskiem optycznej inspekcji.

Moduł czyszczący mocowany jest do korpusu podajnika rewolwerowego za pomocą statywu. W statywie osadzona jest głowica pneumatyczna oraz zespół rolki zgarniającej. Konstrukcja modułu zapewnia regulację położenia głowicy oraz rolki w celu dopasowania właściwego ustawienia do różnych typów wałeczków łożyskowych.

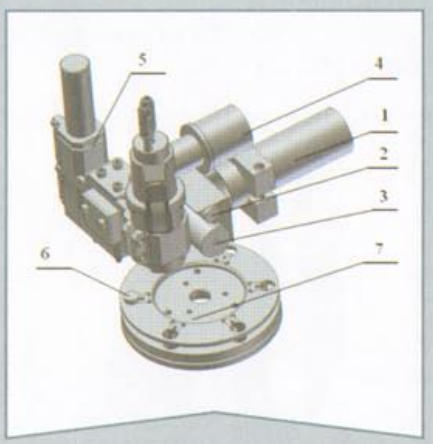
Moduł czyszczący stanowi integralny element struktury procesu kontroli czół wałeczków łożyskowych (rys. 3).

Po wykonaniu procesu oczyszczania wałeczki w podajniku przemieszczane są do gniazd akwizycji i analizy danych, a następnie selekcji. Opracowana struktura systemu zapewnia zwiększenie wydajności kontroli dzięki zrównolegleniu zadań: pobierania, czyszczenia, akwizycji, analizy i selekcji.

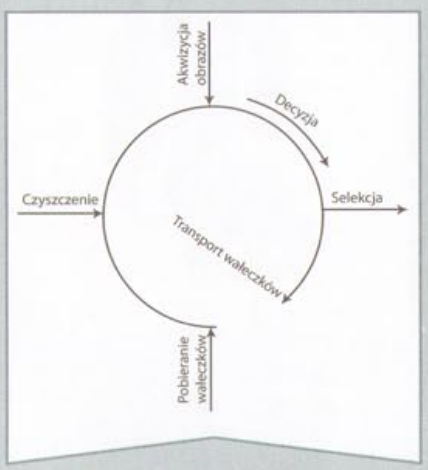
Głowica pneumatyczna

Cylindryczna głowica pneumatyczna [6] o wymiarach Ø 60 x 150 mm (rys. 4) stanowi zasadniczy element modułu czyszczącego. Głowica składa się z wewnętrznej, walcowej, kilkustopniowej wkładki 1 osadzonej współosiowo wewnątrz tulejowego płaszcza 2. Wkładka posiada wewnętrzne kanały, do których zamocowane są pneumatyczne dysze 3 i 4 o średnicach 2 mm. Kanały za pomocą króćców 5 połączone są z pneumatycznymi przewodami zasilającymi 6. Właściwe położenie wkładki wewnątrz tulei jest ustalane za pomocą wypustów 7, osadzanych w wycięciach na ściankach płaszcza. Denko płaszcza posiada łukowatą szczelinę 8, w której powinien przemieszczać się czyszczony wałeczek. Tuleja wraz z wkładką zamykane są za pomocą pokrywy 9. W denku pokrywy znajdują się otwory 10, przez które przechodzą przewody zasilające. Boczna ścianka pokrywy posiada króciec 11, łączący komorę głowicy z wytwornicą podciśnienia.

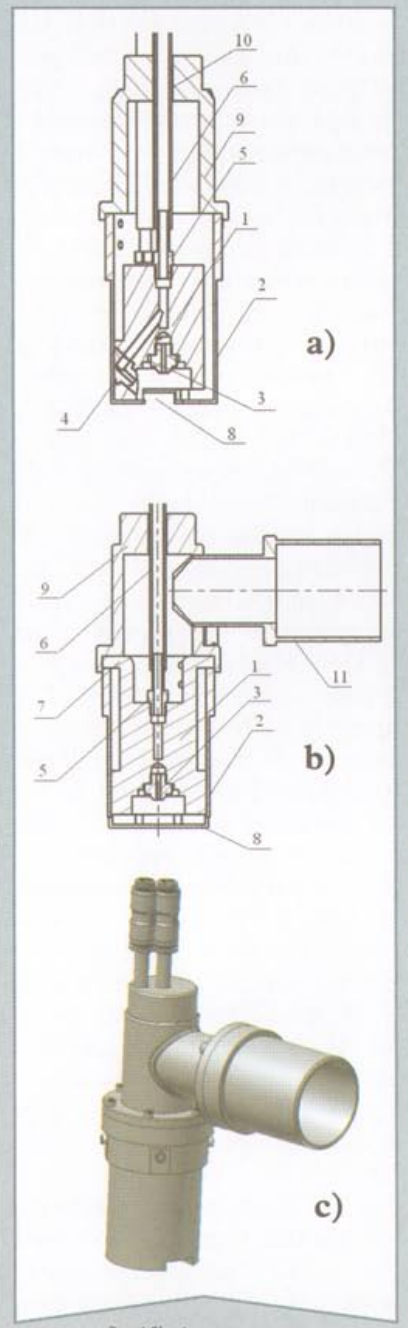
Głowica czyszcząca jest elementem pochłaniającym ciężkie zanieczyszczenia stałe, których część w postaci gruboziarnistego szlamu szlifierskiego osadza się wewnątrz głowicy. Niezbędne jest zatem okresowe czyszczenie komory głowicy. W tym celu należy zdjąć pokrywę, usunąć wkładkę z tulei płaszcza wraz z przechwyconym szlamem i dokładnie umyć wszystkie zdemontowane elementy gło-



Rys. 2 Moduł czyszczący: 1 – dysza gorącego nadmuchu, 2 – dysze rolki zgarniającej, 3 – rolka zgarniająca, 4 – głowica pneumatyczna, 5 – statyw, 6 – wałeczek łożyskowy, 7 – tarcza podajnika rewolwerowego



Rys. 3 Struktura automatycznej kontroli czół wałeczków łożyskowych



Rys. 4 Głowica pneumatyczna a), b) przekrój poprzeczny, c) model 3D 1 – wkładka, 2 – płaszcz, 3 – dysza centralna, 4 – dysza skośna, 5 – króciec, 6 – przewody ciśnieniowe, 7 – wypust ustalający wkładki, 8 – szczelina czyszcząca, 9 – pokrywa, 10 – pneumatyczne przewody zasilające, 11 – króciec podciśnienia

wicy w chłodziwie, w celu usunięcia resztek zanieczyszczeń stałych.

Wytwornica podciśnienia

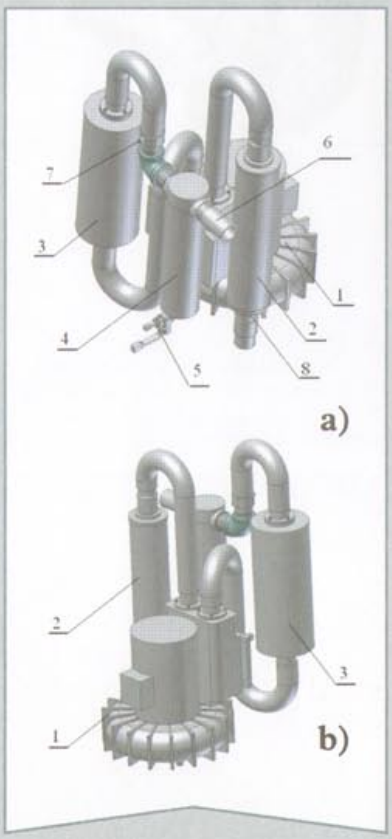
Wytwornica podciśnienia (rys. 5) przeznaczona jest do wytwarzania podciśnienia niezbędnego do prawidłowej pracy modułu czyszczącego oraz do separowania zanieczyszczeń stałych i ciekłych z powietrza zasysanego w procesie czyszczenia wałeczków łożyskowych [7]. Zaletą urządzenia jest wytwarzanie podciśnienia niezbędnego do odsysania zanieczyszczeń z jednoczesnym przechwytywaniem zanieczyszczeń stałych i ciekłych. Dzięki przechwytywaniu zanieczyszczeń powietrze docierające do wentylatora jest wystarczająco suche i czyste, co gwarantuje jego długotrwałą, bezawaryjną eksploatację. Urządzenie przyczynia się do ochrony środowiska, gdyż przechwycony aerozol wraz z zanieczyszczeniami nie są emitowane do otoczenia, lecz gromadzone w postaci szlamu szlifierskiego wewnątrz filtrów. Szlam szlifierski po usunięciu z osadników może być przekazany do utylizacji. Urządzenie jest także energooszczędne, ponieważ gorące powietrze wytwarzane na skutek sprężania po stronie tłoczącej wentylatora jest odzyskiwane i wykorzystywane jako gorący nadmuch w module do czyszczenia czół wałeczków.

Podciśnienie w wytwornicy jest generowane za pomocą wentylatora bocznokanałowego 1, napędzanego silnikiem o mocy 1,5 kW, zapewniającego wydatek 100 m3/h przy podciśnieniu 0,15 bara. Wentylator zasysa powietrze z głowicy pneumatycznej, które w celu oczyszczenia przepływa przez separator cyklonowy 2, a następnie przez filtr kanałowy 3 z wkładem filtrującym. Powietrze z wentylatora kierowane jest do tłumika 4, a następnie do dyszy gorącego nadmuchu w module czyszczącym. Pomiędzy separatorem cyklonowym a filtrem kanałowym znajduje się przyłącze 6 manometru do pomiaru wartości podciśnienia panującego po stronie ssawnej. Wysokość podciśnienia jest miarą drożności głowicy czyszczącej. W przypadku przekroczenia nastawionego granicznego progu podciśnienia niezbędne jest natychmiastowe oczyszczenie głowicy.

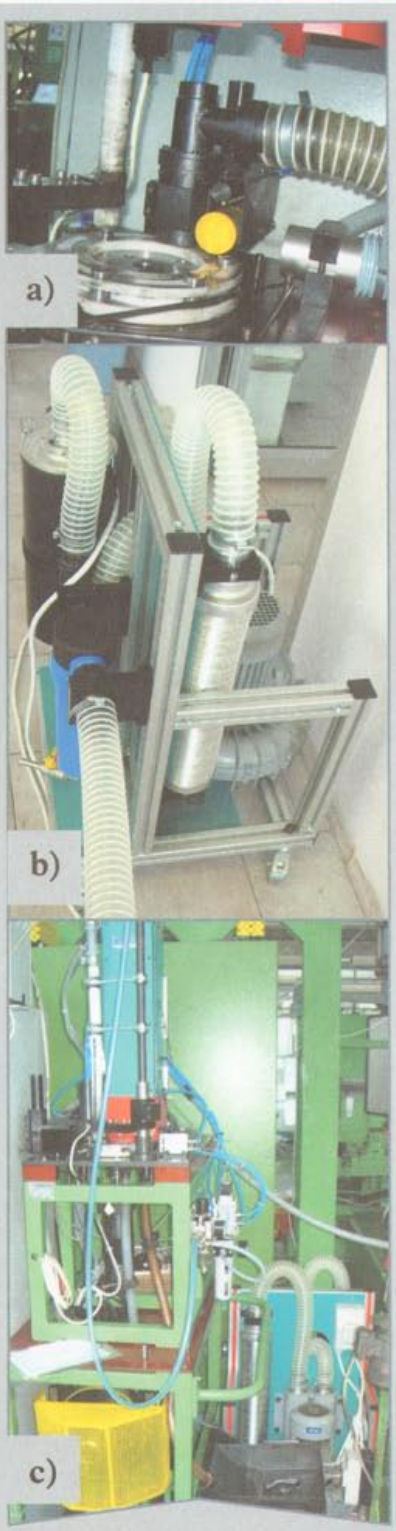
Lżejsze frakcje aerozolu wytwarzanego w głowicy pneumatycznej osadzają się w postaci kondensatu w separatorze cyklonowym. Spust kondensatu jest realizowany ręcznie za pomocą zaworu kulowego 5.

Oprócz kondensatu na ściankach separatora osadzają się lżejsze, drobnoziarniste frakcje szlamu szlifierskiego. Szlam należy usuwać po odkręceniu zbiornika separatora poprzez dokładne, ciśnieniowe przemycie powierzchni wewnętrznej za pomocą chłodziwa. Ponieważ szlam osadza się także na kierownicy separatora, co może doprowadzić do utraty drożności, równocześnie z czyszczeniem zbiornika należy także wymontować kierownicę i poddać ją starannemu myciu pod ciśnieniem w strumieniu chłodziwa. Zaniedbanie obsługi separatora cyklonowego grozi gwałtownym przenoszeniem szlamu szlifierskiego do filtra kanałowego, doprowadzając do szybkiego zapchania wkładu filtrującego i uszkodzenia wentylatora.

Ze względu na możliwość przedostawania się szlamu do wkładu filtra kanałowego, niezbędna jest okresowa, wzrokowa kontrola stanu wkładu filtra.



Rys. 5 Wytwornica podciśnienia
a) widok z przodu, b) widok z tyłu
1 – wentylator, 2 – tłumik, 3 – filtr kanałowy, 4 – separator cyklonowy, 5 – zawór kulowy, 6 – króciec ssawny, 7 – przyłącze wakuometru, 8 – króciec tłoczny



Fot. 1 Przemysłowe stanowisko do oczyszczania czół wałeczków łożyskowych: a) moduł czyszczący, b) wytwornica podciśnienia, c) system w hali produkcyjnej

Aplikacja przemysłowa

Opracowany system (fot. 1) został wdrożony w linii technologicznej u producenta łożysk tocznych. Oczyszczanie jest prowadzone dla wałeczków o średnicach 10-18 mm.

Efektywność oczyszczania gwarantuje uzyskanie wydajności procesu inspekcji 3-4 szt./s. Dzięki wysokiej skuteczności oczyszczania system wizyjny wykrywa 30 wad wyrobu. Stanowi to trzykrotny wzrost identyfikowalności wad w stosunku do kontroli prowadzonej wzrokowo.

System jest rozwiązaniem dostosowanym do eksploatacji w surowych warunkach przemysłowych, występujących na wydziałach szlifierskich wykonujących wałeczki łożysk tocznych. Budowa modułowa umożliwia łatwą, w warunkach przemysłowych, obsługę techniczną urządzenia w celu usuwania pochłoniętych zanieczyszczeń (kondensatu i szlamu szlifierskiego powstałego z korundu, opiłków i chłodziwa). Częstotliwość obsługi jest limitowana jakością chłodziwa i ilością zanieczyszczeń stałych. Dla zrealizowanej aplikacji bezobsługowy czas głowicy pneumatycznej wynosi minimum 8 godzin. Obsługa serwisowa wytwornicy podciśnienia powinna być prowadzona co 160 godzin (raz w tygodniu).

Dzięki zwartej, kompaktowej strukturze urządzenie zaimplementowano w istniejącej linii produkcyjnej, bez konieczności rekonfiguracji ciągu i procesu technologicznego.

Podsumowanie

Opracowany system czyszczący do zastosowań w procesie automatycznej optycznej inspekcji czół wałeczków łożyskowych umożliwia skuteczne przygotowanie powierzchni wyrobu do wysoko wydajnej kontroli jakości wyrobu w trakcie realizowanego procesu technologicznego. Zastosowanie systemu umożliwia zapewnienie zerowej liczby braków, obiektywizację procesu kontroli oraz redukcję kosztów wytwarzania. Dzięki elastycznej i rekonfigurowanej strukturze system może być dostosowany do zmiennych warunków produkcyjnych, dotyczących występującego poziomu zanieczyszczeń stałych oraz rodzaju i parametrów chłodziwa. Zastosowana autodiagnostyka zapobiega utracie zdolności funkcjonalnych w wyniku uszkodzenia lub przekroczenia dopuszczalnego poziomu zanieczyszczeń. ■

Praca naukowa finansowana ze środków ministra nauki i informatyzacji, wykonana w ramach realizacji Programu Wieloletniego pn. „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004-2008".

dr inż. Andrzej Zbrowski

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

Summary

Pneumatic system for bearing roller head cleaning

The article presents solution used in automatic quality control in production line of bearing rollers. The subject of the solution is automatic roller head surface cleaning before optical inspection. Optical character of the quality control process demands the surface to be properly cleaned to avoid failures in the process of image analysis. The developed cleaning system for application in automatic optical inspection of bearing roller head allows effective preparation of surface to highly effective quality control of the elements in the production line. The use of the system allows no lacks in elements, objective control and production cost decrease. Thanks to flexible and re-configurable structure the system may be adopted to changing production conditions considering variable amount of solid contamination and type and temperature of cooling liquid. System works with efficiency 3-4 pcs/s. Applied auto-diagnosis prevents functional abilities decrease in case of failure, break-down or excess number of allowed limit of contamination.

Literatura

[1] **Pernkopff F., O'Leary P.:** *Visual inspection of machined metallic high-precision surfaces.* Journal on Applied Signal Processing"2007/7, pp. 667-678.

[2] **Demant C., Estreicher-Abel B., Waszkewitz P.:** *Industrial image processing. Visual quality control in manufacturing.* Springer-Verlag 1999, pp. 265-272.

[3] **Zbrowski A., Giesko T.:** *Automatyzacja kontroli jakości wyrobów w linii technologicznej wytwarzania wałeczków łożysk tocznych.* Technologia i Automatyzacja Montażu, nr 2/2008, str. 36-40.

[4] **Giesko T., Zbrowski A.:** *Modularyzacja systemów inspekcji optycznej do zastosowań w kontroli jakości.* Technologia i Automatyzacja Montażu, nr 2/2006, str. 60-63.

[5] **Zbrowski A.:** *Sposób oczyszczania czół wałeczków łożysk tocznych i urządzenie do oczyszczania czół wałeczków do łożysk tocznych.* Zgłoszenie patentowe P-383911.

[6] **Zbrowski A.:** *Głowica oczyszczająca czoła wałeczków do łożysk tocznych.* Zgłoszenie patentowe nr P-383967.

[7] **Zbrowski A.:** *Sposób separowania z powietrza stałych i płynnych zanieczyszczeń oraz urządzenie do separowania z powietrza stałych i płynnych zanieczyszczeń.* Zgłoszenie patentowe P-383965.

Mirosław Werszko, Radosław Werszko, Krzysztof Tomczuk, Jacek Kosek

Pomiar średniej wartości ciśnienia krwi czujnikiem pneumatycznym

W artykule przedstawiono koncepcję pomiaru średniej wartości ciśnienia krwi za pomocą czujnika pneumatycznego, wchodzącego w skład przyrządu do bezinwazyjnego pomiaru i rejestracji fali tętna krwi.

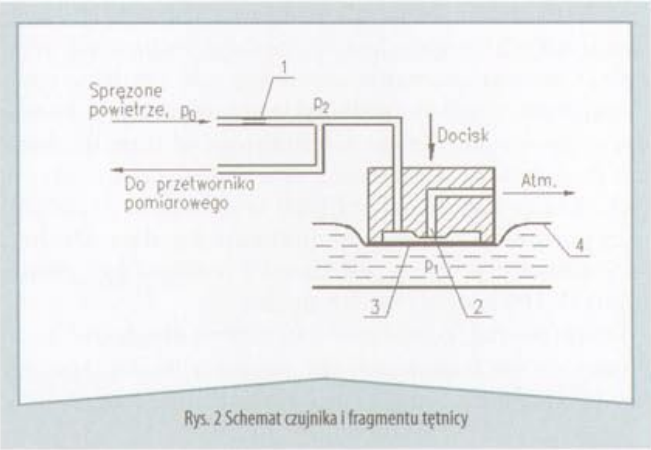
Przyrząd do pomiaru fali tętna krwi, opracowany i wykonany na Politechnice Wrocławskiej, składa się z pneumatycznego czujnika ciśnienia 1 (rys. 1), modułu zasilającego 2 i komputera 3 w roli rejestratora i analizatora fali tętna krwi. Czujnik 1 jest połączony z modułem zasilającym 2 elastyczną rurką 4, przez którą czujnik jest zasilany sprężonym powietrzem.

Pomiar przeprowadza się w następujący sposób. Czujnik przykłada się do ciała pacjenta, w takim miejscu, gdzie bezpośrednio pod skórą przebiega tętnica z wyczuwalnym tętnem (np. nadgarstek). Następnie, upewniwszy się, że czujnik znajduje się dokładnie nad tętnicą, stopniowo dociska się go do tej tętnicy. Po jednorazowym docisku pomiar jest skończony, a na ekranie komputera pojawia się zarejestrowany przebieg fali tętna krwi oraz charakteryzujące ten przebieg wielkości.

Pomiar jest bezkrwawy, a więc całkowicie bezpieczny; nie jest też uciążliwy dla pacjenta, bo nie wstrzymuje przepływu krwi. Zaletą przyrządu jest również to, że można nim mierzyć fale tętna krwi w takich tętnicach, jak tętnica szyjna, obojczykowa czy skroniowa, które są niedostępne dla przyrządów mankietowych [1,7].

Konstrukcja czujnika jest oparta na pneumatycznym wzmacniaczu typu dysza-przysłona, objętym ujemnym sprzężeniem zwrotnym. W skład czujnika wchodzą: dławik zasilający 1 (rys. 2), dysza odpowietrzająca 2 i gumowa membrana 3 w roli przysłony. Czujnik jest zasilany sprężonym powietrzem o stałym ciśnieniu p_0. Wielkością mierzoną jest ciśnienie krwi p_1 w tętnicy 4, a wielkością wyjściową ciśnienie p_2 za dławikiem.

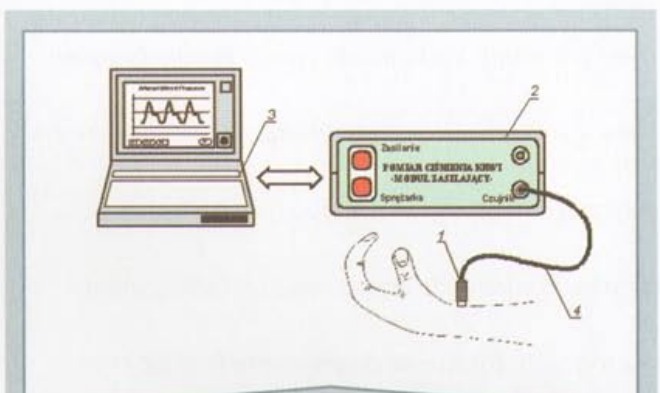
W czasie pomiaru ściana tętnicy 4 zostaje spłaszczona przez korpus czujnika; dzięki temu jej płaska część ściśle przylega do membrany 3, a siła od ciśnienia p_1 jest przenoszona na tę membranę bez większych strat. Ugięcie membrany, wywołane ciśnieniem p_1, powoduje przymykanie dyszy 2 i wzrost ciśnienia kompensującego p_2 do takiej wartości, przy której nastąpi równowaga sił od ciśnień p_1 i p_2. W praktyce ciśnienie wyjściowe czujnika p_2 przyjmuje wartości ciśnienia mierzonego p_1.



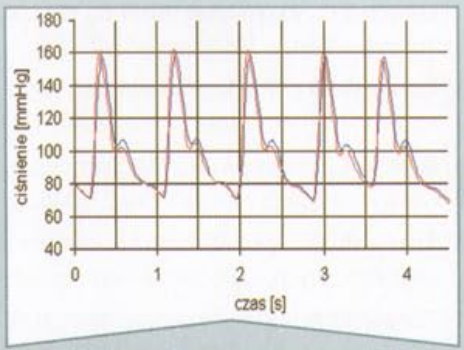
Rys. 2 Schemat czujnika i fragmentu tętnicy

Przyrząd przeszedł badania kliniczne na pacjentach. Wykazały one zadowalającą zgodność przebiegów fali tętna krwi, uzyskanych metodą bezinwazyjną omawianym przyrządem,
i metodą inwazyjną (krwawą) (rys. 3). Przyrząd posiada liniową charakterystykę statyczną, dobre właściwości dynamiczne
i ma szansę wdrożenia do praktyki lekarskiej.

Pewną niedogodnością w stosowaniu tego przyrządu jest mała dokładność podziałki ciśnienia: odczytane z wykresu wartości ciśnień (w tym ciśnienia skurczowego i rozkurczowego) mogą dość znacznie różnić się od wartości rzeczywistych (do ±15 mm Hg). Co prawda, głównym przeznaczeniem



Rys. 1 Przyrząd do pomiaru i rejestracji fali tętna krwi



Rys. 3 Przebiegi fali tętna krwi zmierzone różnymi metodami: bezinwazyjną (linia czerwona) i inwazyjną (linia niebieska)

omawianego przyrządu jest rejestracja kształtu fali tętna krwi, a nie pomiar ciśnienia skurczowego i rozkurczowego, ale niekiedy konieczna jest znajomość dokładnej podziałki ciśnienia, np. w transponowaniu przebiegu ciśnienia krwi w tętnicy promieniowej na przebieg w aorcie. Wówczas konieczne jest wzorcowanie przyrządu na pacjencie, w wyniku czego powstaje tzw. indywidualna charakterystyka statyczna przyrządu.

Koncepcja samoczynnego wyznaczania indywidualnej charakterystyki statycznej przyrządu

Zgodnie z „Międzynarodowymi wytycznymi..." [2], do wspomnianego wyżej wzorcowania używa się tradycyjnego przyrządu mankietowego, jako przyrządu wzorcowego. Zmierzone tym przyrządem ciśnienie skurczowe p_{1s} i rozkurczowe p_{1r} pacjenta oraz wartości tych ciśnień, odczytane z zarejestrowanego przebiegu fali tętna p_{2s} i p_{2r}, wyznaczają indywidualną charakterystykę statyczną przyrządu (rys. 4), opisywaną równaniem:

$$p_2 = a + bp_1 \qquad (1)$$

gdzie:

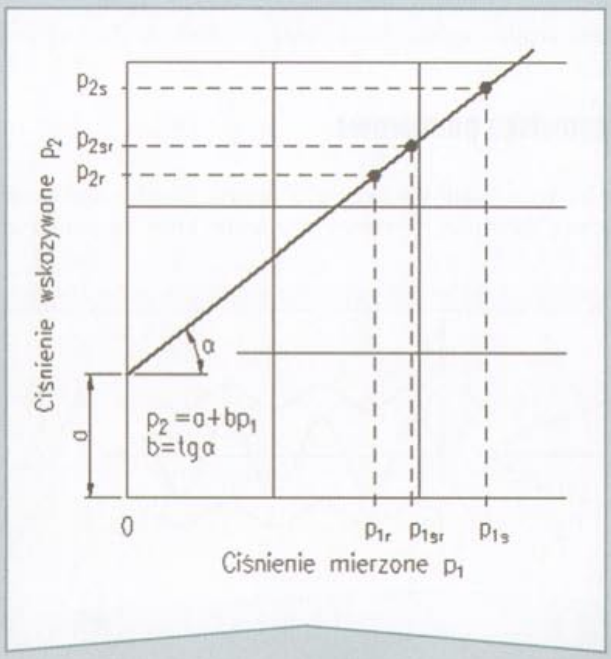
p_1 – ciśnienie mierzone przyrządem wzorcowym (mankietowym),

p_2 – ciśnienie wskazywane przez omawiany przyrząd,

$$a = p_{2s} - bp_{1s}, \quad b = (p_{2s} - p_{2r})/(p_{1s} - p_{1r})$$

Równanie (1), po wprowadzeniu do przynależnego do przyrządu komputera, urealnia podziałkę ciśnienia na wykresie fali tętna krwi badanego pacjenta.

Ponieważ przedstawiony sposób wyznaczania indywidualnej charakterystyki przyrządu jest dość kłopotliwy, postanowiono zbadać możliwość wyznaczania tej charakterystyki za pomocą przynależnego do przyrządu czujnika, którym mierzy się falę tętna krwi. U podstaw tej koncepcji leżą dwa założenia: pierwsze – wszystkie indywidualne charakterystyki przyrządu są liniami prostymi i mają ten sam współczynnik kierunkowy; drugie – czujnikiem pneumatycznym można zmierzyć bezinwazyjnie średnią wartość ciśnienia krwi $p_{1śr}$. Wartość tego ciśnienia określa jeden punkt charakterystyki, który łącznie ze współczynnikiem kierunkowym b opisuje przebieg tej charakterystyki (rys. 4).



Rys. 4 Indywidualna charakterystyka statyczna przyrządu

Pierwsze założenie ma oparcie w przeprowadzonych wcześniej badaniach, podczas których wyznaczono 45 indywidualnych charakterystyk osobom różnej płci, w wieku od 25 do 76 lat [3]. W oparciu o te charakterystyki, opisywane równaniem (1), wyznaczono średnie wartości i odchylenia standardowe współczynników a i b uniwersalnej charakterystyki statycznej przyrządu; wynoszą one: $a = 43 \pm 13$ mm Hg i $b = 0{,}83 \pm 0{,}1$.

Niestety, bardzo duże odchylenie standardowe współczynnika a (±13 mm Hg) przekreśla możliwość korzystania z uniwersalnej charakterystyki statycznej przyrządu. Natomiast odchylenie standardowe współczynnika b (±0,1) nie jest zbyt duże i niepewność pomiaru fali tętna krwi z tego powodu byłaby do przyjęcia, pod warunkiem jednak, że byłby znany jeden punkt charakterystyki, najlepiej w środku zakresu pomiarowego. Tym punktem może być średnia wartość ciśnienia krwi $p_{1śr}$ (rys. 4).

Przyjmijmy zatem, że w jakiś sposób zmierzono średnią wartość ciśnienia krwi pacjenta $p_{1śr}$, a z zarejestrowanego przyrządem przebiegu fali tętna krwi p_2 wyznaczono jego wartość średnią $p_{2śr}$. Te dwie wartości wyznaczają jeden punkt charakterystyki, przez który można następnie poprowadzić prostą o współczynniku kierunkowym b = 0,83. Prostą tę będziemy traktować jako indywidualną charakterystykę przyrządu, odnoszącą się do pacjenta, u którego zmierzono średnią wartość ciśnienia krwi $p_{1śr}$. Opisuje ją równanie (1), w którym znana jest wartość współczynnika b, natomiast wartość a jest nieznana. Wartość tę można jednak wyznaczyć, podstawiając do równania (1) znane wartości $p_{1śr}$ i $p_{2śr}$:

$$p_{2śr} = a + bp_{1śr} \qquad (2)$$

$$a = p_{2śr} - bp_{1śr} \qquad (3)$$

A zatem, zależność między ciśnieniami p_1 i p_2, opisująca indywidualną charakterystykę przyrządu, przyjmuje ostatecznie postać:

$$p_1 = \frac{p_2 - p_{2śr} + bp_{1śr}}{b} \qquad (4)$$

Aby zorientować się, jak niepewność e_b wartości współczynnika b przenosi się na niepewność e_{p1} odczytu mierzonego ciśnienia p_1, zależność (4) najpierw należy zapisać w postaci

$$p_1 = \frac{p_2 - p_{2śr}}{b} + p_{1śr} \qquad (5)$$

a następnie znaleźć jej różniczkę [4]

$$e_{p1} = \left|\frac{dp_1}{db}\right| \cdot e_b = \frac{p_2 - p_{2śr}}{b^2} \cdot e_b \qquad (6)$$

Dla przykładu przyjmijmy, że odczytane z zarejestrowanej fali tętna krwi wartości ciśnień skurczowego, rozkurczowego i średniego wynoszą odpowiednio:

p_{2s} = 140 mm Hg, p_{2r} = 110 mm Hg i $p_{2śr}$ = 120 mm Hg,

a za niepewność e_b przyjęto odchylenie standardowe współczynnika b, czyli $e_b = \pm 0{,}1$.

Po podstawieniu do wzoru (6) odpowiednich wartości otrzymujemy:

– niepewność przy pomiarze ciśnienia skurczowego:

$$e_{p1s} = \frac{140-120}{0{,}83^2} \cdot 0{,}1 = \pm 2{,}9 \text{ mmHg}$$

– niepewność przy pomiarze ciśnienia rozkurczowego:

$$e_{p1s} = \frac{110-120}{0{,}83^2} \cdot 0{,}1 = \pm 1{,}5 \text{ mmHg}$$

Oszacowane wartości niepewności pomiarów zaproponowaną metodą są w pełni do przyjęcia, zwłaszcza przy pomiarze fali tętna krwi. Oczywiście, pozostaje problem pomiaru średniej wartości ciśnienia krwi.

Oscylometryczna metoda pomiaru średniej wartości ciśnienia krwi

Wartość średnia fali tętna krwi $p_{1śr}$ jest definiowana jako iloraz pola A, znajdującego się pod krzywą pojedynczej fali tętna krwi, i jej okresu T (rys. 5):

$$p_{1śr} = \frac{A}{T} = \frac{1}{T}\int_0^T p_1(t)dt \qquad (7)$$

W praktyce najczęściej stosowany jest wzór przybliżony:

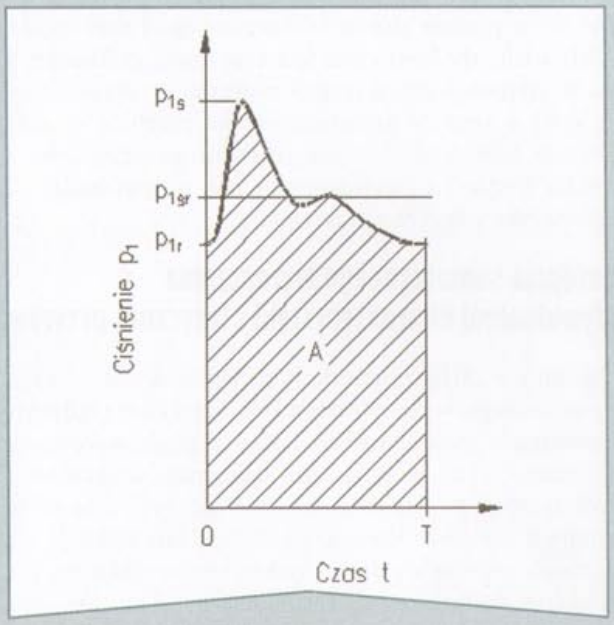
$$p_{1śr} = p_{1r} + \frac{1}{3}(p_{1s} - p_{1r}) \qquad (8)$$

gdzie:

p_{1r}, p_{1s} – wartości ciśnień rozkurczowego i skurczowego.

Ze wzoru definicyjnego (7) wynika, iż średnia wartość ciśnienia krwi jest równoznaczna ze składową stałą przebiegu fali tętna krwi.

Oscylometryczna metoda pomiaru średniej wartości ciśnienia krwi opiera się na zasadzie kompensacji ciśnień, która brzmi następująco: zamocowana na swym obrzeżu płaska membrana pozostaje w neutralnym (nieodkształconym) położeniu tylko wtedy, gdy na obie jej strony działają ciśnienia o tych samych wartościach: $p_1 = p_2$ (rys. 6).



Rys. 5 Pojedyncza fala tętna krwi

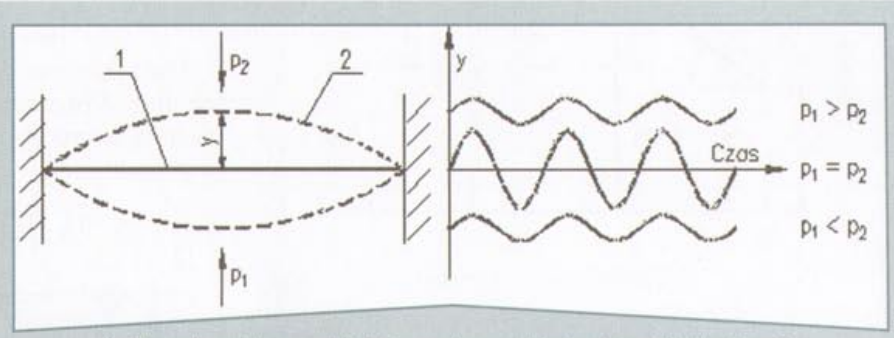
Można również dowieść, że amplituda y wahań membrany pod wpływem periodycznej składowej zmiennej Δp ciśnienia p_1 jest maksymalna tylko wtedy, gdy wahania odbywają się dookoła neutralnego położenia membrany, czyli gdy składowa stała ciśnienia $p_1 = p_2$. Natomiast gdy $p_1 > p_2$ lub $p_1 < p_2$ amplitudy wahań membrany są mniejsze (rys. 6) [5].

A więc, chcąc zmierzyć bezinwazyjnie składową stałą pulsującego ciśnienia $p_1(t)$, należy powoli zmieniać ciśnienie p_2 i obserwować amplitudę wahań membrany. Gdy amplituda tych wahań osiągnie maksimum, należy odczytać wartość ciśnienia p_2; wartość ta jest równa składowej stałej ciśnienia p_1, czyli $p_2 = p_1$.

Przedstawioną zasadę kompensacji ciśnień można z pewnym przybliżeniem zastosować do tętnicy, której ściana została spłaszczona przez przyłożony do niej czujnik.

Stanowisko pomiarowe

Aby sprawdzić koncepcję pomiaru, metodą oscylometryczną, średniej wartości ciśnienia krwi pneumatycz-



Rys. 6 Ilustracja zasady kompensacji ciśnień: 1 – membrana w położeniu neutralnym (nieodkształconym), 2 – membrana odkształcona

nym czujnikiem typu dotykowego, zbudowano specjalne stanowisko pomiarowe. Składa się ono z gumowej płytki 1 (rys. 7), w której wykonano rowek 2, przykryty szczelnie cienką powłoką lateksową 3. Rowek 2 wraz z powłoką 3 stanowią model fizyczny spłaszczonej tętnicy, a gumowa płytka otaczającą ją tkankę. Tętnica jest połączona z generatorem pneumatycznym 4, który wytwarza przebieg ciśnienia w kształcie typowej fali tętna krwi.

Nad tętnicą umieszczony jest czujnik 5, którego docisk do tej tętnicy można zmieniać za pomocą sprężyny 6 i nakrętek 7.

Do wstępnych badań zastosowano specjalny czujnik pulsacji 5 w postaci walca ze stożkową komorą, która z jednej strony jest zamknięta gumową membraną 8, a z drugiej – połączona poprzez dławik pneumatyczny 9, zawór trójdrożny 10 i zadajnik ciśnienia 16, ze źródłem sprężonego powietrza.

Ugięcia powłoki lateksowej 3, wywołane działaniem fali tętna krwi, są przenoszone na membranę czujnika 8, która powoduje sprężanie i rozprężanie zawartego w komorze czujnika powietrza. W wyniku tego na wyjściu czujnika pojawia się składowa zmienna Δp_t mierzona przetwornikiem pneumoelektrycznym 11. Natomiast składowa stała ciśnienia w komorze p_t jest mierzona przetwornikiem 12. Obydwa przetworniki połączone są z oscyloskopem 13.

Przebieg eksperymentu jest następujący. Do tętnicy doprowadza się ciśnienie p_1 w postaci fali tętna (rys. 8), a do komory czujnika 5 ciśnienie testujące p_t, którego wartość winna być wyższa od spodziewanej średniej wartości ciśnienia p_1 w tętnicy. Następnie, zaworem trójdrożnym 10, odcina się dopływ powietrza zasilającego, a komorę czujnika 5 łączy się z atmosferą poprzez dławik 14. W wyniku tego ciśnienie w komorze czujnika zaczyna powoli spadać, natomiast amplituda składowej zmiennej Δp_t tego ciśnienia najpierw wzrasta, a później maleje (rys. 9). Przebiegi obu tych ciśnień są rejestrowane za pomocą dwukanałowego oscyloskopu cyfrowego 13 (rys. 7). Również przebieg fali tętna p_1 może być rejestrowany przez ten oscyloskop za pośrednictwem przetwornika 15. Zadajnik ciśnienia 17 służy do zasilania generatora 4, a manometr cyfrowy 18 do wzorcowania całego układu pomiarowego.

Wyniki pomiarów i ich analiza

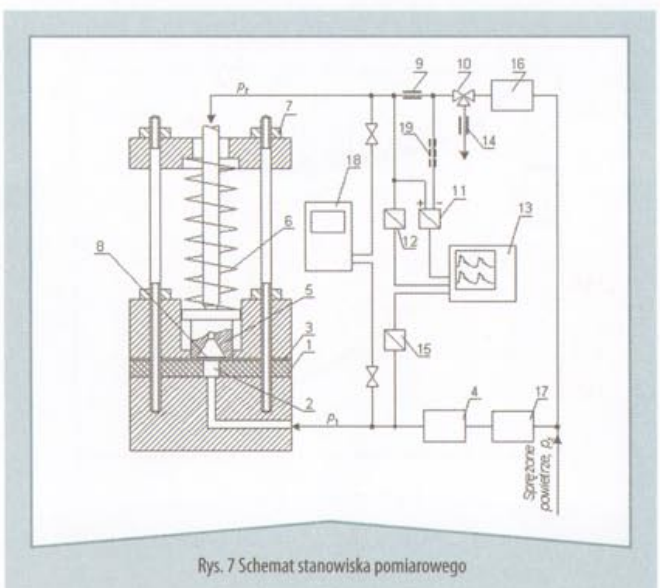
Badania na stanowisku pomiarowym. Etap I Na rys. 8 pokazano oscylogram symulowanej fali tętna krwi, oddziałującej na wnętrze sztucznej tętnicy. Ciśnienie skurczowe i rozkurczowe tej fali wynosi p_{1s} = 154,5 mbar i p_{1r} = 104,5 mbar, a średnia wartość, obliczona ze wzoru (8), jest równa $p_{1śr}$ = 121,0 mbar. Natomiast na rys. 9 zamieszczono przebieg opadającego ciśnienia p_t w komorze czujnika pulsacji (po odcięciu zasilania) oraz składową pulsującą tego ciśnienia Δp_t. Podziałka ciśnienia na rozpatrywanym oscylogramie dotyczy jedynie krzywej p_t; przebieg Δp_t takiej podziałki nie wymaga, gdyż odczytuje się jedynie moment wystąpienia maksymalnej amplitudy Δp_{tmax}, co pozwala wyznaczyć z krzywej p_t średnią wartość fali tętna krwi. Jak widać, wynosi ona = 122 mbar i jest niemal równa średniej wartości generowanej fali tętna krwi $p_{1śr}$ = 121 mbar.

Trzeba zauważyć, że ten optymistyczny wynik uzyskano za pomocą czujnika pulsacji o specjalnej konstrukcji (rys. 7).

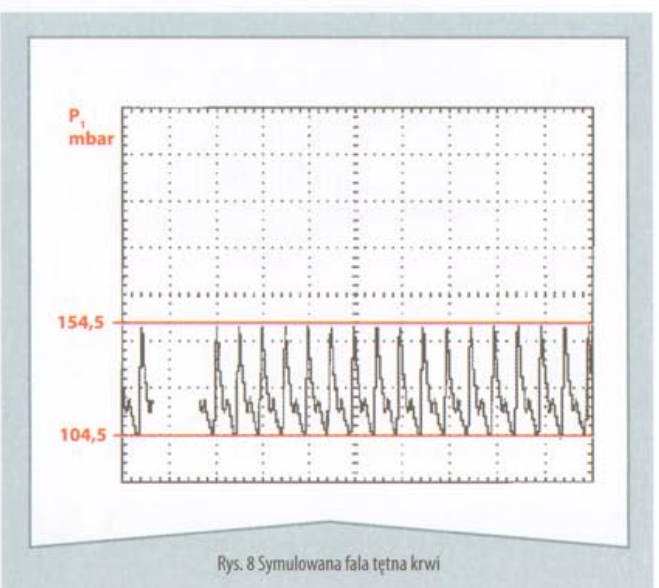
Do kolejnego eksperymentu użyto standardowego czujnika do pomiaru fali tętna krwi, w którym zaślepiono króciec odpowietrzający, a długość przewodu zasilającego (między dławikiem i komorą czujnika) wynosiła l = 21 cm, przy średnicy wewnętrznej d = 2 mm.

Na rys. 10 pokazano przebieg opadającego ciśnienia w komorze czujnika standardowego (przebieg p_t) i składową pulsującą (przebieg Δp_t). Wartość średnia symulowanej fali tętna wynosi $p_{1śr}$ = 116 mbar, a wyznaczona metodą oscylometryczną $p_{1śr}$ = 117 mbar. Również i w tym przypadku wynik jest obiecujący: błąd wynosi tu zaledwie $\Delta_{pśr}$ = 1 mbar (0,75 mm Hg).

Należy jednak zauważyć, że w przypadku czujnika standardowego uzyskuje się składową pulsującą o znacznie mniejszych amplitudach (tabela 1). Powodem tego są prawdopodobnie mniejsze, bo ograniczone przez krawędź dyszy czujnika, ruchy membrany.



Rys. 7 Schemat stanowiska pomiarowego



Rys. 8 Symulowana fala tętna krwi

Tabela 1 Średnie wartości fali tętna $p_{1śr}$ i przy różnych siłach docisku czujnika F

Typ czujnika	Siła docisku F N	$P_{1śr}$ mbar	$P'_{1śr}$ mbar	$\delta_{śr}$ mbar	Δp_{tmax} mbar	Przewód zasilający
	0,45	121	120	-1	3,4	

badań wspomniane skoki napięcia nie mają większego znaczenia: wydłużają one jedynie przebiegi przejściowe, przez co pomiar musi trwać nieco dłużej.

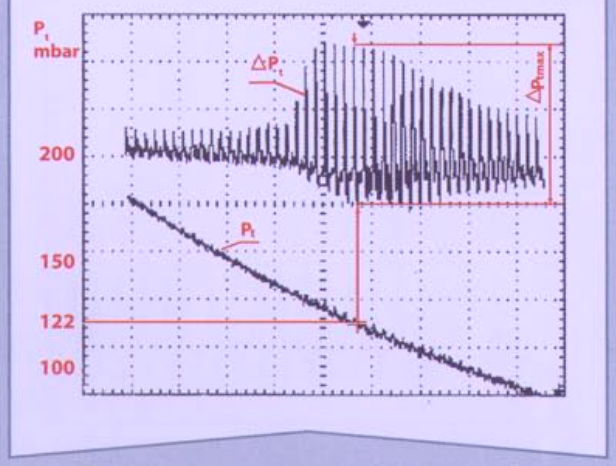
Badanie czujników – zarówno pulsacji, jak i standardowego – przeprowadzono przy różnych siłach docisku ich do tętnicy. Jak już wspomniano, docisk ten wywierano za pomocą sprężyny o znanej charakterystyce: „siła – ugięcie". W tabeli 1 zestawiono średnie wartości fali tętna $p_{1śr}$, wyznaczone ze wzoru (8) i $p_{1śr}$, zmierzone metodą oscylometryczną przy różnych siłach docisku czujnika do tętnicy F.

Jak widać, siła docisku F – zarówno czujnika pulsacji, jak i standardowego – praktycznie nie wpływa na pomiar średniej wartości fali tętna – $p_{1śr}$, a rozbieżności między wartościami $\delta_{śr} = p'_{1śr} - p_{1śr}$ są pomijalnie małe. Również maksymalne wartości amplitud Δp_{tmax} składowej oscylacyjnej ciśnienia testującego pt praktycznie nie zależą od siły docisku czujników F. Natomiast widać wyraźn[illegible] ciśnienia p_t.

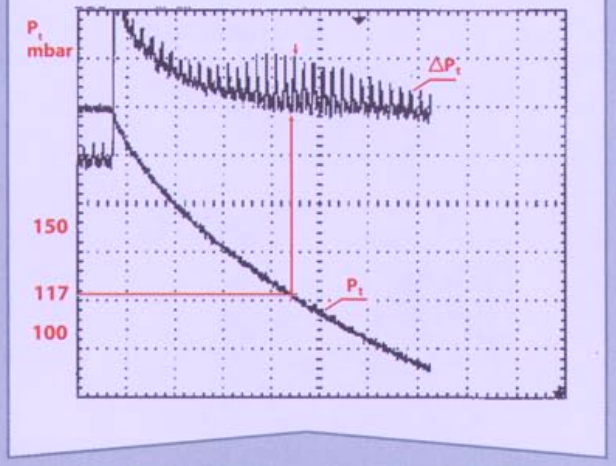
Dodanie do układu dławika 19 (rys. 7) prawie całkowi[illegible] cie zlikwidowało różniczkujące działanie przetwornik[illegible] 11 składowej zmiennej, zwłaszcza w przypadku czujnik[illegible] pulsacji (rys. 11).

Etap III

Trzeci etap badań przeprowadzono na pacjentach. Czuj[illegible] nik przykładano albo do tętnicy promieniowej w nad[illegible] garstku, albo do tętnicy łokciowej. Sygnał ciśnieniow[illegible] czujnika był przetwarzany tak jak poprzednio (zgodnie z[illegible] schematem na rysunku 7) i rejestrowany za pomocą oscy[illegible]



Rys. 9 Przebieg ciśnienia testującego pt oraz składowej pulsującej Δp_t w czujniku pulsacji, badanym na modelu fizycznym tętnicy

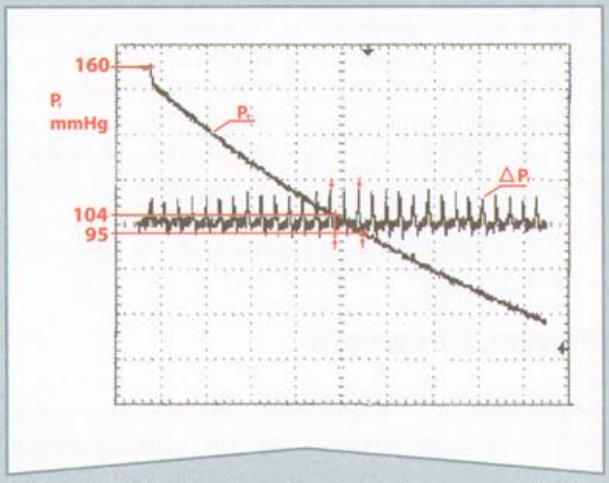


Rys. 10 Przebieg ciśnienia p_t i pulsacji Δp_t w czujniku standardowym, badanym na modelu fizycznym tętnicy

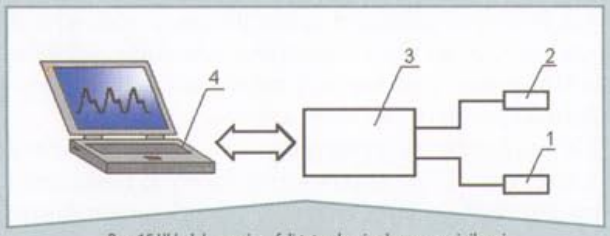
loskopu. Natomiast średnią wartość ciśnienia krwi pacjenta $p_{1śr}$ wyznaczano drogą pośrednią: najpierw mierzono ciśnienie skurczowe p_{1s} i rozkurczowe p_{1r} pacjenta, a następnie ze wzoru (8) obliczano wartość średnią $p_{1śr}$. Do tych pomiarów używano ciśnieniomierza nadgarstkowego firmy Omron typu RX.

Na rys. 13 i 14 pokazano przebiegi ciśnienia testującego p_t i jego składowej oscylacyjnej Δp_t w czujniku pulsacji, przyłożonym do tętnicy promieniowej dwóch pacjentów. W przypadku pierwszego pacjenta istnieje całk

jest ze swojej natury niestabilny, co odbija się na przebiegu składowej oscylacyjnej Δp_t, uniemożliwiając czasami wyznaczenie jej maksymalnej amplitudy. Po drugie, pojemność przewodu zasilającego jest stosunkowo duża, tłumiąc skutecznie oscylacje ciśnienia w komorze czujnika. Pozytywny skutek w stosunku do czujnika standardowego uzyskano dopiero po zlikwidowaniu przewodu odpowietrzającego i zmniejszeniu średnicy przewodu zasilającego z $d = 1{,}5$ mm na $d = 1{,}0$ mm, co zmniejszyło jego objętość



Rys. 14 Przebiegi ciśnień p_t i Δp_t w czujniku pulsacji, testowanym na pacjencie nr 2



Rys. 15 Układ do pomiaru fali tętna krwi z dwoma czujnikami

- zamykanie kanału odpowietrzającego bezpośrednio na wylocie z czujnika za pomocą samoczynnie działającej klapy lub palca operatora,
- zastosowanie uchwytu do unieruchamiania czujnika nad tętnicą [6].

Natomiast w układzie przetwarzającym (interfejsie) konieczne jest zastosowanie czulszego przetwornika składowej zmiennej Δp_t ciśnienia testującego p_t.

■

prof. dr hab. inż. Mirosław Werszko,
dr inż. Krzysztof Tomczuk, dr inż. Jacek Kosek

Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Instytut Inżynierii Lotniczej, Procesowej i Maszyn Energetycznych

dr inż. Radosław Werszko
Wydział Mechaniczny
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn

Streszczenie

Przedstawiono koncepcję bezinwazyjnego pomiaru średniej wartości ciśnienia krwi za pomocą czujnika pneumatycznego oraz wykorzystanie tego pomiaru do samoczynnego wzorcowania przyrządu, przeznaczonego do określania i rejestracji fali tętna krwi. Przytoczono wyniki badań, przeprowadzonych na modelu fizycznym tętnicy oraz na pacjentach.

Summary

Mean arterial pressure measurement by means of pneumatic sensor.
A principle of non-invasive mean arterial pressure measurement by means of pneumatic sensor and application of this measurement for a self-calibration of device for an arterial blood pressure waveform measurement and recording are described. Results of laboratory investigation on artificial artery and on patients are given as well.

Literatura

[1] **Werszko M., Jędrusyna A., Tomczuk K.:** *Przyrząd do bezinwazyjnego pomiaru fali tętna krwi.* VII Sympozjum pt. Modelowanie i pomiary w medycynie. Krynica 2005, str. 107-110.

[2] **O'Brien E. i inni:** *Working Group on Blood Pressure Monitoring of the European Society of Hypertension International Protocol for validation of blood pressure measuring devices in adults.* Blood Pressure Monitoring"7/2002, s. 3-17.

[3] **Kosek J.:** *Przyrząd do bezinwazyjnego pomiaru fali tętna krwi.* Praca doktorska. Instytut Techniki Cieplnej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej, 2008.

[4] **Taylor J. R.:** *Wstęp do analizy błędu pomiarowego.* PWN-Warszawa, 1999.

[5] **Werszko M., Werszko R.:** *Zasada kompensacji ciśnień w pomiarach medycznych.* IV Sympozjum pt. Modelowanie i Pomiary w medycynie. Krynica 2002, s. 227-234.

[6] **Werszko M., Tomczuk K., Werszko R.:** *Nowe konstrukcje pneumatycznego czujnika ciśnienia krwi.* Pomiary Automatyka Kontrola nr 5 bis, 2006, s. 73-76.

[7] **Werszko M., Werszko R.:** *Pneumatyka w pomiarach ciśnienia krwi.* Pneumatyka 3/34/2002.

Andrzej Araszkiewicz

Rozpoczynamy nowy cykl artykułów Ludzie i pneumatyka, odnoszący się do historii związanej z wykorzystaniem powietrza w technice.

Ludzie i sprężarki łopatkowe

Proponujemy naszym PT Czytelnikom, aby prezentowali ludzi, którzy byli prekursorami wykorzystania w różny sposób powietrza w technice, tworzyli firmy produkujące sprężarki lub inne elementy pneumatyczne, byli twórcami patentów lub opracowywali naukowe podstawy pneumatyki, wreszcie byli pracownikami naukowymi, wyznaczającymi nowe kierunki studiów związane z aplikacjami pneumatyki w automatyce czy mechatronice. Warto znać historię tej interesującej dziedziny wiedzy, a szczególnie ludzi, którzy ją tworzyli. Na wielu spotkaniach przedstawiciele firm prezentują sylwetki ich założycieli i wynalazców z nimi związanych. Wymieńmy tu choćby dwie takie osoby: pana Artura L. Parkera, założyciela firmy Parker, i pana dr. Kurta Stolla – właściciela firmy Festo.

Redakcja

Prekursorzy sprężarek łopatkowych

Niemiecki inżynier Karl Wittig od 1885 roku był właścicielem fabryki wyrobów metalowych. Jego przygoda ze sprężarkami rozpoczęła się w roku 1908, gdy opatentował wietrzak

e-mail: dindorf@tu.kielce.pl

kładach przemysłowych powinni do oszczędności i racjonalizacji zużycia różnych

dążyć

Literatura

ndorf R.: *Energooszczędne sterowanie układami pneumatycznymi*. Pneumatyka, nr 2, 2007.

ndorf R.: *Próba szczelności elementów pneumatycznych*. Pneumatyka, nr 4, 2007.

ndorf R.: *System sprężonego powietrza w elektrofiltrach i instalacji usuwania suchego popiołu*. Napędy i Sterowanie, 1, 2008. Portal internetowy WNP – Wirtualny Nowy Przemysł.

ndorf R., Łaski P., Takosoglu J.: *Pomiar przecieków powietrza w instalacji pneumatycznej przy wykorzystaniu dysz orcowych*. Pneumatyka, nr 2, 2008.

Keulenaer H. a. al.: *The European Motor Challende Programme*. European Copper Institute (ECI), Brussels, Belm.

Keulenaer H. a. al.: *Energy Efficient Motor Driven Systems*. European Copper Institute (ECI), Brussels 2004, Belm.

Keulenaer H. a. al.: *Compressed Air Systems Module*. The European Motor Challende Programme. European Comssion, Directorate-General Energy and Transport. Brussels, 2003, Belgium.

ergy efficient compressed air systems. GPG385. Carbon Trust GmbH. Stuttgart 2002.

dgen P., Blaustein E.: *Compressed Air Systems in the European Union*. LOG_X Verlag GmbH, Stuttgart 2001.

Fot. 3 Jakob (Giacomo) Hilfiker

– topline. Specjalizuje się w najtrudniejszej dziedzinie sprężania gazów petrochemicznych: biogazu i metanu. Doskonały inżynier, cierpliwy nauczyciel. Spokojny, perfekcyjnie zorganizowany, skuteczny.

Głównym konstruktorem pionowych sprężarek łopatkowych Gnutti jest Włoch Franco Cirelli. Wizjoner, wulkan pomysłów. Twórca wielu patentów zastosowanych w sprężarkach, prekursor pionowych maszyn Gnutti. Nieuznający komputerowego wspomagania projektowania: wszystkie projekty wykonuje własnoręcznie, metodą tradycyjną. Są to małe techniczne arcydzieła – zarówno w treści, jak i w formie. Swoją wi[illegible]

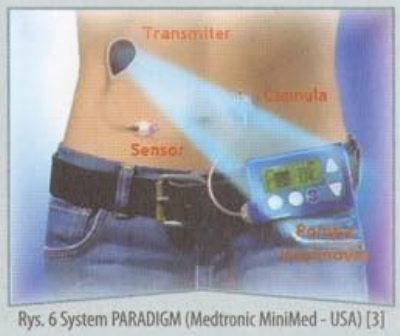
wych łopatek. Z mocy 18,5 kW uzyskano strumień 2,6 m^3/min sprężonego powietrza o ciśnieniu 8 barów.

Podobne rozwiązanie konstrukcyjne, dodatkowo z proporcjonalnym sterowaniem wlotowego zaworu dławiącego, zasysane powietrzem, opatentowane zostało w Anglii na przełomie 1948/49 r. przez firma Bing-Bullows, późniejszą Hydrovane. Tu zastosowano już tylko 8 masywnych, żeliwnych łopatek. Patent ten zakupili między innymi włoska firma Mattei SpA i hiszpańska Puska Pneumatic SA.

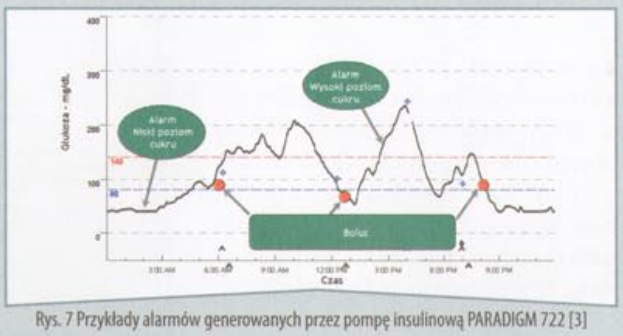
W 1964 roku, poszukując ideal-

Przełom lat 70. i 80. zaowocował opracowaniem i wdrożeniem pionowej konstrukcji zespołu sprężającego. Takie maszyny zaczęły produkować firmy: kanadyjsko-włoska Gnutti, niemiecka Wittig i włoska Pneumofore. Do rodziny pionowych sprężarek łopatkowych dołączyła w XXI wieku angielska firma Hydrovane. Wittig wprowadził w tym czasie do przemysłu sprężarki z regulowanymi obrotami (z przemiennikiem częstotliwości).

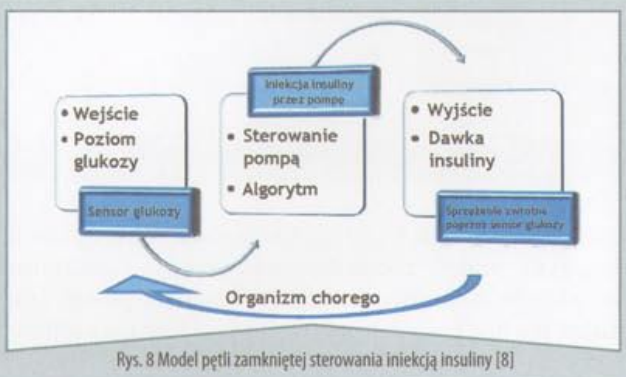
Na początku 1999 roku dwie firmy – Hydrovane i Mattei wprowadziły do swojej oferty konstrukcje dwubiegowe. Miała to być alternatywa dla coraz powszechniej stosowanej



Rys. 6 System PARADIGM (Medtronic MiniMed - USA) [3]



Rys. 7 Przykłady alarmów generowanych przez pompę insulinową PARADIGM 722 [3]



Rys. 8 Model pętli zamkniętej sterowania iniekcją insuliny [8]

System PARADIGM tworzy pompa insulinowa MiniMed 722, współpracująca z transmiterem i sensorem monitorującym w czasie rzeczywistym poziom glukozy we krwi osoby cho

ale dostępne są także wykresy poziomów glukozy z ostatnich 3 albo 24 godzin. Doskonale pokazują one wpływ jedzenia, wysiłku fizycznego, insuliny czy leków podczas choroby na kontrolę glikemii i pomagają w ewentualnych korektach terapii.

Możliwość monitorowania glikemii w czasie rzeczywistym pozwala na generowanie przez pompę insulinową różnych alarmów (dźwiękowy, wibracyjny) pojawiających się, gdy poziom glukozy wykracza poza ustawiony przez użytkownika zakres. Alarmy mogą być ustawione tak, aby odpowiadały indywidualnej wrażliwości progów, pasując do unikalnych potrzeb pacjenta.

Jednym z podstawowych celów w terapii osoby chorej na cukrzycę jest pełna automatyzacja dawkowania insuliny. Pomimo wielu sukcesów w leczeniu cukrzycy, pętla zamknięta, łącząca ciągły pomiar glikemii ze stałym wlewem insuliny (w celu utrzymania poziomu glukozy na ustalonym poziomie) jest niedostępna ze względu na brak jednorodnego i efektywnego algorytmu dawkowania insuliny, możliwego do wprowadzenia u każdego chorego.

Prace prowadzone są równolegle nad dwoma modelami

sensor (elektroda enzymatyczna) jest
ch brzucha i realizuje pomiar aktual-
ozy w płynie śródtkankowym. Infor-
jest do transmitera, skąd bezprzewo-
ą – 900 MHz) dane przesyłane są do
u pacjent ma zapewniony pełen kom-
ompy. Dzięki komunikacji radiowej
mogą pozostać rozdzielone i nie mu-
e sobą kablem (zasięg – 2 m), co po-
ą elastyczność pracy. Elektroda jak
ania insuliny (kaniula) są ciałami ob-
człowieka, dlatego też – w celu zapo-
iej reakcji systemu immunologiczne-
wymieniane co 60-80 godzin. Pomiar
poziomu glukozy jest realizowany na
bieżąco, zaś odczyty wyświe-
tlane są co 5 minut na ekra-
nie LCD pompy insulino-
wej.

Na ekranie pojawia się 288 odczytów z aktualnym poziomem glukozy dziennie, w milimolach (miligramach). Na ekranie widoczny jest nie tylko aktualny poziom glukozy,

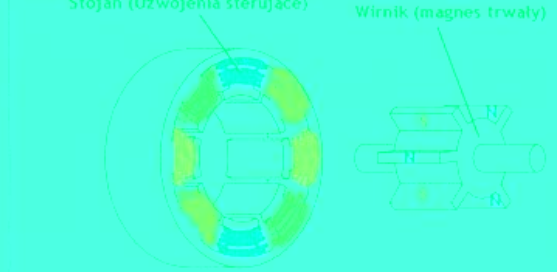
pętli zamkniętej:

- zewnętrzny system łączący ciągły pomiar glikemii z zewnętrzną pompą insulinową;
- wewnętrzny system pomiaru, w którym endokawitarny sensor glikemii jest synchronizowany z implantowaną pompą insulinową.

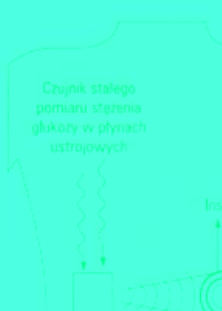
System PARADIGM z pompą insulinową MiniMed 722, pomimo możliwości pomiaru glikemii w czasie rzeczywistym, pracuje w systemie pętli otwartej, tzn. urządzenie nie jest w stanie automatycznie decydować o podawaniu i dawkowaniu insuliny, a jedynie alarmuje o przekroczeniu ustalonych wcześniej progów stężenia glukozy. Ostateczna decyzja o podaniu insuliny pozostawiana jest jednak osobie chorej.

Silnik wchodzący w skład zespołu napędowego, umożliwiającego sterowanie dozowaniem insuliny zgodnie z ustalonym programem, jest hybrydowym silnikiem kro-

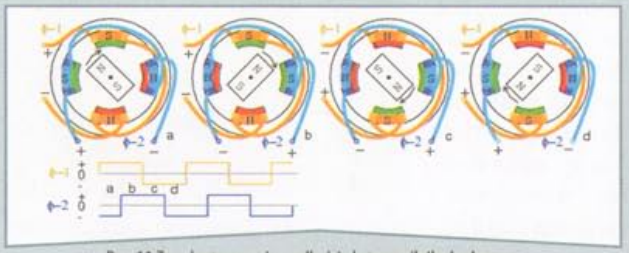
mocowany w okoli
nego poziomu glu
macja ta przesyłan
dowo (drogą radio
pompy, dzięki czem
fort użytkowania
transmiter i pomp
szą być połączone
zwala na prawdziw
i wkłucie do podaw
cym dla organizm
bieżenia niepożąda
go – powinny być



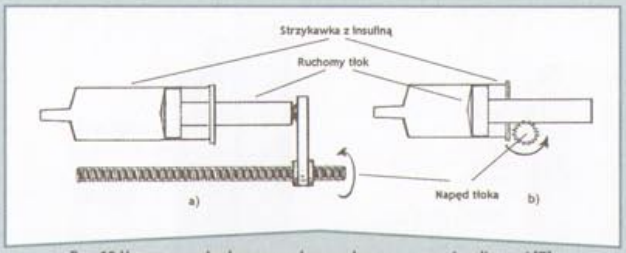
Rys. 10 Budowa wewnętrzna hybrydowego silnika krokowego



Rys. 9 Model pętli zamkniętej. Endokawitalny czujnik glikemii jest synchronizowany z implantowaną pompą



Rys. 11 Zasada sterowania prędkością kątową silnika krokowego http://www.stepperworld.com/Tutorials/model.gif



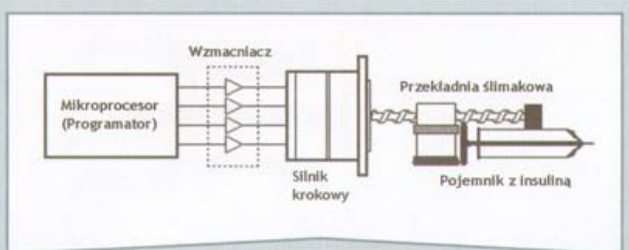
Rys. 12 Uproszczona budowa zespołu napędowego pompy insulinowej [7]: a) wersja rozwojowa (lata 90. XX w.), b) wersja współczesna

kowym. Silnik krokowy należy do grupy silników elektrycznych przekształcających ciąg sterujących impulsów elektrycznych na proporcjonalny ciąg przesunięć kątowych jego wirnika (sterowanie dyskretne).

Kąt obrotu wału silnika przy wymuszeniu pojedynczym impulsem sterującym (jednostkowy kąt obrotu) jest charakterystyczny i stały dla danego typu silnika i zależy głównie od jego parametrów konstrukcyjnych (liczba biegunów wzbudzenia, liczba biegunów wirnika). W przerwach pomiędzy kolejnymi impulsami sterującymi wirnik silnika krokowego zachowuje ostatnio osiągnięte położenie równowagi. Przesunięcie kątowe wirnika jest proporcjonalne do liczby impulsów sterujących, zaś prędkość kątowa wirnika jest dokładnie równa częstotliwości impulsów sterujących pomnożonej przez wartość kąta obrotu wirnika przy wymuszeniu pojedynczym impulsem.

Do zasadniczych zalet silnika krokowego można zaliczyć:

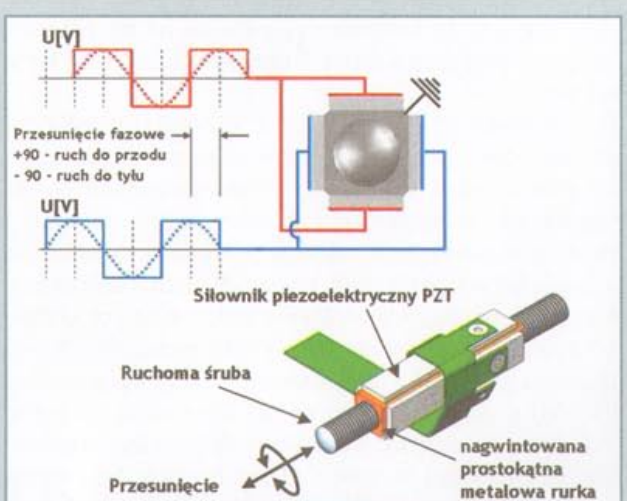
- kąt obrotu silnika jest proporcjonalny do ilości impulsów sterujących;
- silnik pracuje z pełnym momentem w stanie spoczynku ($I_{UZW}>0$);
- precyzyjne pozycjonowanie i powtarzalność ruchu (dokładność ok. 3-5% jednostkowego kroku i brak sumowania błędów z kroku na krok);
- możliwość bardzo szybkiego rozbiegu, hamowania i zmiany kierunku obrotu;
- niezawodność – ze względu na brak szczotek i komutatora; żywotność silnika zależy zatem tylko od żywotności łożysk;
- możliwość osiągnięcia bardzo niskich prędkości synchronicznych obrotów z obciążeniem umocowanym bezpośrednio do wału silnika;
- szeroki zakres zmian prędkości obrotowych, realizowany dzięki temu, że prędkość obrotowa jest proporcjonalna do częstotliwości impulsów sterujących.



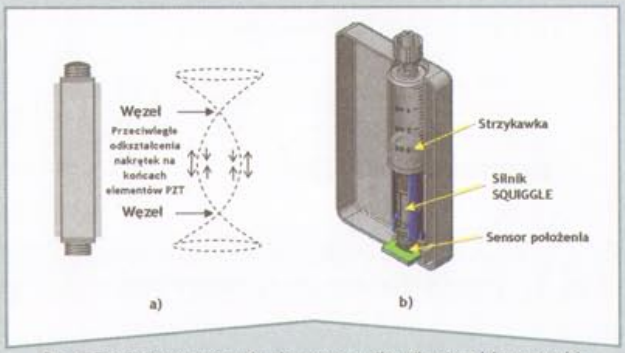
Rys. 13 Sterowanie silnikiem krokowym przez mikroprocesor pompy insulinowej [7]

Jedną z najbardziej znaczących zalet silnika krokowego jest możliwość dokładnego sterowania w pętli otwartej. Praca w pętli otwartej oznacza, że nie jest wymagane sprzężenie zwrotne – informacja o położeniu elementu wykonawczego. Eliminuje się tym samym potrzebę stosowania kosztownych i złożonych przetworników pomiarowych, sygnalizujących aktualne położenie tłoka w pojemniku z insuliną. Aktualna pozycja tłoka, jak i informacja o pozostałej ilości dawek insuliny, określana jest poprzez sumowanie impulsów sterujących silnik krokowy od początku ruchu tłoka w „pełnym" pojemniku z insuliną. Ruch skokowy wirnika silnika krokowego jest przetwarzany przez zespół napędowy (zespół przekładni zębatych i śrubowych) na jednokierunkowy ruch posuwisty trzonu napędzającego tłok w pojemniku z insuliną.

Budowa wewnętrzna silnika (jednostkowy kąt obrotu) warunkuje wartość minimalnej dawki możliwej do dozowania przez pompę insulinową. Wraz ze wzrostem liczby biegunów wirnika zmniejsza się jednostkowy kąt obrotu, a co za tym idzie wartość minimalnej dawki insuliny. Silnik hybrydowy jest odmianą silnika krokowego z gwiaździstym magnesem trwałym jako wirnikiem. Zastosowanie magnesu gwiaździstego pozwala na wzrost dokładności i zmniejszenie wartości jednostkowego kąta obrotu 0,90-3,60 (w porównaniu do 7,50-150 dla konwencjonalnego silnika krokowego), co pozwala na uzyskanie 100-400 kroków dla jednego pełnego obrotu wału wirnika.



Rys. 14 Budowa i przebiegi sygnałów sterujących silnika SQUIGGLE [11]



Rys. 15 Zasada generowania ruchu obrotowego w siłowniku piezoelektrycznym (a); wykorzystanie silnika SQUIGGLE do napędu strzykawki w pompie insulinowej (b) [11]

Jednym z liderów produkujących silniki skokowe dla zastosowań medycznych jest firma Portescap (Niemcy), ze swoją serią hybrydowych silników krokowych 22 BHL stosowanych w kilku modelach europejskich pomp insulinowych. Silnik krokowy jest wykonany w obudowie o średnicy 22 mm, posiada wirnik wykonany z magnesu neodymowego (jedna para biegunów) i umieszczony wewnątrz cylindrycznej obudowy z laminowanej stali, zawierającej uzwojenia sterujące. Konstrukcja silnika pozwala na uzyskanie dużego momentu obrotowego, ograniczenia strat pola magnetycznego oraz uzyskanie obrotów dochodzących do 40 000 obr/min.

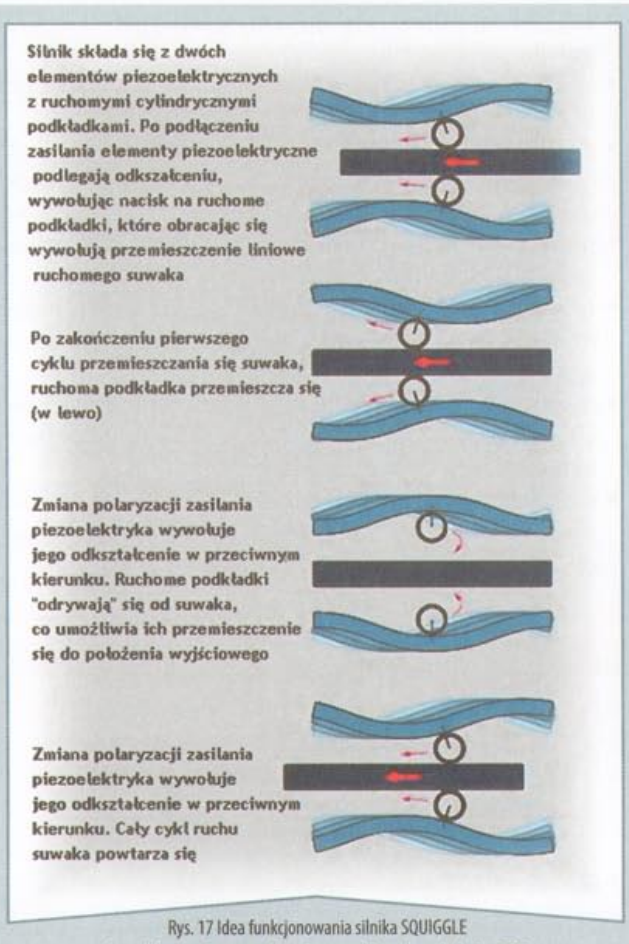
W 2007 r. firma New Scale Technologies (USA) zaprezentowała nowy typ silnika krokowego, wykorzystującego siłowniki piezoelektryczne **PZT** (ołów – **P**b, cynk – **Z**n, tytan – **T**i) do generowania przesunięcia liniowego elementu wykonawczego. Pomysł wykorzystania materiałów piezoelektrycznych sterowanych sygnałami o częstotliwościach w zakresie ultradźwięków do generowania ruchu obrotowego (liniowego) narodził się w 1948 r. w projekcie dwóch amerykańskich naukowców: W. Williama i W. J. Browna („Piezoelectric Motor" – US Patent 2439499).

Piezoelektryczny silnik liniowy SQUIGGLE wykorzystuje ultradźwiękową falę stojącą generowaną przez elementy piezoelektryczne w nagwintowanej nakrętce – w celu uzyskania przemieszczenia kątowego śruby (element wykonawczy). Metoda ta wykorzystuje unikalną technologię „zawijania" odkształcenia drgającej nakrętki wokół nagwintowanej śruby, co pozwala na bezpośrednie uzyskanie przemieszczenia liniowego elementu wykonawczego.

Prototypowy silnik SQUIGGLE zbudowany jest z czterech elementów piezoelektrycznych, mocowanych na płaskiej powierzchni obudowy i rozmieszczonych co 900. Przeciwległe elementy piezoelektryczne połączone są elektrycznie równolegle, tak że w przypadku doprowadzenia zasilania odkształceniu podlegają jednocześnie przeciwległe elementy. Odkształcenia przeciwległych elementów (dopasowanych w celu uzyskania jednakowych przemieszczeń przy tej samej częstotliwości) są jednakowe (efekt fali rozchodzącej się wzdłuż siłownika), co prowadzi do obrotu nakrętki. Największe odkształcenia uzyskuje się dla pierwszej harmonicznej częstotliwości rezonansowej metalowej rurki. Elementy piezoelektryczne zastosowane w silniku SQUIGGLE mają grubość 1 mm – umożliwia to, przy doprowadzeniu pełnej wartości napięcia sterującego, uzyskanie odkształceń nieprzekraczających 0,1%, co daje zmiany wymiarów liniowych na poziomie 1 μm. Eksperymentalny silnik zasilany jest napięciem prostokątnym o parametrach (UPP = 40 V, f = 144 kHz), pozwalając na uzyskanie prędkości przesuwu suwaka dochodzącej do 15 mm/s przy nacisku suwaka 10 g, rozdzielczości 0,5 μm i poborze mocy nieprzekraczającej 400 mW.

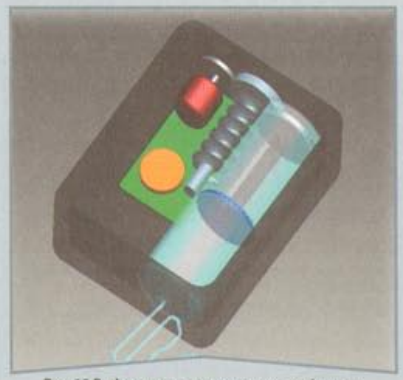
Rys. 16 Silnik SQUIGGLE na czubku palca (1,55 x 1,55 x 6 mm) http://www.micromanufacturing.com /showthread.php?t=517

Współczesne zewnętrzne pompy insulinowe posiadają wymienne pojemniki z insuliną o pojemności 3 ml (4 ml), co odpowiada 300 j (400 j) – jednostkowym dawkom insuliny. Ciągła podskórna iniekcja insuliny (CSII) polega na iniekcji do organizmu chorego ściśle określonych dawek insuliny, w określonych odstępach czasu. Współczesne zewnętrzne pompy insulinowe mają możliwość dowolnego zaprogramowania wielkości podstawowej dawki insuliny (Baza) w przedziale od 0,05 j do 32 j/h (Dana Diabecare) ze skokiem 0,05 j, w odstępach czasu od 1 do 25 minut.



Rys. 17 Idea funkcjonowania silnika SQUIGGLE http://www.micromanufacturing.com/showthread.php?t=517

Standardowe ustawienia zewnętrznych pomp insulinowych pozwalają na iniekcje insuliny co 3 minuty w ilości 0,3-1,2 j/h. Wielkości dodatkowej dawki insuliny (Bolus) oraz czas iniekcji, dostarczanej do organizmu chorego w porach przyjmowania posiłków, mogą być dowolnie programowane w przedziale od 0,05 j do 87 j (Dana Diabecare II) z czasem iniekcji programowanym w przedziale od 3 do 300 sekund (Cozmo).



Rys. 18 Budowa wewnętrzna zewnętrznej pompy insulinowej [10]

Pompy insulinowe posiadają szereg funkcji dodatkowych, poprawiających komfort oraz bezpieczeństwo użytkowania. Sygnalizacja opróżnienia pojemnika z insuliną (<20 j), sygnalizacja rozładowania ogniw zasilających pompę, funkcja Timer przypominająca o porach dostarczania dodatkowej porcji insuliny (Bolus), sygnalizacja zaprogramowanych indywidualnie dla użytkownika pompy progów: dolnego (hipoglikemia) lub górnego (hiperglikemia) we współpracy z sensorem glikemii, czasowa zmiana bazy, pozwalająca na bieżącą adaptację, np. w czasie wysiłku fizycznego lub choroby oraz funkcja „prime", niezbędna do uzupełniania insuliną martwej przestrzeni drenu – to tylko nieliczne i najważniejsze z funkcji dodatkowych pompy insulinowej.

Ogniwa zasilające pompę insulinową (od 3 do 6 V – baterie alkaiczne, akumulatory) zapewniają ciągłą, nieprzerwaną pracę pompy od 2 do 12 tygodni (Dana Diabecare II).

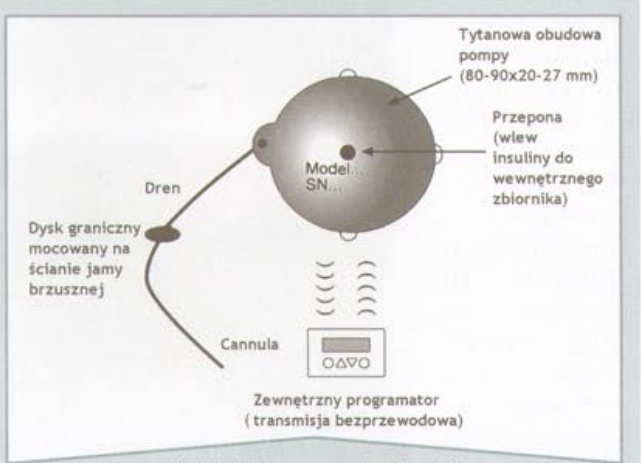
Implantowana pompa insulinowa

Implantowana pompa insulinowa (wszczepialna pompa insulinowa – ang. *IIP – Implantable Insulin Pump*) jest urządzeniem wszczepianym pod skórę nad mięśniem prostym brzucha, przeznaczonym do podawania insuliny do przestrzeni otrzewnowej (krążenie wrotne) lub dożylnie. Canulle wszczepiane do jamy otrzewnowej cechują się większą trwałością i mniejszą częstością powikłań niż canulle dożylne. Prace doświadczalne nad tą kategorią pomp insulinowych trwają od 1969 r. (Infusaid), a ich rozwój związany był początkowo z programem „International Study Group on Implantable Insulin – Delivery Devices", realizowanym przez Maryland Medical Research Institute w Baltimore (USA).

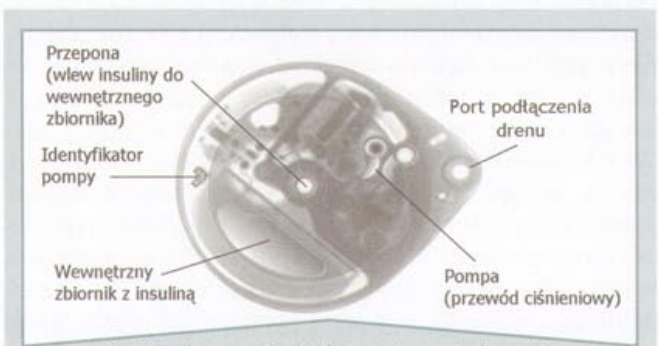
Typowa implantowana pompa insulinowa zbudowana jest z hermetycznej obudowy, wewnątrz której znajdują się: mikroprocesor z elementami towarzyszącymi – sterownik pracy pompy, system transmisji bezprzewodowej, wewnętrzny zbiornik na insulinę, pompa rolkowa, port podłączenia drenu, baterie. Szybkość iniekcji insuliny może być regulowana bezprzewodowo (zakres RF 2,4 GHz) za pośrednictwem zewnętrznego programatora-terminalu wielkości iPod'a, umożliwiającego programowanie pracy pompy jak i odbiór oraz rejestrację sygnałów telemetrycznych przesyłanych z pompy, informujących o stanie pracy pompy (pozostałość insuliny, stan naładowania ogniw zasilających, stany niesprawności etc.) Zewnętrzny terminal umożliwia dowolne programowanie i przesyłanie drogą radiową zaprogramowanych ustawień do pompy dotyczących parametrów iniekcji dawki podstawowej – ciągłego podskórnego wlewu insuliny (*BAZA*) oraz dawki wspomagającej w czasie przyjmowania posiłków (*BOLUS*). Wewnętrzny zbiornik insuliny, z racji miejsca montażu pompy, posiada większą pojemność (standardowo 15 ml) w porównaniu z pompami zewnętrznymi (3-4 ml), a występująca w nich insulina jest w znacznie większym stężeniu (400 j w 1 ml – Genapol), co powoduje, że zapas insuliny wystarcza na okres od 6 do 12 tygodni ciągłej pracy pompy (w zależności od indywidualnego zapotrzebowania chorego).

Pompa tłocząca insulinę ze zbiornika do drenu i organizmu chorego jest pompą rolkową napędzaną przez silnik krokowy prądu stałego. Pompa rolkowa, zwana także pompą przewodową, jest typem samozasysającej obrotowej pompy wyporowej. W pompie przewodowej ciecz przepychana jest przez elastyczny przewód za pomocą karbowanego paska, karbowanego wałka lub rolek toczących się po przewodzie.

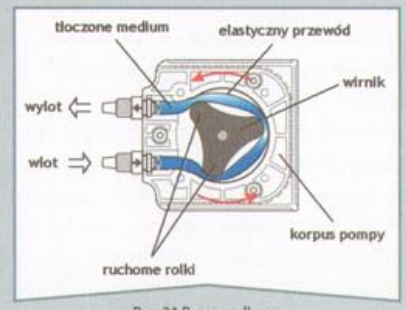
Trójrolkowy wirnik, obracając się, powoduje przetaczanie się rolek po elastycznym przewodzie ułożonym w korpusie pompy, przetłaczając objętość cieczy zamkniętej pomiędzy dwiema rolkami. Umieszczone w wirniku rolki obracają się wokół własnej osi, naciskają na elastyczny przewód i zmniejszają jego średnicę, powodując tym sa-



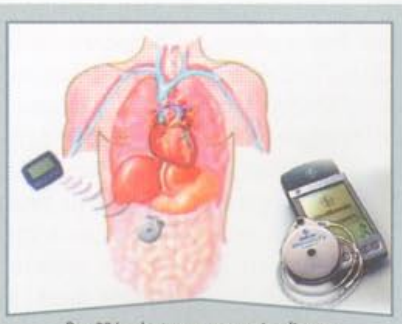
Rys. 19 Implantowana pompa insulinowa [9]



Rys. 20 Budowa wewnętrzna implantowanej pompy insulinowej [9]



Rys. 21 Pompa rolkowa
http://www.cirtec.com/bv3.jpg



Rys. 22 Implantowane pompy insulinowe firmy Medtronic MiniMed (USA) [2]: model 2007B (z lewej), Synchromed II (z prawej)

mym przetłaczanie cieczy w kierunku zgodnym z kierunkiem obrotu wirnika. Elastyczny przewód po przemieszczeniu się rolki powraca do wymiarów wyjściowych (wzrost objętości), wytwarzając podciśnienie na stronie ssącej (wlot) – efektem tego jest zassanie nowej porcji cieczy ze zbiornika. Objętość cieczy przetłaczanej jest proporcjonalna do średnicy przewodu i geometrii wirnika, zaś przepływ do objętości cieczy i prędkości obrotowej wirnika.

Pompy przewodowe charakteryzują się doskonałą szczelnością, a przepompowywana ciecz nie ma kontaktu z elementami składowymi pompy. Symetryczna konstrukcja pompy pozwala na zmianę kierunku pompowania poprzez zmianę kierunku obrotów silnika, co powoduje, że charakterystyki pracy pompy i wydajność są identyczne dla obu kierunków tłoczenia.

Zastosowanie silnika krokowego do napędu pompy oraz odpowiednia geometria wirnika pozwalają – przy wymuszeniu pojedynczym impulsem sterującym – na osiągnięcie założonej minimalnej dawki insuliny dostarczonej do organizmu chorego. Sygnały telemetryczne, przesyłane z pompy do terminalu, informują użytkownika o stanie pracy i sprawności poszczególnych podzespołów pompy (np. opróżnienie zbiornika z insuliną, rozładowanie ogniw zasilających etc.) Ponowne uzupełnienie zbiornika z insuliną powinno być przeprowadzane w warunkach ambulatoryjnych i polega na opróżnieniu wewnętrznego zbiornika pompy z pozostałej ilości insuliny (poprzez wkłucie przez skórę chorego i przeponę pompy) oraz napełnienie zbiornika „świeżą" porcją insuliny. Cała procedura wymiany insuliny nie przekracza 15 minut. Zasilanie pompy jest zapewnione przez wewnętrzne ogniwa litowe (w pierwszych wersjach – ogniwa rtęciowe), zapewniające ciągłe zasilanie pompy przez okres do 8 lat. Współcześnie dostępne implantowane pompy insulinowe pracują w pętli otwartej. Obecnie najdłużej działająca pompa z implantowanym drenem wprowadzonym do jamy otrzewnowej działa od ponad 10 lat. Pompy pracujące w pętli zamkniętej – połączone z sensorem glikemii, modulującym w ten sposób pracę pompy – nie wyszły poza modele doświadczalne. Czujniki stężenia glukozy, implantowane do naczyń, charakteryzują się krótszą trwałością (od 6 do 12 miesięcy) w stosunku do trwałości pompy (8-10 lat). Tolerancja pomp wszczepialnych ciągle nie jest wystarczająca, a do najczęstszych problemów związanych ze stosowaniem pomp należą: zatkanie drenu, odczyny wokół miejsca implantacji oraz uszkodzenia mechaniczne. Aby implantowane pompy insulinowe mogły być szeroko stosowane u ludzi, powinny być budowane z biokompatybilnych materiałów, a podawanie insuliny musi charakteryzować duża stabilność. Implantowane pompy insulinowe w odniesieniu do zewnętrznych pomp insulinowych posiadają szereg zalet i wad.

Zalety:

- skuteczniejsza absorpcja insuliny w przypadku pompy implantowanej, iniekcja insuliny do głębszych warstw mięśni brzucha niż w przypadku iniekcji bezpośrednio pod skórę, brak wielokrotnych, codziennych, bolesnych iniekcji insuliny;
- większy komfort używania pompy insulinowej przez chorego, ograniczenie bólu przy wymianie kaniuli (wkłucia), sterowanie pracą pompy za pośrednictwem sterownika przypominającego pilota zdalnego sterowania przyczynia się do poprawy jakości życia chorego;
- iniekcja insuliny za pośrednictwem pompy implantowanej zapewnia profil stężenia insuliny bardziej zbliżony do profilu zdrowego człowieka niż w przypadku insuliny podawanej podskórnie.

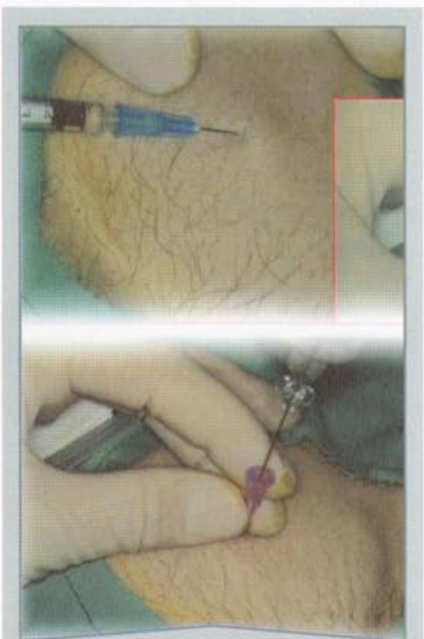
Wady:

- koszt terapii wykorzystującej implantowaną pompę insulinową jest kilkukrotnie większy niż w przypadku pompy zewnętrznej (MiniMed Model 2007 – ok. 10 000 dolarów USA);
- utrudniona diagnostyka pompy, niedrożność elementów pompy i drenu, awaria pompy etc. – wymagające interwencji chirurgicznej.

Podsumowanie

Porównując leczenie pompą insulinową i zastrzykami z insuliną, można w kilku punktach ująć podstawowe różnice między tymi dwiema metodami intensywnego leczenia cukrzycy:

- poprzez stosowanie pompy insulinowej łatwiejsze staje się utrzymywanie prawidłowego stężenia cukru we krwi;



Rys. 23 Uzupełnianie insuliny w implantowanej pompie insulinowej [2]

- dokładność dozowania insuliny za pośrednictwem pompy jest co najmniej jeden rząd wielkości lepsza (j_{MIN} = 0,05 j) niż w przypadku strzykawki z insuliną ($j_{MIN} \leq 1$ j);
- dzięki zastosowaniu pompy insulinowej zmniejsza się ryzyko ciężkich hipoglikemii (ograniczenie ilości insuliny w tkance podskórnej);
- pompa znosi wielokrotne zastrzyki – zamiast kilku/kilkunastu dziennie ciągły wlew insuliny CSII;
- stosując pompę, można dostarczyć insulinę w czasie posiłków (dowolne są pory posiłków oraz ich wielkość) na wiele sposobów, tak aby nawet po torcie urodzinowym cukier we krwi nie przekraczał założonej normy;
- pompa rejestruje każdą dostarczoną ilość insuliny, a w przypadku braku odpowiedniej dawki sygnalizuje ten fakt alarmem dźwiękowym. Pomyłka przy programowaniu dawki insuliny posiłkowej nie stwarza zagrożenia dla zdrowia chorego – można wstrzymać iniekcję insuliny, zatrzymując pracy pompy.

W modelu wielokrotnych wstrzyknięć nie zawsze jest wiadomo, jaka część insuliny zużywana jest na pokrycie zapotrzebowania podstawowego, a jaka na spożyte pokarmy. Podczas stosowania pompy insulinowej obie te części są jasno od siebie oddzielone. Terapia za pomocą pompy insulinowej pozwala na ustawienie przepływu podstawowego (bazowego), tak by był podawany stale przez cały dzień oraz noc, zapewniając organizmowi prawidłowe funkcjonowanie.

Ponadto w pompie insulinowej stosowana jest wyłącznie insulina szybkodziałająca. Chory nie musi już przestrzegać sztywnego schematu iniekcji insuliny (strzykawki – insulina długodziałająca), który narzuca mu określone pory posiłków oraz pory przyjmowania dodatkowych dawek insuliny (bolusy). Insulina wymagana w porach posiłków jest dodatkowo podawana za pomocą pompy przez naciśnięcie odpowiedniego przycisku.

Wraz z postępem cywilizacji lista tzw. chorób przewlekłych stale się wydłuża. Coraz częściej lekarze zaczynają również zwracać uwagę na to, że dla pacjenta ważna jest nie tylko długość życia, ale i jego jakość. Obecnie około 400 000 ludzi na całym świecie leczonych jest pompą insulinową. Mogą się oni cieszyć większą swobodą i elastycznością w codziennym życiu oraz mają lepszą kontrolę metabolizmu. Pompa insulinowa w ciągu ostatnich kilkunastu lat przebyła długą drogę rozwoju: od urządzeń wielkości plecaka noszonego na plecach, poprzez współczesne zewnętrzne pompy wielkości pagera, które chorzy mogą nosić na pasie, po nanopompy o wadze kilkudziesięciu gramów, przyklejone bezpośrednio do ciała chorego.

Leczenie cukrzycy z wykorzystaniem pompy insulinowej może być stosowane u każdego chorego akceptującego taką formę leczenia, ale w Polsce – z uwagi na koszt takiego leczenia – refundacja obejmuje jedynie dzieci i kobiety w ciąży. W Polsce koszt leczenia pompą insulinową jest nadal bardzo wysoki, co częściowo ogranicza stosowanie tej nowoczesnej metody leczenia dla szerszej grupy chorych. Koszt zewnętrznej pompy insulinowej waha się od od 6000 zł (H-Tron) do ok. 17 000 zł (PARADIGM 722), zaś koszt miesięcznego użytkowania pompy (materiały eksploatacyjne – wkłucia, ampułki z insuliną etc.) od ok. 200 zł (H-Tron) do ok. 1200 zł miesięcznie (PARADIGM 722).

■

mgr inż. Adam Jaroszewicz
Politechnika Wrocławska
Instytut Inżynierii Lotniczej, Procesowej
i Maszyn Energetycznych

Katarzyna Kubera-Jaroszewicz
WSS im. Gromkowskiego we Wrocławiu

Literatura

[1] Medtronic: *SYNCHROMED: Programmable pumps II 8637 – Implant manual,* 2003.

[2] Paradigm: *REAL TIME Insulin Pump User Guide MedTronic Minimed,* 2007.

[3] **Bin Ma A. Sheng, Liu A. Zhiyi n Gan, A. Guoj un Liu Xinxia Cai, A. Hongha Zhang, A. Zhigang Yang** – *A PZT insulin pump integrated with a silicon microneedle array for transdermal drug delivery,* Microfluid Nanofluid (2006) 2: 417-423.

[4] **Ling-Sheng Jang, Wai-Hong Kan** – *Peristaltic piezoelectric micropump system for biomedical applications* – Biomed Microdevices (2007) 9: 619-626.

[5] **Ewa Otto-Buczkowska, Przemysława Jarosz-Chobot, Krzysztof Tucholski** – *Nowoczesne metody leczenia i monitorowania cukrzycy typu 1,* Endokrynologia Polska, tom 59, numer 3/2008.

[6] **Joseph El Youssef, Jessica Castle, W. Kenneth Ward** – *A Review of Closed-Loop Algorithms for Glycemic Control in the Treatment of Type 1 Diabetes,* Algorithms 2009, 2, 518-532.

[7] *Low-Power FPGAs in Home-based Medical Devices,* Actel Application Brief AC242.

[8] *SQL-1.5 Series SQUIGGLE Motors – Integration Guide,* New Scale Technologies, 2007.

[9] **Katarzyna Kubera-Jaroszewicz**: *Edukacyjna rola pielęgniarki u pacjenta z cukrzycą,* praca dyplomowa, Akademia Medyczna we Wrocławiu, 2009.

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	
Atlas Copco	I okł.
Compressor	II okł.
Deltech	III okł.
Marani	IV okł.
Air Liquide	21
ControlTech	45
WAN Gdynia	4

Artykuły promocyjne	
Atlas Copco	12
Bibus Menos	24
Rewa	31

Deltech
AN SPX BRAND

Industrial compressed air treatment

SPX
DEHYDRATION & FILTRATION

www.deltech-spx.eu

Zabrze 41-807
ul. Mickiewicza 66
tel. / 32 / 274-01-13 do 16

Stalowa Wola 37-450
ul. Kwiatkowskiego 1
tel. 664-461-749

Gorzów Wielkopolski 66-400
ul. Osadnicza 30
tel. / 95 / 720-26-66
tel. / 95 / 720-57-37

WWW.MARANI.PL

Marani – *na zasadach outsourcingu budujemy nowe lub przejmujemy w zarządzanie stacje sprężarek Klienta. Podejmujemy się wytwarzać i dostarczać powietrze o gwarantowanych parametrach oraz stałej cenie w całym okresie współpracy.*
Wprowadzając w stacjach sprężarek najnowsze technologie minimalizujemy koszty gospodarki sprężonym powietrzem.

outsourcing air company • outsourcing air company • outsourcing air company • outsourcing air company •

outsourcing air company • outsourcing air company • outsourcing air company • outsourcing air company •