

**MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY**

**M97**

**Ryszard Dindorf, Jakub Takosoglu, Piotr Woś**

**BEZPIECZEŃSTWO  
UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH  
I PNEUMATYCZNYCH**



**Politechnika Świętokrzyska**

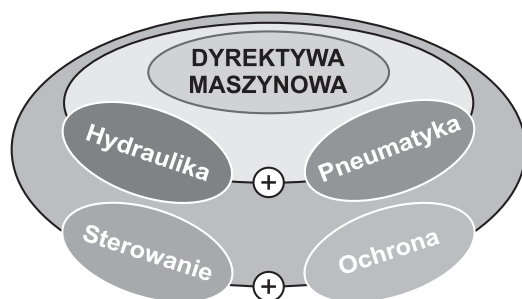
Kielce 2018

**MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY**

**M97**

**Ryszard Dindorf, Jakub Takosoglu, Piotr Woś**

**BEZPIECZEŃSTWO  
UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH  
I PNEUMATYCZNYCH**



Kielce 2018

## **MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY NR M97**

### **Redaktor Naukowy serii**

**NAUKI TECHNICZNE – BUDOWA I EKSPLOATACJA MASZYN**

prof. dr hab. inż. Tomasz Lech STAŃCZYK

### **Autorzy rozdziałów**

Ryszard DINDORF – rozdziały i podrozdziały: 1, 2.1-2.4, 3, 5, 6, Dodatki

Jakub TAKOSOGLU – rozdział 4

Piotr WOŚ – podrozdziały: 2.5-2.6

### **Recenzenci**

dr hab. inż. Zbigniew KAMIŃSKI, prof. PB

dr hab. inż. Witold PAWŁOWSKI, prof. PŁ

### **Redakcja**

Aneta STARZYK

### **Projekt okładki**

Tadeusz UBERMAN

© Copyright by Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2018

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób: elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiuowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

PL ISSN 1897-2691

PL ISBN 978-83-65719-24-9

Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej  
25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7  
tel./fax 41 34 24 581  
e-mail: [wydawca@tu.kielce.pl](mailto:wydawca@tu.kielce.pl)  
[www.wydawnictwo.tu.kielce.pl](http://www.wydawnictwo.tu.kielce.pl)

# SPIS TREŚCI

|  |    |
|--|----|
| <b>PRZEDMOWA</b>   | 5  |
| <b>1. WPROWADZENIE DO ZAGADNIENI BEZPIECZEŃSTWA MASZYN</b>               | 7  |
| <b>2. BEZPIECZNA EKSPLOATACJA UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH</b>                 | 13 |
| 2.1. Charakterystyka napędów hydraulicznych                              | 13 |
| 2.2. Warunki eksploatacji napędów hydraulicznych                         | 14 |
| 2.3. Ciecze hydrauliczne   | 16 |
| 2.3.1. Klasyfikacja cieczy hydraulicznych                                | 16 |
| 2.3.2. Klasa czystości cieczy hydraulicznych                             | 17 |
| 2.3.3. Podział i źródło zanieczyszczeń                                   | 19 |
| 2.3.4. Dobór cieczy hydraulicznych                                       | 22 |
| 2.3.5. Próby cieczy hydraulicznych                                       | 27 |
| 2.4. Obsługa układów hydraulicznych                                      | 29 |
| 2.4.1. Czynności obsługowe układów hydraulicznych                        | 29 |
| 2.4.2. Podstawowe zasady bezpiecznego użytkowania układów hydraulicznych | 31 |
| 2.5. Bezpieczna eksploatacja akumulatorów hydraulicznych                 | 32 |
| 2.6. Bezpieczna eksploatacja przewodów hydraulicznych                    | 38 |
| <b>3. BEZPIECZNA EKSPLOATACJA UKŁADÓW PNEUMATYCZNYCH</b>                 | 45 |
| 3.1. Bezpieczne korzystanie ze sprężonego powietrza                      | 45 |
| 3.2. Przygotowanie sprężonego powietrza                                  | 52 |
| 3.2.1. Filtracja powietrza   | 52 |
| 3.2.2. Zanieczyszczenia i klasy czystości powietrza                      | 55 |
| 3.3. Bezpieczna eksploatacja siłowników tłokowych                        | 57 |
| 3.3.1. Mocowanie siłowników  | 57 |
| 3.3.2. Prowadzenie tłoczyska   | 60 |
| 3.3.3. Uszczelnienia siłowników  | 62 |
| 3.3.4. Parametry eksploatacyjne  | 66 |
| 3.3.5. Monitorowanie stanu układów pneumatycznych                        | 68 |
| <b>4. FUNKCJE BEZPIECZEŃSTWA W UKŁADACH PNEUMATYCZNYCH</b>               | 70 |
| 4.1. Stan pracy i funkcje bezpieczeństwa                                 | 70 |
| 4.2. Funkcje diagnostyczne   | 71 |
| 4.3. Bezpieczne zatrzymanie i blokowanie ruchu                           | 76 |

|  |            |
|--|------------|
| 4.4. Odpowietrzenie i zabezpieczenie przed niekontrolowanym uruchomieniem                        | 81         |
| 4.5. Ograniczenie ciśnienia  | 86         |
| 4.6. Sterowanie dwuręczne  | 89         |
| 4.7. Funkcje bezpieczeństwa w systemach serwopneumatycznych                                      | 93         |
| 4.8. Bezpieczeństwo funkcjonalne zdwojonych rozdzielaczy pneumatycznych do pras                  | 96         |
| 4.8.1. Zdwojone rozdzielacze pneumatyczne bez kontroli położenia                                 | 97         |
| 4.8.2. Zdwojone rozdzielacze pneumatyczne z kontrolą położenia przekaźnikami pneumoelektrycznymi | 98         |
| 4.8.3. Zdwojone rozdzielacze pneumatyczne z kontrolą położenia czujnikami indukcyjnymi           | 98         |
| <b>5. FUNKCJE BEZPIECZNEGO STEROWANIA UKŁADAMI PNEUMATYCZNYMI</b>                                | <b>102</b> |
| 5.1. Elementy bezpiecznego sterowania  | 102        |
| 5.2. Sterowanie z pojedynczym zabezpieczeniem  | 112        |
| 5.3. Sterowanie nadmiarowe   | 116        |
| <b>6. BEZPIECZEŃSTWO FUNKCJONALNE UKŁADÓW PŁYNOWYCH</b>  | <b>127</b> |
| 6.1. Podstawy bezpieczeństwa funkcjonalnego według normy PN-EN ISO 13849-1:2016                  | 127        |
| 6.2. Bezpieczeństwo funkcjonalne układów pneumatycznych  | 142        |
| 6.2.1. Bezpieczeństwo funkcjonalne układu pneumatycznego kategorii 1                             | 143        |
| 6.2.2. Bezpieczeństwo funkcjonalne układu pneumatycznego kategorii 2                             | 146        |
| 6.2.3. Bezpieczeństwo funkcjonalne układu pneumatycznego kategorii 3                             | 150        |
| 6.2.4. Bezpieczeństwo funkcjonalne układu pneumatycznego kategorii 4                             | 155        |
| 6.3. Bezpieczeństwo funkcjonalne układów hydraulicznych  | 159        |
| 6.3.1. Bezpieczeństwo funkcjonalne układu hydraulicznego kategorii 1                             | 161        |
| 6.3.2. Bezpieczeństwo funkcjonalne układu hydraulicznego kategorii 2                             | 164        |
| 6.3.3. Bezpieczeństwo funkcjonalne układu hydraulicznego kategorii 3                             | 167        |
| 6.3.4. Bezpieczeństwo funkcjonalne układu hydraulicznego kategorii 4                             | 171        |
| <b>DODATKI</b>   | <b>175</b> |
| D1. Podstawowe pojęcia   | 175        |
| D2. Indeks skrótów   | 179        |
| <b>Literatura</b>  | <b>181</b> |
| <b>Streszczenie/Summary</b>  | <b>185</b> |

## LITERATURA

### Książki, artykuły

- [1] Dindorf R.: Napędy płynowe. Podstawy teoretyczne i metody obliczania napędów hydrostatycznych i pneumatycznych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2009.
- [2] Dindorf R., Woś P.: Przetworniki i układy pomiarowe w systemach hydraulicznych i pneumatycznych. Monografie, Studia, Rozprawy M63. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2014.
- [3] Dindorf R., Woś P.: Developments of hydraulic power systems. Monografie, Studia, Rozprawy M72. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2016.
- [4] Dindorf R.: Wpływ zanieczyszczeń oleju na eksploatację układów hydraulicznych. Utrzymanie Ruchu, nr 3, 2016.
- [5] Dindorf R., Takosoglu J., Woś P.: Developments of pneumatic control systems. Monografie, Studia, Rozprawy M89. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2017.
- [6] Głowacki M.: Wymagania bezpieczeństwa dotyczące hydraulicznych i pneumatycznych układów i elementów maszyn. SUR, nr 2, 2014.
- [7] Łabanowski W.: Bezpieczeństwo użytkowania maszyn. Poradnik dla pracodawców. PIP, Warszawa 2012.
- [8] Schmidt J., Ławniczak A., Senn F.: Filtrowanie cieczy roboczych w urządzeniach hydraulicznych. Internormen-Filter, Poznań 1991.

### Katalogi, poradniki

- [9] ABB: Bezpieczeństwo w systemach sterowania według normy EN ISO 13849-1.
- [10] Asconumatic: Electro-Pneumatics and safety of machinery.
- [11] AirCom: Zbiorniki sprężonego powietrza.
- [12] Argo Hytos: Poradnik zarządzania cieczami i monitoringu stanu oleju.
- [13] Atlas Copco: Technika sprężonego powietrza. Poradnik.
- [14] Aventics: Machine safety expertise for pneumatics.
- [15] BGIA Report 2\_2008: Functional Safety of Machine Control ISO 13849.
- [16] Bosch Rexroth: Czystość cieczy roboczej: 5 porad, które pomogą chronić twoje systemy hydrauliczne.
- [17] Bosch Rexroth: 10 Steps to performance level. Handbook for the implementation of functional safety according to ISO 13849.
- [18] CompAir: Compressed Air Safety Training Module.
- [19] Festo: Przewodnik po technice bezpieczeństwa.
- [20] Hydac: Filters contamination fundamentals.
- [21] Druckluft-Handbuch. Vulkan-Verlag, Essen 1998.
- [22] Metal Work: Bezpieczeństwo w instalacjach pneumatycznych.
- [23] Norgren: Niezawodne bezpieczeństwo.
- [24] OBR: Zdwojone zawory rozdzielające.

- [25] Omron: Przewodnik bezpieczeństwa maszyn.
- [26] Pall Corporation: Kieszonkowy podręcznik.
- [27] Parker Hannifin: Normy zanieczyszczeń. Poradnik.
- [28] Parker Legris: Szybkozłączeni.
- [29] Pneumat: Bezpieczna pneumatyka.
- [30] Ross: Pneumatic Safety Systems.
- [31] Siemens: Elementy bezpieczeństwa maszyn.
- [32] SISTEMA: A tool for the evaluation of safety on machinery control systems.
- [33] SMC: Bezpieczeństwo w centrum uwagi.
- [34] Tachenbuch Drucklufttechnik. Vulkan Verlag, Essen 2000.
- [35] Total: Ciecze do układów hydraulicznych.
- [36] Tubes International: Węże i złącza dla przemysłu.
- [37] Vickers: Wirksame Verschmutzungskontrolle in Hydrauliksystemen.

### **Normy, dyrektywy**

- [38] PN-EN ISO 4413:2011 – Napędy i sterowania hydrauliczne – Ogólne zasady i wymagania bezpieczeństwa dotyczące układów i ich elementów.
- [39] PN-EN ISO 4414:2011 – Napędy i sterowania pneumatyczne – Ogólne zasady i wymagania bezpieczeństwa dotyczące układów i ich elementów.
- [40] PN-EN ISO 12100:2012 – Bezpieczeństwo maszyn – Ogólne zasady projektowania – Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka.
- [41] PN-EN ISO 13849-1:2016 – Bezpieczeństwo maszyn - Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem – Część 1: Ogólne zasady projektowania.
- [42] PN-EN 60204-1:2010 – Bezpieczeństwo maszyn – Wyposażenie elektryczne maszyn – Część 1: Wymagania ogólne.
- [43] PN-EN ISO 6743-4:2015 – Środki smarowe, oleje przemysłowe i produkty podobne (klasa L) – Klasyfikacja – Część 4: Grupa H (Układy hydrauliczne).
- [44] PN-ISO 4406:2005 – Napędy i sterowania hydrauliczne – Ciecze robocze – Metoda kodowania poziomu zanieczyszczeń w postaci cząstek stałych.
- [45] PN-ISO 2909:2009 – Przetwory naftowe – Obliczanie wskaźnika lepkości na podstawie lepkości kinematycznej.
- [46] PN-ISO 13357:2012 – Przetwory naftowe – Oznaczanie filtrowalności olejów smarowych.
- [47] ISO 11171:2010 – Hydraulic fluid power – Calibration of automatic particle counters for liquids.
- [48] ISO 8573-1 – Compressed air – Part 1: Contaminants and purity classes.
- [49] PN ISO 3448:2009: Przemysłowe ciekłe środki smarowe – Klasyfikacja lepkościowa ISO.
- [50] PN-ISO 2909:2009: Przetwory naftowe – Obliczanie wskaźnika lepkości na podstawie lepkości kinematycznej.
- [51] ISO 19973-1:2015 – Pneumatic fluid power – Assessment of component reliability by testing – Part 1: General procedures.

- [52] PN-EN 61508:2010 – Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych/elektronicznych/ programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem – Część 1: Wymagania ogólne.
- [53] Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn. Dz. Urz. U.E. z 9.6.2006.
- [54] PN-ISO 7624:2012 – Przetwory naftowe i środki smarowe – Inhibitowane mineralne oleje turbinowe – Oznaczanie odporności na utlenianie.
- [55] Dyrektywa 2014/68/UE/dyrektywa ciśnieniowa/dyrektywa PED: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/68/UE z dnia 15 maja 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku urządzeń ciśnieniowych.
- [56] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń ciśnieniowych i zespołów urządzeń ciśnieniowych (Dz. U. z 2005 Nr 263, poz. 2200).
- [57] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 9 lipca 2003 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego w zakresie eksploatacji niektórych urządzeń ciśnieniowych (Dz. U. z 2003 Nr 135, poz. 1269).

### **Literatura uzupełniająca**

- Backé W.: Grundlagen der Pneumatik. Umdruck zur Vorlesung. RTWH, Aachen 1994.
- Beater P.: Pneumatic Drives. System Design, Modelling and Control. Springer-Verlag, Berlin 2007.
- Chapple P.: Principles of hydraulic system design. Coxmoor Publishing Company, Oxford 2003.
- Daines J.R.: Introduction to Fluid Power. The Goodheart-Willcox Publisher, Illinois 2009.
- Doddannavar R., Barnard A.: Practical hydraulic systems. Elsevier, Newnes 2005.
- Jagadeesha T.: Fluid Power Control. NPTEL Courses. NIT, Calicut 2014.
- Jakubaschke O.: Grundlagen der Pneumatik. Krausskopf Verlag, Mainz 1978.
- Jelali M., Kroll A.: Hydraulic Servo-system. Modelling, identification and control. Springer Verlag, London 2003.
- Ruppelt E.: Druckluft-Handbuch. Vulkan-Verlag, Essen 1998.
- Stoll K.: Pneumatische Steuerungen. Vogel Fachbuch, Würzburg 1999.
- Watton J.: Fundamentals of Fluid Power Control. Cambridge University Press, New York 2009.
- Will D., Ströhl H., Gebhardt N.: Hydraulik. Grundlagen, Komponenten, Schaltungen. Springer Verlag, Berlin 1999.



## **BEZPIECZEŃSTWO UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH I PNEUMATYCZNYCH**

### **Streszczenie**

Monografia jest jedyną publikacją fachową na polskim rynku wydawniczym, która opisuje kompleksowo zagadnienia związane z bezpieczeństwem układów hydraulicznych i pneumatycznych. W monografii zawarto usystematyzowaną praktyczną wiedzę przydatną w projektowaniu, eksploatacji (użytkowaniu i obsłudze) oraz sterowaniu układów hydraulicznych i pneumatycznych z uwzględnieniem norm, zasad i standardów bezpieczeństwa. Zamieszczono także przykłady oceny poziomu zapewnienia bezpieczeństwa PL (*Performance Level*) różnych struktur sterowania układów hydraulicznych i pneumatycznych. Przedstawione w monografii rozwiązania mogą być wykorzystane przy wdrażaniu standardów bezpieczeństwa w eksploatacji i sterowaniu układów hydraulicznych i pneumatycznych.

## **SAFETY OF HYDRAULIC AND PNEUMATIC SYSTEMS**

### **Summary**

The monograph is the only professional publication, on the Polish publishing market, comprehensively describing the issues related to the safety of hydraulic and pneumatic systems. The monograph presents systematized practical knowledge useful in the design, operation (use and maintenance) and control of hydraulic and pneumatic systems with regard to safety standards and rules. The examples of Performance Level ratings for different structures of hydraulic and pneumatic control system are included. The solutions presented in the monograph may be applied for the implementation of safety standards in the operation and control of hydraulic and pneumatic systems.