

## Obrażenia ciała spowodowane działaniem cieczy pod ciśnieniem

Konrad Kowalski, Tadeusz Złoto

Instytut Technologii Mechanicznych  
Politechnika Częstochowska

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono możliwości wystąpienia obrażeń związanych z użytkowaniem wszelkiego rodzaju układów hydraulicznych, wykorzystujących jako medium ciecz pod wysokim ciśnieniem. W oparciu o znane z literatury przypadki, przedstawiono przyczyny wypadków oraz sposoby ich zapobiegania.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo, wypadek w miejscu pracy, ręka, rana, wąż hydrauliczny.

### WSTĘP

Obsługa maszyn i urządzeń wysokociśnieniowych lub praca w ich bezpośrednim otoczeniu stwarza realne zagrożenie zdrowia i życia w przypadku wystąpienia wycieków medium roboczego pod wysokim ciśnieniem [8, 18]. Takie zagrożenie może wystąpić w każdej gałęzi przemysłu. Wynika to z dużej powszechności stosowania hydrostatycznych układów napędowych, charakteryzujących się zwykle wysoką sprawnością oraz możliwością pracy przy wysokich ciśnieniach roboczych [7, 17].

Elementy współczesnych układów hydraulicznych łączy się między sobą na dwa sposoby, tj. bezpośrednio lub pośrednio [12, 14]. W pierwszym przypadku połączenie współpracujących elementów urządzeń hydraulicznych występuje pomiędzy korpusami, które zawierają kanały lub otwory wiercone. W drugim przypadku, powszechnie stosowanym w praktyce, połączenie realizowane jest za pomocą płyt przyłączeniowych (montaż płytowy, warstwowy) i bloków sterujących (montaż nabojoyowy). Takie rozwiązanie zapewnia dużą zwartość konstrukcji oraz możliwość łatwego zestawiania zespołów. Stąd też montaż pośredni znajduje szerokie zastosowanie w układach hydraulicznych nowoczesnych maszyn technologicznych, np. we wtryskarkach i obrabiarkach sterowanych numerycznie [12]. Często jednakże, ze względów funkcjonalnych i eksploatacyjnych, uzasadnione i konieczne jest łączenie poszczególnych elementów za

pomocą sztywnych lub elastycznych przewodów (montaż przewodowy) [12, 14]. Takie rozwiązanie spotyka się powszechnie w roboczych maszynach mobilnych, maszynach budowlanych, maszynach rolniczych i w wielu innych [12].

Połączenia stosowane w układach hydraulicznych mogą być źródłem nieszczelności, prowadzących nieuchronnie do unieruchomienia całego układu lub jego odgałęzienia. Wśród typowych przyczyn powstawania nieszczelności wymienić można naturalne zużycie, uszkodzenia mechaniczne (np. przetarcie węża hydraulicznego, pęknięcie złączki itp.) oraz nieprawidłowy montaż, zarówno sztywnych oraz elastycznych przewodów hydraulicznych, jak i stosowanych w układzie złązek i przyłązek. Na powstawanie tego typu nieszczelności narażone są szczególnie elastyczne (giętkie) przewody hydrauliczne.

W elastycznych przewodach hydraulicznych (węzłach) mogą powstawać bardzo małe otwory [19], przez które ciecz wydostaje się z dużą prędkością, przekraczającą 180 m/s [10]. Na pozór niegroźna struga może wówczas doprowadzić do poważnych konsekwencji w przypadku działania na ciało człowieka [10, 18].

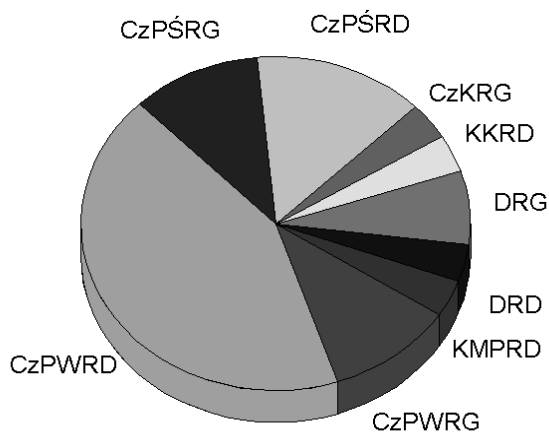
### CEL PRACY

Celem niniejszej pracy jest zwrócenie uwagi na możliwość wystąpienia obrażeń ciała u człowieka narażonego na działanie strumienia cieczy wytryskującej z przestrzeni, w której panuje wysokie ciśnienie.

### PROFIL POSZKODOWANEGO I CHARAKTER OBRAŻEŃ

Wśród wypadków występujących w miejscu pracy obrażenia ciała wywołane strumieniem cieczy pod wysokim ciśnieniem występują bardzo rzadko. Niemniej jednak,

każdy przypadek wiąże się z zagrożeniem zdrowia a nawet życia [5, 6, 20]. Poważne niebezpieczeństwo stanowią dla człowieka znajdujące się pod ciśnieniem oleje hydrauliczne, smary (smarownice) oraz farby (agregaty malarskie) w przypadku wstrzyknięcia ich do ciała człowieka [8, 15]. Ponadto szczególną ostrożność należy zachować w przypadku kontroli działania wtryskiwaczy paliwa silników wysokoprężnych na stanowiskach probierczych oraz przy przeprowadzaniu kontroli szczelności instalacji paliwowej w silnikach wysokoprężnych wyposażonych w wysokociśnieniową instalację paliwową (zwłaszcza w instalacjach Common-Rail, w których paliwo sprężane jest do bardzo wysokiego ciśnienia, sięgającego nawet 200 MPa).



**Rys. 1.** Umieszczenie i udział obrażeń na podstawie 28 przypadków [13]: CzPWRG – czubek palca wskazującego ręki głównej, CzPWRD – czubek palca wskazującego ręki drugiej, CzPŚRG – czubek palca środkowego ręki głównej, CzPŚRD – czubek palca środkowego ręki drugiej, CzKRG – czubek kciuka ręki głównej, KKRD – kłęb kciuka ręki drugiej, DRG – dłoń ręki głównej, DRD – dłoń ręki drugiej, KMPRD – kłęb małego palca ręki drugiej (ręka główna oznacza prawą rękę osoby praworęcznej lub lewą rękę osoby leworęcznej)

**Fig. 1.** Location and share of personal injuries based on 28 cases [13]: CzPWRG – the tip of the index finger on the main hand, CzPWRD – the tip of the index finger on the other hand, CzPŚRG – the tip of the middle finger on the main hand, CzPŚRD – the tip of the middle finger on the other hand, CzKRG – the tip of the thumb on the main hand, KKRD – the base (thenar eminence) of the thumb on the other hand, DRG – the palm on the main hand, DRD – the palm on the other hand, KMPRD – the base (thenar eminence) of the little finger on the other hand (main hand is the right hand with a right-handed person or the left hand with a left-handed person)

Obrażeniom spowodowanym działaniem na skórę strugi cieczy pod ciśnieniem ulegają zwykle młodzi mężczyźni pomiędzy 30 a 40 rokiem życia. Częścią ciała, która najczęściej ulega obrażeniom jest ręka. W większości przypadków obrażenia zlokalizowane są w okolicy palca wskazującego lub palca środkowego (rys.1) [3, 4, 13, 20].

Struga cieczy działająca na skórę może spowodować przerwanie jej ciągłości, przy czym zwykle jest to niewielka rana punktowa. W pierwszym momencie ofiara

odczuwa lekkie ukłucie lub wcale nie odczuwa bólu [4]. Jednak wraz z upływem czasu od zdarzenia, poszkodowana osoba może odczuwać nasilający się ból. W otoczeniu miejsca zranienia wystąpić może zaczerwienienie oraz obrzęk. Stan poszkodowanego jest zwykle cięższy, niż wskazuje na to rozmiar rany. Niestety, tego typu obrażenia bywają bagatelizowane nie tylko przez poszkodowanych, ale i przez medyków [10].

Zwykle prawdziwy zakres obrażeń kryje się pod skórą (rys. 2). Nie wolno sugerować się tutaj niewielkimi rozmiarami zewnętrznymi rany, gdyż ciecz pod ciśnieniem potrafi penetrować tkanki znajdujące się nawet w znacznej odległości od miejsca zranienia. Uszkodzeniu mogą ulec zarówno naczynia krwionośne, jak i mięśnie, nerwy oraz ścięgna. Poszkodowani na skutek działania na skórę strugi cieczy pod ciśnieniem powinni być bezzwłocznie poddani pod opiekę ambulatoryjną. Pozostałości cieczy oraz uszkodzone tkanki powinny zostać oczyszczone chirurgicznie [1, 18].



**Rys. 2.** Widok wnętrza rany [3]

**Fig. 2.** The view of a wound interior (with permission from the article 'Injection injuries: seemingly minor injuries with major consequences' by Dailiana Z et al. Hippokratia 2008; 12 (1): 33-36)



**Rys. 3.** Ręka po częściowej amputacji kciuka [6]

**Fig. 3.** Hand after a partial thumb amputation (with permission from the article 'High-pressure injection injury of the thumb. Case report and review of the literature' by Goldstein N et al. South African Orthopaedic Journal 2012; 11 (1): 63-66)

Zwlekanie z podjęciem interwencji chirurgicznej może doprowadzić do trwałego uszkodzenia tkanek, martwicy, amputacji a nawet śmierci poszkodowanego. Na rysunku 3 przedstawiono tragiczny dla poszkodowanego skutek wypadku, wymagający wykonania częściowej amputacji kciuka.

#### PRZYCZYNY WYPADKÓW ORAZ SPOSOBY ZAPOBIEGANIA

Nieprawidłowa instalacja oraz urazy zewnętrzne stanowią typowe przyczyny uszkodzeń węży hydraulicznych [9]. Prawidłowa instalacja elastycznych przewodów, zmniejszająca prawdopodobieństwo wystąpienia wycieków, powinna obejmować [2, 9, 16]:

- zapewnienie odpowiednio dużego promienia zaginania oraz zachowanie prostego odcinka węża w pobliżu końcówki (około 1,5 średnicy zewnętrznej),
- zapewnienie właściwej długości przewodu, uwzględniającej możliwość jej zmiany pod wpływem ciśnienia,
- unikanie skręcenia wokół osi (właściwą orientację pomaga uzyskać barwny pasek przebiegający wzdłuż węża),
- zapewnienie w przypadku łączenia zespołów będących w ruchu względnym zginania węża w płaszczyźnie ruchu zamiast jego skręcania (unikając trójwymiarowego zginania),
- unikanie rozciągania, załamań oraz tworzenia pętli,
- prowadzenie węża z dala od źródeł ciepła ewentualnie stosowanie dodatkowej izolacji,
- prowadzenie węża w sposób uniemożliwiający jego kontakt z ciałami obcymi oraz ostrymi krawędziami,
- prowadzenie węża w sposób uniemożliwiający jego nadęptywanie,
- stosowanie kolan, złączy i łuków w celu minimalizowania naprężeń węża.

Ponadto węże hydrauliczne ulegają osłabieniu wskutek [2, 11]:

- naturalnego zużycia (starzenia),
- stosowania niewłaściwej (nieobojętniej) cieczy dla materiału węża,
- promieniowania ultrafioletowego,
- niewłaściwej temperatury otoczenia lub czynnika roboczego,
- nagłych impulsów ciśnienia,
- działania pola elektrycznego,
- drgań,
- słonej wody,
- ozonu,
- zanieczyszczeń zawartych w powietrzu.

Stan przewodów hydraulicznych powinien być regularnie kontrolowany. Wyłączenia z eksploatacji oraz bezwzględnej wymianie powinny podlegać węże z widocznymi objawami zużycia zewnętrznej warstwy przewodu [2, 11] w postaci: przetarć, deformacji (np. spłaszczenia), stwardnień, pęknięć, pęcherzy, zwęgleń oraz przecięć. Należy pamiętać, że uszkodzenie elastycznych przewodów hydraulicznych może wystąpić nawet pomimo niewystępowania powyższych objawów [11].

Do czynników mających ogromny wpływ na bezpieczeństwo należy świadomość zagrożeń mogących wystąpić w miejscu pracy, odpowiednie przeszkolenie, doświadczenie, samopoczucie pracownika oraz stan techniczny komponentów układu.

Przykładem nierozsądnego zachowania jest dotykanie węża w czasie pracy układu hydraulicznego oraz szukanie wycieków cieczy przy użyciu ręki (rys. 4) [10].

Przerwanie ciągłości skóry może nastąpić w przypadku wycieku strugi pod ciśnieniem wynoszącym minimum 100 psi [3, 6, 11] (niespełna 7 bar) oraz odległości od źródła wycieku mniejszej niż 10 cm [11]. Obrażenia spowodowane działaniem cieczy są jednocześnie tym dotkliwsze, im większe jest ciśnienie oraz objętość wstrzykiwanej cieczy [20].



**Rys. 4.** Nieprawidłowy sposób szukania wycieków z przewodów  
**Fig. 4.** An improper way of looking for leakage from hoses

#### PODSUMOWANIE

Liczba wypadków spowodowanych wyciekami strugi cieczy pod ciśnieniem może być minimalizowana. W tym celu niezbędna jest świadomość zagrożeń czyhających w miejscu pracy, zdrowy rozsądek, właściwy montaż oraz dbanie o stan techniczny komponentów wchodzących w skład maszyn i urządzeń.

Jednym z najpoważniejszych naruszeń bezpieczeństwa jest szukanie wycieków z elastycznych przewodów hydraulicznych przy pomocy ręki. Wyciekająca struga jest zwykle trudno dostrzegalna, a w celu lokalizacji miejsca jej wycieku należy posługiwać się np. kartką papieru, kawałkiem tektury lub drewna.

Osoba poszkodowana w wyniku wycieku strugi cieczy pod ciśnieniem powinna niezwłocznie skorzystać z pomocy chirurgów w celu otwarcia rany i dokładnego jej oczyszczenia, nawet jeśli nie odczuwa bólu a rana jest niewielka. Postawienie prawidłowej i szybkiej diagnozy może przyczynić się do uniknięcia zakażenia, martwicy, amputacji oraz skrócenia czasu rekonwalescencji.

#### LITERATURA

1. **Bickert B., 2010:** Hochdruckeinspritz – verletzungen an der Hand. Springer-Verlag. Der Unfallchirurg, Vol. 113, Nr 10, 814-820.

2. **Cundiff J. S., 2002:** Fluid Power Circuits and Controls. Fundamentals and Applications. CRC Press, Boca Raton.
3. **Dailiana H. Z, Kotsaki D, Varitimidis S, Moka S, Bakarozi M, Oikonomou K, Malizos N. K, 2008:** Injection injuries: seemingly minor injuries with major consequences. *Hippokratia*, Vol. 12, Nr 1, 33-36.
4. **Donion A., 2005:** Safety tips for handling industrial lubricants. *Gear solutions*, Vol. 3, Nr 25, 29-33.
5. **Frank M., Hinz P., Zach A., Evert M., Bauwens K., Ekkernkamp A., 2008:** Hochdruckinjektionen – verletzung der Hand. Springer Medizin Verlag. *Trauma und Berufskrankheit*, Vol. 10, Nr 3, 221-224.
6. **Goldstein N., Biddulph G., Lukhele M., 2012:** High-pressure injection injury of the thumb. Case report and review of the literature. *South African Orthopaedic Journal*, Vol. 11, Nr 1, 63-66.
7. **Greczanik T., Stryczek J., 2005:** The concept of the bus fluid power system of the mining machine. *Polska Akademia Nauk, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, Tom V, 72-79, Lublin.
8. **Hayes C. W, Pan H. C., 1982:** High-Pressure Injection Injuries to the Hand. *Southern Medical Journal*, Vol. 75, Nr. 12, 1491-1516.
9. **Katalog Tubes International 2012** [dostęp: 08 luty 2013], [http://www.tubes-international.pl/katalog\\_pdf/tubes\\_international\\_2012\\_pl.pdf](http://www.tubes-international.pl/katalog_pdf/tubes_international_2012_pl.pdf)
10. **Kleiner G., Honig D., Injection Injury:** Planning and Prevention, kwiecień 2009 [dostęp: 08 luty 2013], [http://www.moderncontractorsolutions.com/articlesdetail.php?id\\_articles=524&id\\_artcatg=8](http://www.moderncontractorsolutions.com/articlesdetail.php?id_articles=524&id_artcatg=8)
11. **Kleiner G. (red. Żarów K.),** Wiedza i konserwacja podstawą bezpieczeństwa systemów hydrauliki siłowej, 31 maj 2010 [dostęp: 08 luty 2013], <http://www.utrzymanieruchu.pl/menu-gorne/artukul/article/wiedza-i-konserwacja-podstawa-bezpieczenstwa-systemow-hydrauliki-silowej/>
12. **Kotnis G., 2008:** Budowa i eksploatacja układów hydraulicznych w maszynach. Wydawnictwo KaBe, Krosno.
13. **Lewis H. G, Clarke P., Kneafsey B., Brennen M. D, 1998:** A 10-year review of high-pressure injection injuries to the hand. *Journal of Hand Surgery*, Vol. 23B, Nr 4, 479-481.
14. **Lipski J., 1981:** Napędy i sterowania hydrauliczne. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
15. **Lozano-Calderón S. A., Mudgal C. S., Mudgal S., Ring D., 2008:** Latex Paint-gun Injuries of the Hand: Are the Outcomes Better? *Springer-Verlag. Hand*, Vol. 3, Nr 4, 340-345.
16. **Rabie M. G., 2009:** Fluid Power Engineering. McGraw-Hill, New York.
17. **Ryzhakov A., Nikolenko I., Dreszer K., 2009:** Selection of discretely adjustable pump parameters for hydraulic drives of mobile equipment. *Polska Akademia Nauk, Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, Tom IX, 267-276, Lublin.
18. **Safety in lubrication, Exxon Mobil Corporation 2009** [dostęp: 08 luty 2013], <http://www.mobil.com/IND/English/Files/tt-safety-in-lubrication.pdf>
19. **Stenmark N., 2007:** Small Leak in Hydraulic Hose Reveals Big Problem. *Springer. Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. 7, Nr 3, 183-186.
20. **Verhoeven N., Hierner R., 2008:** High-pressure injection injury of the hand: an often underestimated trauma: case report with study of the literature. *Springer-Verlag. Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, Vol. 3, Nr 1, 27-33.

#### BODY INJURIES DUE TO THE HIGH PRESSURE INJECTION OF THE FLUID

**Summary.** Despite the fact that high pressure fluid injection injuries to the body do not occur very often, it is important to develop awareness in the staff of dangers concerned with the spout from hydraulic hoses. It is because of the fact that most of the injured people underestimate small and punctiform skin lesions, that are characteristic of the high pressure injection injuries. But the real damages are under the skin. Fluid under high pressure can damage tissues, tendons and blood vessels. Every body injuries due to the high pressure injection of the fluid pose a threat to the life and health of the injured person. Thus high pressure injection injuries should be immediately treated surgically.

**Key words:** safety, work accident, hand, injury, injection, hydraulic hose.