

# Aspekty i elementy HYDRAULIKI OBRABIARKOWEJ CZ. 1

Hydromechanika stosowana jest w technice od zarania dziejów. Już starożytni Egipcjanie, a później Grecy i Rzymianie próbowali opisać zjawiska hydrauliki i zastosować je w obronności, do manipulowania rzeszami ludzi, czy do poprawy jakości życia. Mistrzami w budowie wielkich akweduktów, kanałów i rurociągów byli Rzymianie. Ich systemy kanalizacyjne czy doprowadzające wodę do mieszkań w kilkupiętrowych kamienicach budzą podziw do dzisiaj. Do naszych czasów nastąpił postęp w opanowaniu i zastosowaniach zjawisk fizycznych związanych z hydromechaniką, która jest nauką o prawach jakim podlega ciecz w spoczynku i w ruchu.

W cyklu kilku artykułów omówimy niektóre praktyczne aspekty i elementy hydrauliki obrabiarkowej, będącej specyficzną częścią hydrauliki, która z kolei jest częścią hydromechaniki. Podstawy budowy i działania poszczególnych elementów układów hydraulicznych znajdują się pozycjach ujętych w bibliografii, na końcu artykułu.

## Aleksander Łukomski

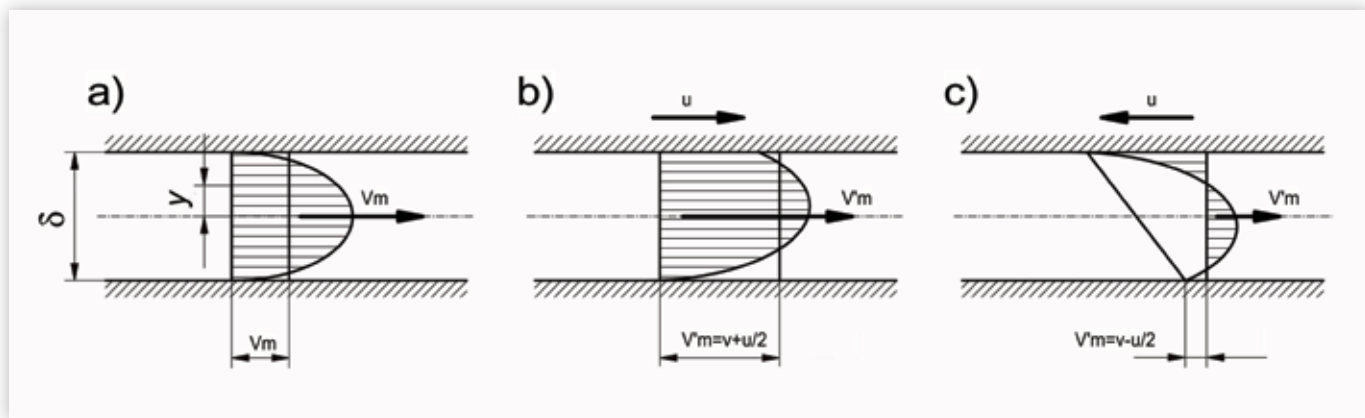
**H**ydraulika rozwinęła się wcześniej od hydromechaniki, która natrafiała na poważne przeszkody związane z fizyką cieczy i z matematyką. Hydraulika obejmuje prawa ruchu cieczy empirycznie, choć uwzględnia ogólne prawa mechaniki, ale w sposób przybliżony, jednak wystarczający w praktyce inżynierskiej.

Cieczą może być gaz lub płyn. W praktyce gazami zajmuje się część hydrauliki nazwana pneumatyką, a nazwa hydraulika dotyczy głównie płynów.

Hydromechanika, a także hydraulika są obszernymi dziedzinami nauki i techniki opisującymi własności fizyczne cieczy, w różnych warunkach temperaturowych, ciężary właściwe,

współczynniki rozszerzalności objętościowej i wiele innych. Obejmują one też prawa Eulera, Pascala, Reynoldsa, równanie Bernoulliego – jedno z podstawowych równań hydrodynamiki płynów idealnych, regułę Blasiusa, przepływy ustalone, burzliwe i wiele innych praw i zasad.

W hydraulicie występuje szereg znanych i nie do końca rozstrzygniętych problemów z pogranicza teorii i praktyki, np. wypływ cieczy przez mały otwór, wypływ cieczy przez duży otwór o dowolnym zarysie, wypływ cieczy przez króćce, straty ciśnienia z różnych powodów. Choć jest tych problemów wiele to jakoś praktyka inżynierska sobie z tymi nimi radzi. Jest wiele wzorów matematycznych i wykresów pomagających



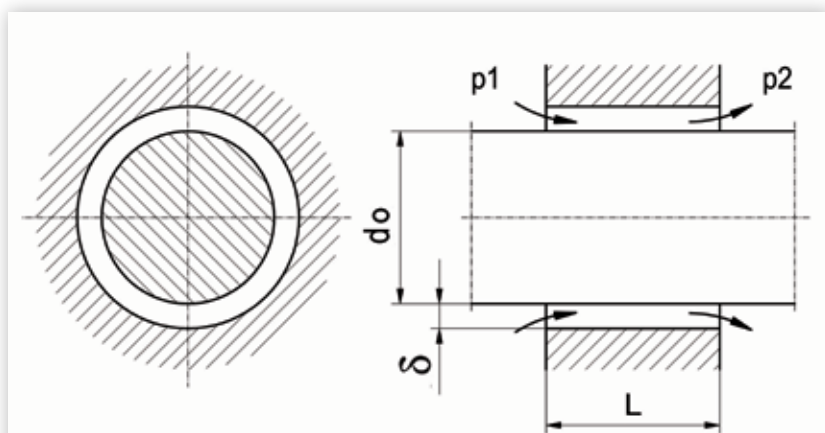
**Rys. 1** Przepływ uwarstwiony przez płaską szczelinę: a) ściany szczeliny nieruchome, b) ściany przesuwające się względem siebie z prędkością  $u$  w kierunku działania ciśnienia, c) ściany przesuwające się względem siebie z prędkością  $u$  w kierunku przeciwnym do działania ciśnienia

wybrnąć z problemów konstrukcyjnych. Spośród wielu tych problemów, krótko omówiony zostanie problem szczeliny. W hydraulice należy on do problemów najważniejszych, mających wielki wpływ na rzeczywiste ciśnienie, a także natężenie przepływu. Problem ten występuje zarówno w połączeniu tłok-cylinder, uszczelnienia, a także podczas pracy amortyzatora tłoka, jak i w aparaturze sterującej, np. w tłoczkach rozdzielaczy. Dobór optymalnej szczeliny w tych połączeniach, ze względu na dokładność połączenia i na jak najlepsze z możliwych uszczelnienie (przy zachowaniu możliwości łatwego ruchu tłoczka), nie jest prosty i wymaga analizy, i dość trudnych obliczeń na poziomie konstrukcji. Również podczas wykonania elementów hydrauliki ma on wpływ na wielkość i kształt szczeliny, i polega na dopasowywaniu i docieraniu współpracujących ze sobą elementów ruchomej hydrauliki.

Właściwa szczelina ma duży wpływ na prawidłowe działanie układu hydraulicznego. Występuje tu podstawowe zagadnienie przepływu uwarstwowionego przez płaską szczelinę o nieskończonej szerokości. Może być sytuacja, że ściany szczeliny są nieruchome albo że przesuwają się względem siebie z prędkością  $u$ .

Jak wynika z rysunków rozkład prędkości w szczelinie przy nieruchomych ścianach jest paraboliczny. Średnica hydrauliczna, liczba Reynoldsa i średnia

prędkość przepływu są określone odpowiednimi wzorami, niezbędnymi do ustalenia strat ciśnienia wskutek tarcia w szczelinie. Trochę inaczej wygląda to gdy jedna ze ścian szczeliny porusza się względem drugiej. Jeszcze inaczej wygląda to przy przepływie przez szczeliny pierścieniowe kołowe, gdzie natężenie przepływu może zmieniać się w stosunku 2,5:1 przy zmianie mimośrodów. W hydraulice występuje często przepływ przez szczelinę pierścieniową kołową koncentryczną, gdzie nie ma zjawiska mimośrodu. Wtedy biorąc pod uwagę wiele innych jeszcze elementów, jak np. natężenie przepływu, różnica ciśnień przed szczeliną i za szczeliną, lepkość wzdłuż szczeliny, wylicza się ciśnienie obliczeniowe i natężenie przepływu. Przepływ cieczy przez uszczelnienia części maszyn ma charakter przepływu uwarstwowionego przez szczelinę.



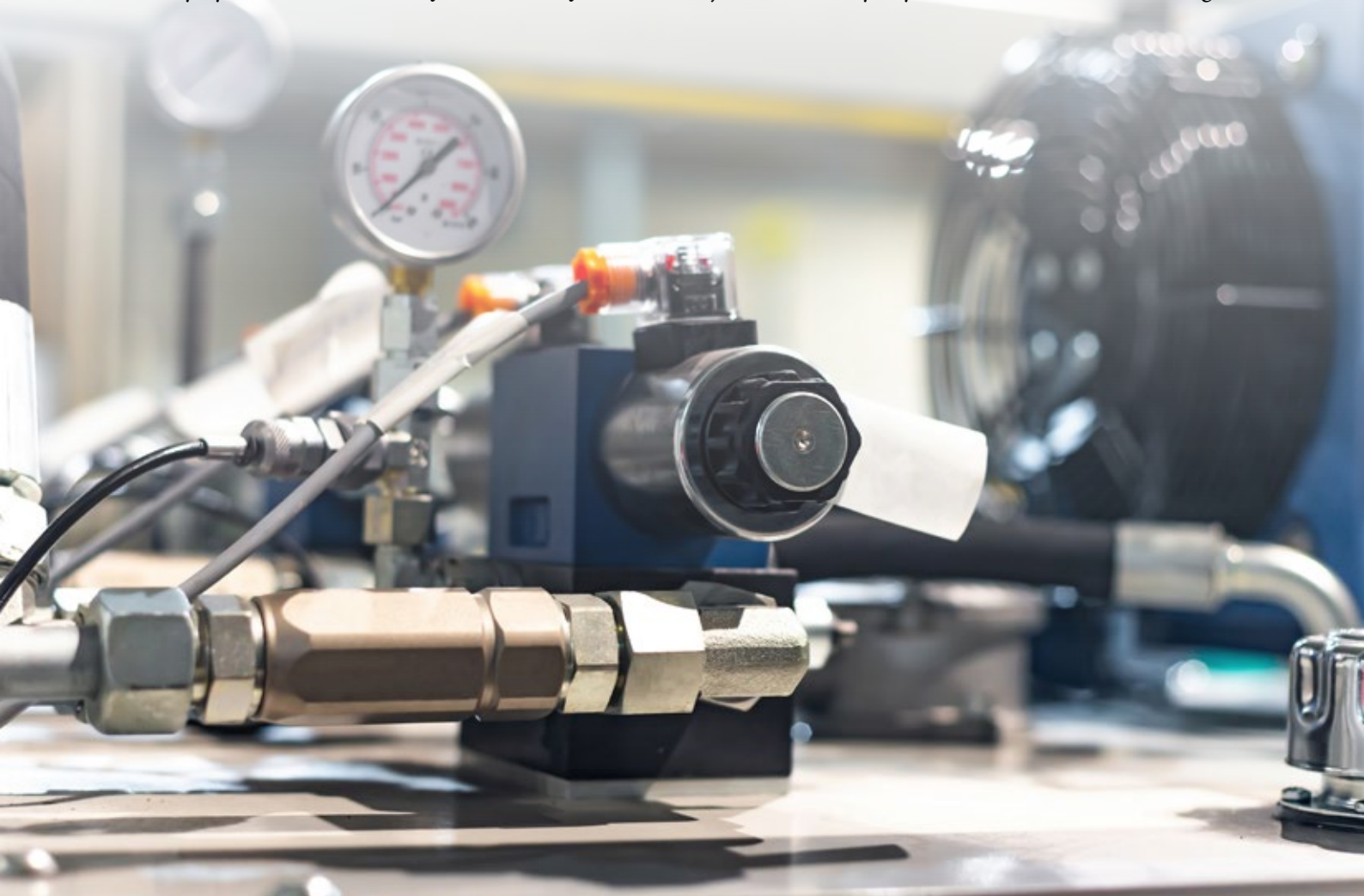
**Rys. 2** Przepływ przez szczelinę pierścieniową kołową koncentryczną

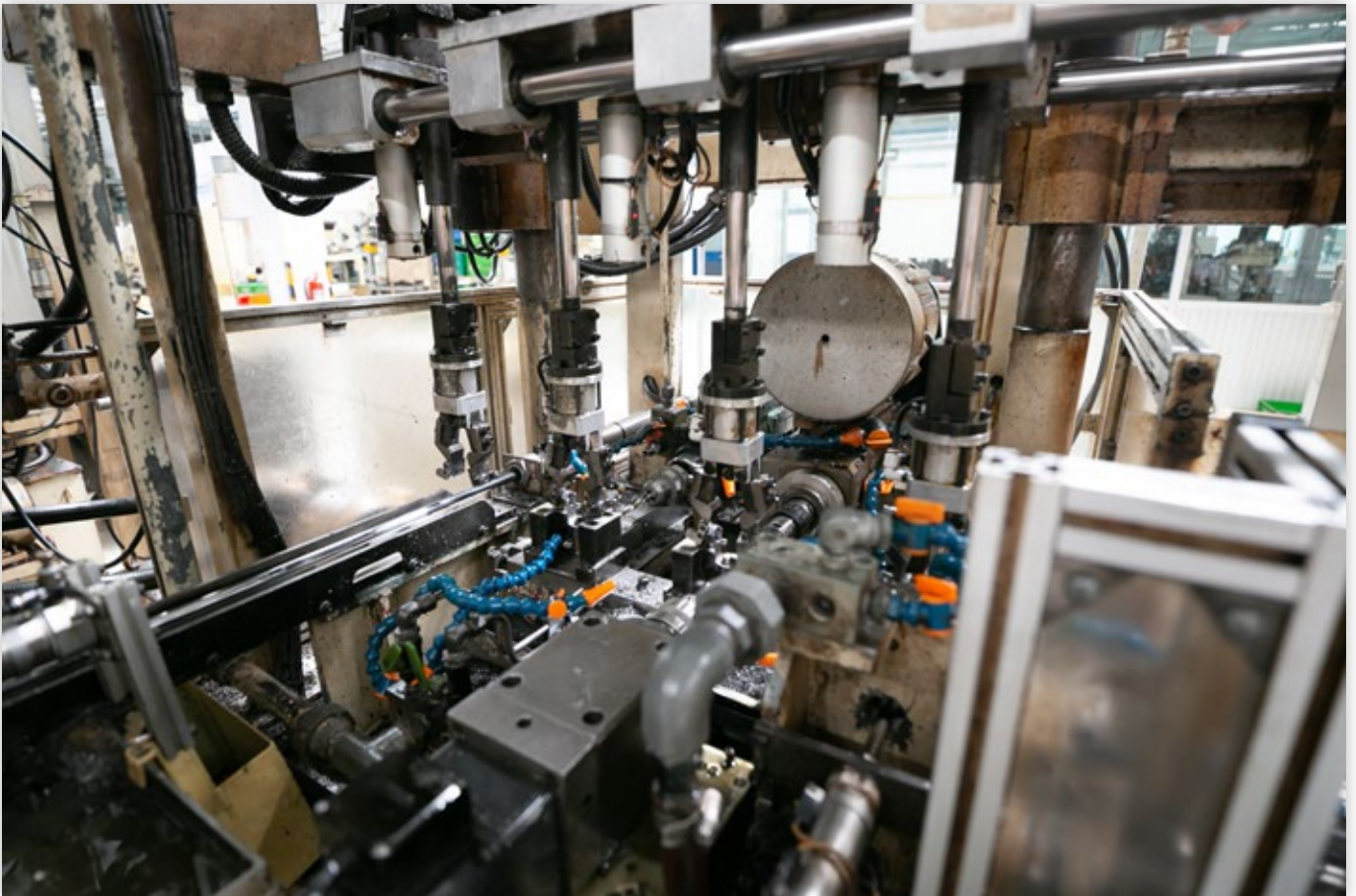
Problemów ze szczelinami może być jeszcze więcej, przykładowo także w elementach urządzeń automatycznego sterowania (a może zwłaszcza tam). Znane są sposoby przeciwdziałania skutkom niewłaściwego doboru szczelin. Jest wiele wzorów obliczeniowych, wykresów empirycznych, które pomagają rozwiązać te dosyć skomplikowane problemy. Występują one zwłaszcza przy konstruowaniu nowych elementów hydrauliki, a zwłaszcza ich uszczelnień. Stosuje się rozwiązania z tarczami ostrobrzeżnymi czy też zespół dyszy strumieniowej.

Ze szczelinami mogą mieć związek wszelkie zabrudzenia aparatury, powodujące zaburzenia działania układów hydraulicznych. Wszelkie okruchy, opiłki, a nawet małe kłaczkę od ściereczek używanych do czyszczenia aparatury mogą spowodować trudne do wykrycia i naprawy zaburzenia działania. Stąd montaż układów hydraulicznych powinien być przeprowadzany w specjalnym, czystym warsztacie z dużą starannością.

Hydraulika obrabiarkowa dotyczy nie tylko obrabiarek do obróbki skrawaniem ale też wszelkich specjalnych maszyn technologicznych, uchwytów i przyrządów stosowanych w przemyśle mechanicznym. W odróżnieniu od innej hydrauliki np. dla maszyn budowlanych i drogowych, czy stosowanych w przemyśle wydobywczym i stoczniowym, hydraulika obrabiarkowa cechuje się mniejszymi rozmiarami, większą różnorodnością (jest znacznie więcej możliwości np. automatycznego sterowania), większym wyborem pewnych gotowych zespołów hydraulicznych i większą możliwością stosowania automatyki sterownej komputerami przemysłowymi (sterownikami). Umożliwia to budowanie skomplikowanych układów hydraulicznych, pracujących w cyklach automatycznych. Również tym, co wyróżnia hydraulikę obrabiarkową są stosowane niższe ciśnienia, na ogół w granicach 16-63 bar.

W konstrukcji obrabiarek występują inne jeszcze układy hydrauliczne, chociaż na ogół

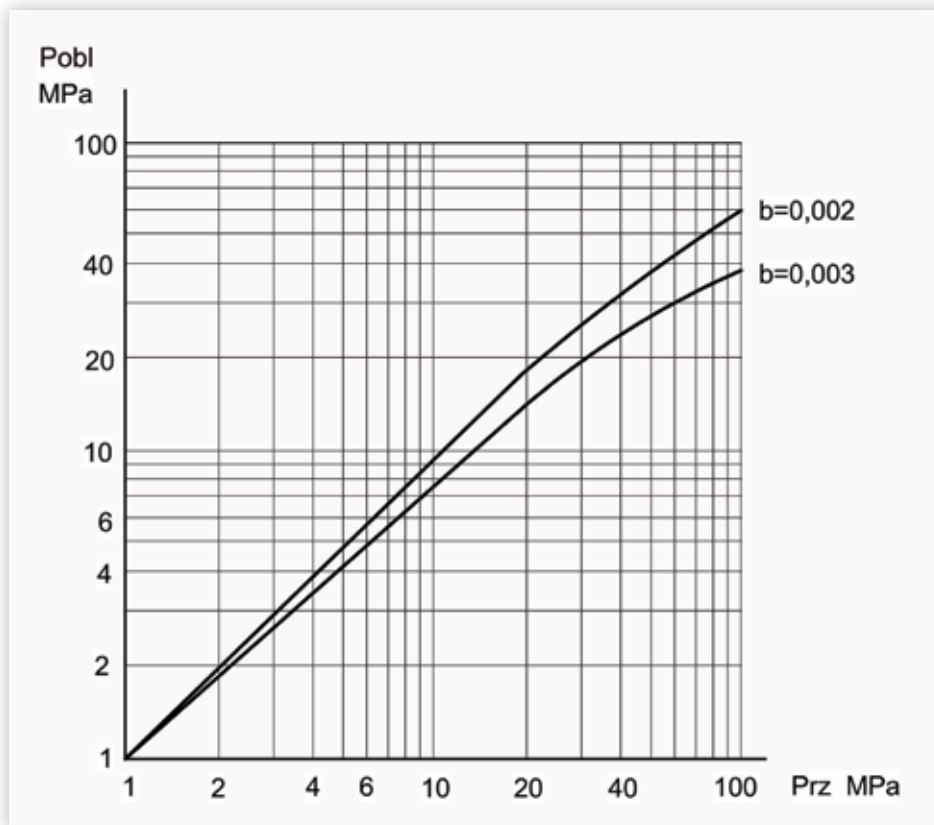




prostsze, jak np. układ centralnego smarowania z dużą niekiedy liczbą rozdzielaczy, cylindereków, dozowników, zespołem pompowym i innymi elementami hydrauliki, a także układ hydrauliczny cieczy chłodzącej. Zdarzają się też w obrabiarkach systemy przeciwpożarowe, przeważnie w oparciu o czynnik – azot lub CO<sub>2</sub>, zwłaszcza w szlifierkach do metali kolorowych, które podczas szlifowania na sucho mogą tworzyć mieszaniny pyłów wybuchowych, opiłków lub drobnych wiórów, z powietrzem.

Stosowanie napędów hydraulicznych w obrabiarkach wynika z dużych zalet urządzeń hydraulicznych w ich budowie, a mianowicie:

- bezstopniowe nastawianie i regulacja prędkości ruchu,
- bardzo spokojny i płynny ruch, wolny od drgań i wstrząsów powodowanych pracą kół zębatych, co wpływa na jakość powierzchni obrabianej, a także na trwałość narzędzia,
- bardzo małe siły bezwładności ze względu na brak mas wirujących,
- duże szybkości ruchów prostoliniowo-nawrotnych i łagodne nawroty,
- dla hydraulicznych silników wirujących bardzo korzystny stosunek momentu obrotowego do momentu bezwładności,
- duże siły robocze przy małych rozmiarach i małym obciążeniu elementów napędowych,
- łatwe zabezpieczenie układu napędowego przed przeciążeniem,
- możliwość ciągłej kontroli obciążenia zespołów obrabiarki,
- prosta obsługa elementów sterowniczych umieszczonych na stanowisku operatora,
- przeważnie niezwykle prosta i trwała konstrukcja obrabiarki, łatwa w obsłudze w porównaniu do automatów np. krzywkowych,
- możliwość stosowania, dla bardziej złożonych cykli, sterowania elektro-hydraulicznego lub elektropneumatycznego,
- duża trwałość elementów hydraulicznych oraz łatwość ich wymiany – praca przez wiele lat bez wymiany tych elementów,



Rys. 3 Zależność ciśnienia obliczeniowego  $p_{ob}$  od ciśnienia rzeczywistego  $p_{rz}$ ,  $b$  – szerokość szczeliny;

- składanie nawet skomplikowanych układów z elementów znormalizowanych oraz tworzenie schematów powtarzalnych dla różnych obrabiarek, także przez firmy wyspecjalizowane w budowaniu takich układów.

Do wad hydrauliki w obrabiarkach zaliczyć można:

- niemożność ścisłego powiązania w prosty sposób ruchów zespołów obrabiarki, np. do nacinania gwintów lub obwodniowej obróbki kół zębatych, bez zastosowania serwomechanizmów hydraulicznych czy elektrohydraulicznych,
- zmiany sił skrawania mogą mieć wpływ na prędkość przesuwania napędzanych elementów przy niewłaściwej konstrukcji,
- zmiany temperatury otoczenia mają wpływ na lepkość oleju, co przekłada się na zmiany oporów przepływu w przewodach i szczelinach,
- zapowietrzenie układu, co prowadzi do niespokojnej pracy napędów, ruchu drgającego, hałaśliwej pracy pomp i zaworów, i szybszego ich zużycia,
- trudno uzyskać bardzo wolne ruchy, ze względu na nieszczelności w elementach, a regulacja

dławieniem powoduje, że małe szczeliny zbyt szybko się zatykają (przy zastosowaniu wysokogatunkowego oleju możliwa do osiągnięcia jest prędkość minimalna około 5 mm/min, co często może być dla konstrukcji prędkością zbyt dużą; pewne możliwości zmniejszenia prędkości są możliwe do osiągnięcia po zastosowaniu serwomechanizmów, co jednak komplikuje konstrukcję obrabiarki),

- potrzeba bardzo dokładnego wykonania i remontów elementów hydrauliki, a także starannego montażu, przez personel o wysokich kwalifikacjach.
- hałas – głównie podczas pracy pompy (w zależności od jej doboru).

Czynnikiem roboczym w układach hydraulicznych obrabiarek jest z reguły olej mineralny. Rodzaj i jakość oleju mają decydujący wpływ na pracę układu hydraulicznego. Do każdego układu hydraulicznego i obrabiarki musi być dobrany odpowiedni gatunek oleju. Przykładowo dla małych i średnich ciśnień, i większych szybkości napędzanych elementów w układzie stosuje się oleje o małej lepkości kinematycznej 20-25 cSt. Przy dużych ciśnieniach i posuwach z małymi prędkościami oraz dla serwomechanizmów lepkość ta powinna wynosić powyżej 40 cSt.

Sporadycznie zamiast oleju stosuje się inne czynniki robocze np. glikol lub płyny na bazie glikolu, dla maszyn pracujących w bardzo niskich temperaturach poniżej  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Znane są też przypadki stosowania wody wodociągowej jako czynnika roboczego dla maszyn stacjonarnych pracujących głównie w gospodarstwach rolnych czy wielkich gospodarstwach ogrodniczych np. szklarniowych, do automatycznego sterowania i napędu zraszaczy, zasłon dachu i ścian,



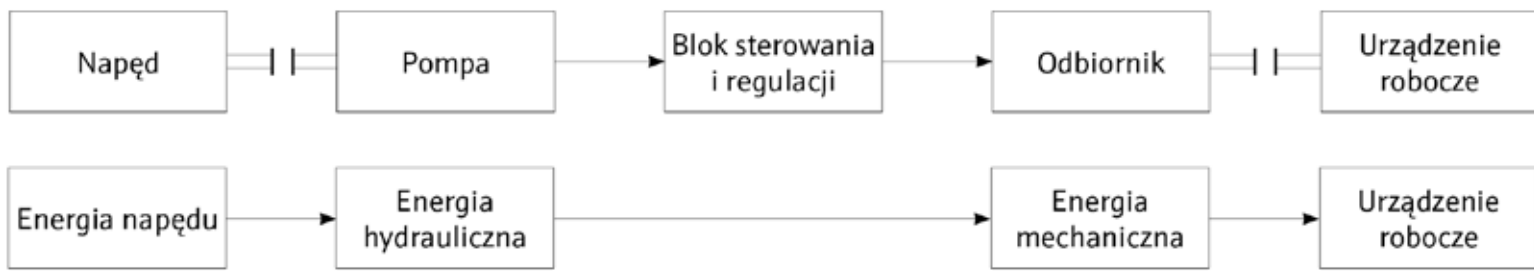
otwierania okien, wentylacji itp. Czynnikiem ten wymaga stosowania elementów układu hydrauliki z tworzyw sztucznych i często stacji przygotowania wody i wyrównania ciśnienia poprzez zawór redukcyjny, chociaż znane są (dla prostych instalacji) przypadki podłączenia instalacji hydraulicznej wprost z siecią wodociągową.

Sterowane napędy hydrauliczne stosuje się najczęściej w obrabiarkach w mechanizmach posuwowych, gdzie realizowany jest cykl: <szybki dobieg narzędzia – posuw roboczy – szybkie wycofanie> i to zarówno w kierunku wzdłuż osi wrzeciona, jak i w kierunku poprzecznym do wrzeciona; również do mocowania detali obrabianych, wysuwu i mocowania tulei wrzecionowych czy mocowania narzędzia. W obrabiarkach specjalizowanych i specjalnych jest nawet więcej możliwości zastosowania hydrauliki obrabiarkowej, np. do napędów stołu obrotowego lub wzdłużnego oraz ryglowania ich pozycji pracy, a w rozbudowanych liniach

obróbczych (oprócz wyżej wymienionych) też do przesuwu i pozycjonowania, np. palet transportujących obrabiane detale.

Hydraulika obrabiarkowa podlega wielu przepisom i normom. Podlega dyrektywie maszynowej i to zarówno jako zespół obrabiarki, jak też gdy niekiedy występuje oddzielnie, jako osobna instalacja. Podlega też często przepisom dyrektywy o minimalnych wymaganiach, zwłaszcza gdy występuje osobno, np. jako instalacja technologiczna, w trakcie dopuszczania do użytkowania i późniejszych badań, i kontroli. Niekiedy podlega też pod dozór UDT i to zarówno instalacja (rurociągi), która występuje oddzielnie, jak i poszczególne jej elementy, jak np. hydroakumulatory lub niektóre zbiorniki. Projekt i wykonanie powinny też być zgodne z dyrektywą ciśnieniową PED (dyrektywa 2014/68/UE).

Obszerny wykaz norm dotyczących hydrauliki obrabiarkowej można znaleźć np. na portalu Centralnego Instytutu Ochrony Pracy.



Rys. 4 Schemat blokowy przepływu energii w instalacjach hydrauliki obrabiarkowej

Podstawowymi elementami układów hydraulicznych obrabiarek są:

- Źródło energii. Jest to w zdecydowanej większości silnik elektryczny napędzający pompę. Wyjątkowo są stosowane inne źródła, jak np. ogólnofabryczna sieć hydrauliczna, chociaż i tam jest centralny zasilacz z napędem pompy silnikiem elektrycznym. Ostatnio jako źródło energii często wykorzystywana jest też sieć pneumatyczna, chociaż i tu sprężarka na ogół napędzana jest silnikiem elektrycznym, rzadziej spalinowym.
- Źródło ciśnienia. Jest to w zdecydowanej większości pompa lub pompy napędzane silnikiem elektrycznym. Niekiedy jest to cylinder z tłokiem, który poruszany jest sprężonym powietrzem lub silnik wirujący napędzany sprężonym powietrzem, rzadziej poruszany częścią ruchomą obrabiarki.
- Urządzenia regulacyjne, czyli zawory. Zadaniem ich jest odcinanie dopływu oleju, np. awaryjne lub automatyczne, regulacja ciśnienia oraz ilości przepływającego oleju w poszczególnych gałęziach układu hydraulicznego.
- Urządzenia sterujące, czyli rozdzielacze. Ich zadaniem jest skierowanie strumieni oleju w odpowiednim momencie do właściwego



odbiornika i równoczesne odprowadzenie z niego oleju odpływającego.

- Silnik hydrauliczny, czyli element wykonujący pracę w sposób logiczny z wykorzystaniem odpowiednio skierowanej i sterowanej energii układu hydraulicznego. Najczęściej jest to cylinder z tłokiem o ruchu prostoliniowym, ale może też być silnik o ruchu wirującym, a niekiedy wahliwym. Zdarzają się też specjalne wykonania silników hydraulicznych.
- Zespoły pomocnicze. W ich skład wchodzi: filtry, chłodnice oleju, rurociągi (na ogół są to rury bez szwu, odpowiednio wyżarzane), a także zbiorniki oleju, często jako elementy zasilacza hydraulicznego. Mogą tu być też inne jeszcze elementy, jak tablice, panele lub szafy do montażu aparatury hydraulicznej, specjalnie wykonywane bloki lub kostki rozdzielające o stałym układzie kanałów, płyty przyłączeniowe, rozdzielacze i złączki obrotowe specjalnej konstrukcji i inne.

Dawniej większość fabryk obrabiarek wykonywała zasilacze hydrauliczne we własnym zakresie. Również projektowanie i wykonawstwo układów były wykonywane w fabryce obrabiarek. Obecnie zdecydowaną większość układów hydraulicznych zleca się do zaprojektowania i wykonania wyspecjalizowanym firmom, które mają doświadczenie, odpowiednie rozeznanie wśród producentów, a także znają przepisy i normy dotyczące hydrauliki. Firmy te mogą dostarczać układy hydrauliczne, jako zespoły, również do seryjnie produkowanych obrabiarek. Chociaż akurat przy seryjnej produkcji warto rozważyć czy bardziej nie opłaca się własna konstrukcja układu hydraulicznego. Niezależnie od tego czy układ zamawiany będzie w kooperacji, czy wykonywany we własnym zakresie, wskazane jest, aby konstruktorzy i serwisanci z biura konstrukcyjnego producenta obrabiarek znali dobrze te zagadnienia i umieli sobie poradzić z modyfikacjami, awariami lub nieprzewidywanymi sytuacjami, które w hydraulice zdarzają się.

W następnych częściach omówione zostaną niektóre inne elementy hydrauliki obrabiarkowej jak: zasilacze, siłowniki, zawory, rozdzielacze i inne części, i zespoły hydrauliki obrabiarkowej.

*Aleksander Łukomski*

#### *Bibliografia:*

- A. Zieliński: *Napęd i sterowanie hydrauliczne obrabiarek*, WNT 1972

W książce podano zasady działania i konstrukcji podstawowych elementów i zespołów urządzeń hydraulicznych stosowanych w obrabiarkach do skrawania metali. Omówiono sposoby nastawiania i regulacji ciśnień i wydajności oraz opisano urządzenia sterujące, jak również urządzenia kopiujące i elementy serwomechanizmów. Materiał uzupełniono przykładami rozwiązań spotykanych w obrabiarkach krajowych i zagranicznych oraz wskazówkami eksploatacyjnymi i remontowymi

- J. Lipski: *Napędy i sterowania hydrauliczne*, WKŁ 1981

W książce podano budowę i działanie konwencjonalnych urządzeń hydraulicznych pędnych i sterowniczych. Szczegółowe objaśnienie konstrukcji i funkcjonowania członów oraz elementów układów hydraulicznych, jak: pompy, akumulatory, siłowniki, silniki, przekładnie, zawory, rozdzielacze, wzmacniacze, filtry, zbiorniki i armatura. Wyczerpująca analiza zastosowań elementów logicznych. Opisy swoistości metod sprawdzania i naprawy typowych obecnie urządzeń hydraulicznych. Praktyczne informacje i zalecenia w zakresie projektowania, wytwarzania i użytkowania urządzeń hydraulicznych

- J. Kosmol: *Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie*, WNT 1998.

- J. Kosmol: *Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem*, WNT 1995

- E. Tomasiak: *Napędy i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2001