

# CIECZE DO UKŁADÓW HYDRAULICZNYCH



## 11.1 Rodzaje napędów hydraulicznych

Napędy hydrauliczne są to elementy maszyn, które przekazują i przekształcają energię w różnego rodzaju ruchy urządzeń wykonawczych, odpowiednie dla potrzeb użytkownika. Wyróżnia się dwa podstawowe typy napędów hydraulicznych: hydrokinetyczne i hydrostatyczne.

**Napędy hydrokinetyczne**, są to mechanizmy (elementy maszyn) wykorzystujące energię kinetyczną cieczy. Zaliczane są do nich:

- sprzęgła hydrokinetyczne,
- przemienniki hydrokinetyczne, przekładnie hydrokinetyczne, przemienniki momentu obrotowego

Napędy hydrokinetyczne są zbudowane z dwóch głównych elementów: wirnika silnika i wirnika odbiornika, zamontowanych we wspólnej obudowie, wypełnionej cieczą hydrauliczną jak to przykładowo pokazano na rys. 11.1.

**Napędy hydrostatyczne**, są to mechanizmy (elementy maszyn), gdzie energia jest przekazywana poprzez zmiany ciśnienia, bez dużych zmian prędkości cieczy hydraulicznej. Działanie napędów hydrostatycznych jest oparte na prawie Pascala.

**Prawo Pascala** – ciśnienie wewnątrz cieczy (płynu) będącej w równowadze, wywołane działaniem sił powierzchniowych (ciśnieniowych) ma wartość jednakową we wszystkich punktach cieczy (płynu).

Przykładem układu hydrostatycznego jest prasa hydrauliczna, której zasadę działania przedstawia rys. 11.2, a opisuje ją wzór (11.1):

$$F_1 : S_1 = F_2 : S_2 \quad (11.1)$$

gdzie:

$F_1$  - siła na wejściu,

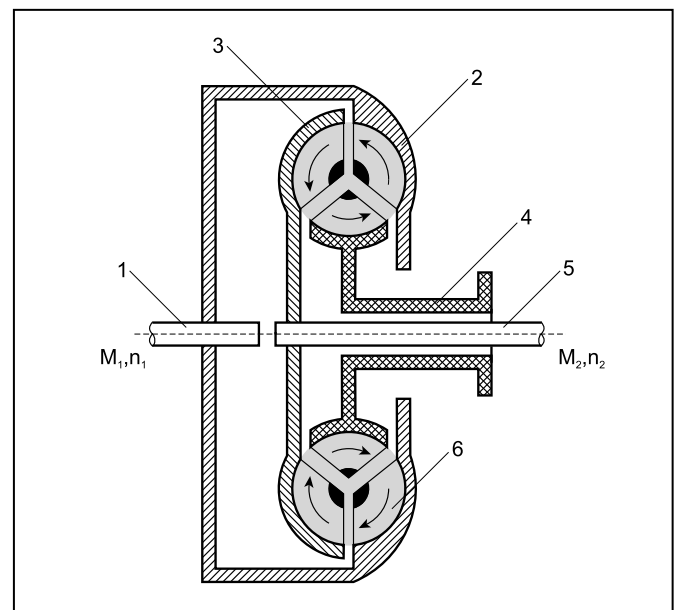
$F_2$  - siła na wyjściu,

$S_1$  - powierzchnia tłoka napędu,

$S_2$  - powierzchnia tłoka roboczego.

## 11.2 Układy hydrauliczne

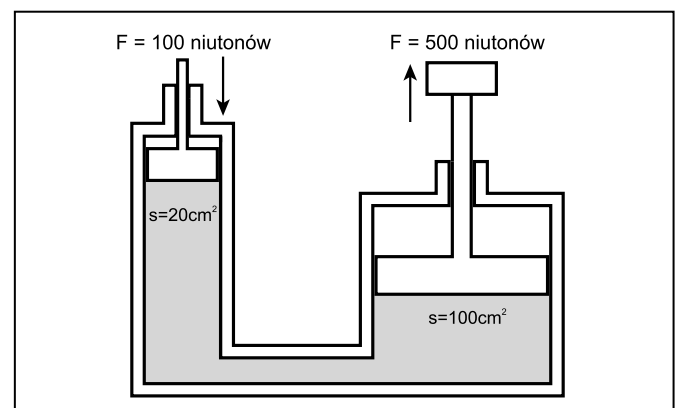
Układ hydrauliczny jest to zespół wzajemnie połączonych elementów przeznaczonych do przekazywania energii lub sterowania za pośrednictwem cieczy hydraulicznej pod ciśnieniem, w układzie zamkniętym. W układach hydraulicznych elementem roboczym jest ciecz hydrauliczna (zwana również cieczą roboczą, olejem hydraulicznym lub płynem hydraulicznym), przekazuje ona energię z generatora do jednego lub kilku odbiorników, względnie do kilku elementów sterowania i regulacji.



Rys. 11.1 Schemat hydraulicznego przemiennika momentu obrotowego  
1 – wałek napędzający, 2 – wirnik akumulatora, 3 – wirnik napędzany, 4 – turbina  
5 – wałek napędzany, 6 – ciecz hydrauliczna  
 $M_1$  – moment wałka napędzającego,  $n_1$  – obroty wałka napędzającego,  $M_2$  – moment wałka napędzanego,  $n_2$  – obroty wałka napędzanego

W układach hydraulicznych elementem generującym energię jest pompa, a elementami odbierającymi są siłowniki hydrauliczne, które w zależności od wykonywanego ruchu dzielą się na:

- cylindry hydrauliczne, zmieniające energię strumienia cieczy w ruch prostoliniowy,
- silniki hydrauliczne, zmieniające energię strumienia cieczy na ruch obrotowy.



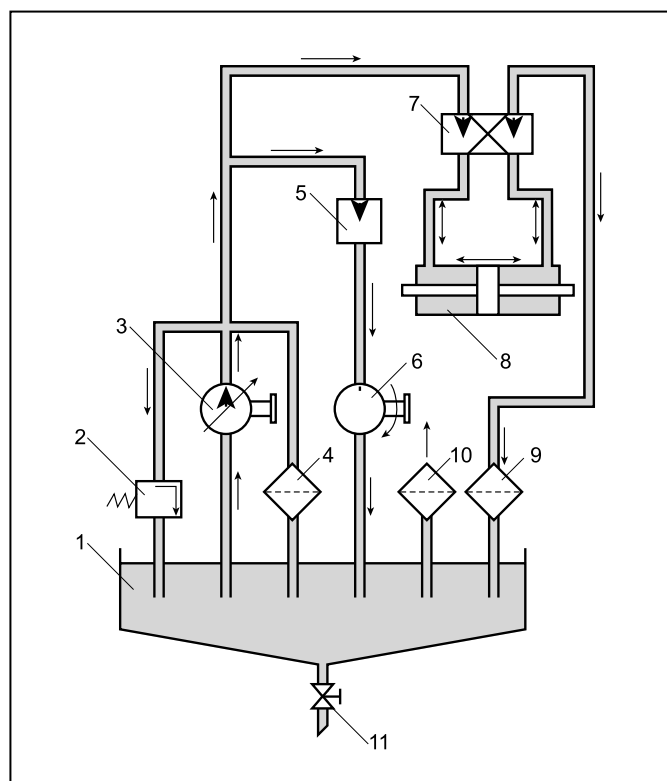
Rys. 11.2 Zasada działania układu hydrostatycznego

Poszczególne zespoły układów hydraulicznych są połączone między sobą przewodami hydraulicznymi. W niniejszym opracowaniu przedstawiono jedynie specyficzną grupę cieczy hydraulicznych – ciecie do układów hydrostatycznych.

Podstawowymi elementami hydraulicznych układów hydrostatycznych są:

- pompy hydrauliczne (trybikowe, tłokowe, nurnikowe itp.),
- siłowniki hydrauliczne (silniki liniowe),
- silniki hydrauliczne (obrotowe),
- zawory,
- filtry,
- przewody hydrauliczne,
- zbiornik cieczy hydraulicznej,
- układ odpowietrzający,
- zespoły pomiarowe i pomocnicze (manometry, przepływomierze, króćce do pobierania próbek, chłodnice itp.),
- cieć hydrauliczna.

Układy hydrauliczne mogą napędzać jeden (pojedyncze) albo wiele (wielokrotne) cylindrów hydraulicznych lub silników hydraulicznych. Schemat hydrostatycznego układu hydraulicznego z siłownikiem hydraulicznym i silnikiem hydraulicznym, przedstawiono na rys. 11.3



Rys. 11.3 Schemat hydrostatycznego układu hydraulicznego  
1 – zbiornik z cieczą hydrauliczną, 2 – zawór zwrotny, 3 – pompa hydrauliczna, 4 – filtr (by-pass), 5 – zawór regulujący dopływ cieczy hydraulicznej do silnika hydraulicznego, 6 – silnik hydrauliczny, 7 – zawór regulujący dopływ cieczy hydraulicznej do siłownika hydraulicznego, 8 – siłownik hydrauliczny, 9 – filtr, 10 – odpowietrzenie, 11 – zawór do zlewania odstoju

### 11.3 Funkcje cieczy hydraulicznych

Ponieważ układy hydrauliczne znalazły liczne zastosowania, między innymi w przemysłach: maszynowym, samochodowym, lotniczym, metalurgicznym, zbrojeniowym, tworzyw sztucznych, w automatyce, w obrabiarkach, w rolnictwie, w budownictwie, w robotach publicznych i wielu innych; w technice tej dokonuje się nieustający postęp. Nowoczesne technologie wymagają spełnienia ściśle określonych i coraz ostrzejszych kryteriów w zakresie:

- niezawodności i trwałości stosowanych materiałów konstrukcyjnych,

- optymalnych parametrów cieczy hydraulicznych,
- łatwego dostosowania układów hydraulicznych do różnych maszyn i innych technologii (na przykład elektroniki),
- przekazywania coraz większych mocy (na przykład moc rzędu 1000 kW w napędach wiertniczych),
- coraz mniejszego stosunku masy układów hydraulicznych do przenoszonej mocy,
- uproszczenia metod kontroli, przy jednoczesnym zwiększeniu ich precyzji,
- łatwej i szybkiej konserwacji.

Wszystkie wymienione czynniki stawiają przed cieczą hydrauliczną wymagania coraz trudniejsze do spełnienia.

Cieć hydrauliczna ma za zadanie przenieść energię z napędu hydraulicznego (najczęściej pompy hydraulicznej) do odbiorników (elementów wykonawczych), takich jak: cylindry i silniki hydrauliczne, wykonujących czynności wymagane przez użytkownika. Ciecz hydrauliczna we współczesnych układach hydraulicznych spełnia następujące, podstawowe funkcje:

- przenoszenie energii i sygnałów sterujących,
- smarowanie ruchomych elementów,
- odprowadzanie ciepła,
- odprowadzanie zanieczyszczeń stałych z układu,
- uszczelnianie układu.

oraz funkcje dodatkowe:

- zmniejszanie zużycia części układu hydraulicznego,
- ochrona przed korozją,
- zabezpieczenie przed szkodliwym działaniem wody,
- zabezpieczenie przed szkodliwym działaniem powietrza.

Funkcje te należy uwzględnić przy wyborze cieczy hydraulicznej. Celem zapewnienia poprawności działania oraz trwałości i niezawodności układu hydraulicznego, cieć hydrauliczna musi posiadać pewne podstawowe właściwości, niezbędne dla przekazywania energii, smarowania i ochrony, tj.:

- odpowiednią lepkość,
- możliwie jak najmniejsze zmiany lepkości w funkcji temperatury (wysoki wskaźnik lepkości),
- wymaganą pompowność w najniższej temperaturze użytkowania,
- mały moduł ściśliwości (na przykład: obecność powietrza w cieczy zwiększa jej ściśliwość),
- brak skłonności do pienia,
- szybkie wydzielanie powietrza,
- dobre właściwości przeciwzuzyciowe,
- dobre właściwości przeciwkorozyjne i przeciwrdzewne,
- stabilność w czasie pracy; to znaczy odporność na utlenianie, ścinanie i degradację termiczną.

Pierwszą używaną cieczą hydrauliczną była woda. Miała ona wiele wad, powodowała między innymi: korozję, osadzanie się kamienia kotłowego, łatwo odparowywała, miała zbyt małą lepkość, złe właściwości niskotemperaturowe, a przede wszystkim brak niezbędnych właściwości smarnych i przeciwzuzyciowych. Aktualnie, jedynie w niewielu pracujących instalacjach przemysłowych jako cieć hydraulicznej używa się jeszcze wody, zwykle z dodatkami przeciwkorozyjnymi. Przeważająca część układów hydraulicznych, stacjonarnych lub przewoźnych, jest napełniona cieczą hydrauliczną, najczęściej będącą uszlachetnionym olejem mineralnym lub roślinnym. Jednakże, w niektórych szczególnych przypadkach, kiedy cieć hydrauliczna musi być trudnopalna, używa się specjalnych cieczy syntetycznych lub w niektórych przypadkach cieczy zawierających wodę.

W hydraulicznie przepływ jest odpowiednikiem prędkości w mechanice, natomiast ciśnienie odpowiednikiem siły. W układzie SI jednostką ciśnienia  $P$  jest Pascal ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ). W praktyce przemysłowej jako jednostkę ciśnienia często stosuje się bary:  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ . Typowe ciśnienie w układach hydraulicznych wynosi od 0,5 bar do 100 bar. Jednostką przepływu  $Q$  jest metr sześcienny na sekundę (w praktyce:  $\text{dm}^3/\text{min}$  lub  $\text{litr}/\text{min}$ ).

## 11.4 Ciecze hydrauliczne

Jako ciecze hydrauliczne są stosowane oleje o klasach lepkości od ISO VG 5 do ISO VG 300, o składzie chemicznym dostosowanym do warunków pracy i materiałów konstrukcyjnych układu. Są to:

- rafinowane oleje mineralne,
- oleje syntetyczne na bazie PAO,
- oleje na bazie estrów polioliowych,
- oleje syntetyczne na bazie poliglikolowej,
- oleje roślinne,  
oraz jako tzw. trudnopalne ciecze hydrauliczne:
- estry kwasu fosforowego,
- emulsje wodno-olejowe,
- emulsje olejowo-wodne,
- wodne roztwory glikoli i poliglikoli,
- wodne roztwory polimerów.

## 11.5 Ocena właściwości użytkowych cieczy hydraulicznych

### 11.5.1 Metody laboratoryjne

**Właściwości przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe (EP).** Podstawowymi cechami użytkowymi cieczy hydraulicznych są właściwości przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe. Urządzenia hydrauliczne, szczególnie pompy, są to urządzenia bardzo precyzyjne. Ciecz hydrauliczna nie powinna powodować ich nadmiernego zużycia, które prowadziłoby do zwiększenia luzów, co może powodować utratę ich sprawności. Wysokie ciśnienia stanowią czynnik podwyższający ryzyko zużycia i jego konsekwencje. Stosowane dodatki uszlachetniające, organiczne lub metaloorganiczne pozwalają nadać cieczy hydraulicznej wymagane właściwości przeciwzużyciowe, nawet przy bardzo dużych ciśnieniach. Tworzą one na chronionej powierzchni metalu, warstwę filmu olejowego zmniejszającą możliwość wystąpienia mikrozatarć.

Właściwości przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe określa się dwoma uzupełniającymi się rodzajami testów (patrz p. 4.7), z wykorzystaniem:

- standardowych maszyn do prób zużycia i tarcia, powszechnie stosowanych w przypadkach innych cieczy eksploatacyjnych,
- specjalnych hydraulicznych stanowisk badawczych.

Korelacja standardowych metod badawczych z praktyką eksploatacyjną nie zawsze jest łatwa do jednoznacznego ustalenia. W związku z tym, opracowano metody badań na stanowisku wykorzystującym rzeczywiste elementy układów hydraulicznych.

Najbardziej znane metody tego typu wykorzystują pompy łopatkowe Vickers V 104 C lub V 105 C (patrz p. 4.7.6). Polegają one na pomiarach (po pracy w ustalonych warunkach) ubytku masy stojana i łopatek specjalnej pompy testowej. W zależności od wymagań stawianych cieczy hydraulicznej, istnieje wiele wersji tej metody, różniących się od siebie ciśnieniem, prędkością, temperaturą lub czasem badania. Do badań cieczy hydraulicznych, stosuje się stanowisko badawcze (pompa Vickers), którego schemat przedstawiono na rys. 4.46.

Przykładowo, przy stosowaniu tej metody ciecze hydrauliczne o dobrych właściwościach przeciwzużyciowych dają następujące wyniki:

- stojan pompy: ubytek masy < 120 mg,
- łopatki pompy: ubytek masy < 30 mg.

**Zdolność do uwalniania powietrza.** Obecność powietrza w układzie hydraulicznym może pociągać za sobą możliwość wystąpienia poważnych zakłóceń:

- zwiększa ściśliwość mieszaniny powietrze-ciecz,
- przyspiesza utlenianie oleju,
- powoduje wzrost temperatury, związany ze zwiększoną ściśliwością, a tym samym przyspieszone starzenie oleju,

- niedostateczne smarowanie,
- kawitację.

Z tych względów, układ hydrauliczny należy tak konstruować i eksploatować, aby uniknąć przedostawania się do niego powietrza.

W przypadku, gdy powietrze dostanie się do układu z jakiegokolwiek powodu, ważne jest, aby zostało ono jak najszybciej uwolnione z cieczy hydraulicznej. Od cieczy hydraulicznych wymaga się aby łatwo uwalniały pęcherzyki powietrza. Kontrola tej właściwości polega na nasyceniu próbki cieczy hydraulicznej powietrzem wtłaczanym przez dyszę i śledzeniu zmian zawartości powietrza w cieczy w funkcji czasu, poprzez pomiar gęstości, przy użyciu wagi hydrostatycznej. W tym badaniu, ciecze hydrauliczne o średniej lepkości 32...68 mm<sup>2</sup>/s (w temperaturze 40°C), mają czas wydzielenia powietrza w granicach 5...10 minut.

**Słonność do pienienia.** W przypadku cieczy hydraulicznych, niezbędne jest zapewnienie dobrych właściwości przeciwpiennych. Powstawanie piany w układzie hydraulicznym stwarza niebezpieczeństwo wycieku cieczy hydraulicznej w postaci piany, lub dodatkowego zasysania powietrza, a w konsekwencji zakłócenia w pracy układu. Właściwości te są oceniane w badaniu słonności do pienienia (patrz p. 4.13), która polega na wdmuchiwanie powietrza z butli lub sprężarki do badanej cieczy hydraulicznej i mierzeniu objętości oraz trwałości wytworzonej piany, w różnych temperaturach, z zastosowaniem aparatu, przedstawionego na rys. 4.65 lub innymi metodami, modelującymi warunki pracy cieczy hydraulicznej.

W przypadkach niektórych rodzajów cieczy hydraulicznych, w celu zmniejszenia słonności do pienienia, do cieczy hydraulicznych są wprowadzane specjalne dodatki przeciwpienne (patrz p. 2.5.3).

**Zawartość wody.** Woda w postaci wolnej jest bardzo szkodliwym zanieczyszczeniem cieczy hydraulicznych. Skutkiem jej obecności w układzie hydraulicznym mogą być:

- korozja elementów układu,
- zacieranie współpracujących powierzchni (tłoków, serwomechanizmów, regulatorów itp.),
- rozkład bazy olejowej (np. hydroliza estrów) i dodatków,
- rozwój mikroflory w układzie,

Woda może przedostawać się do układów hydraulicznych poprzez:

- nieszczelność w wymienniku ciepła,
- kondensację wilgoci atmosferycznej po każdym zatrzymaniu,
- przenikanie, przy braku szczelności (uszczelki cylindra, uszczelki zbiornika) ze środowiska zewnętrznego,
- przedostawanie się emulsji olejowo-wodnej z obrabiarki.

Możliwość obecności wody w układzie hydraulicznym jest powodem, że od cieczy hydraulicznych wymaga się następujących właściwości:

- przeciwrzecznych i przeciwkorozyjnych,
- odporności na hydrolizę,
- braku słonności do tworzenia emulsji (odporność na emulgowanie - deemulgowalność).

Usuwanie wolnej wody z układów hydraulicznych jest wykonywane poprzez:

- odstawanie i zlewanie odstojów specjalnym zaworem, zainstalowanym w dennej części zbiornika układu,
- filtrację poprzez specjalne filtry-separatory wody,
- odwirowywanie z zastosowaniem wirówek lub cyklonów.

W przypadkach, gdy w układzie powstanie trwała emulsja olejowo-wodna, najczęściej zachodzi konieczność całkowitej wymiany cieczy hydraulicznej. W każdym przypadku należy zidentyfikować źródło przedostawania się wody do układu i wyeliminować taką możliwość.

Zawartość wody w nowych i eksploatowanych cieczach hydraulicznych jest oceniana metodami, przedstawionymi w p. 4.23.

**Odporność na hydrolizę.** Składniki bazy olejowej, a także dodatki obecne w cieczy hydraulicznej (przeciwutleniające, przeciwkorozyjne, przeciwzużyciowe) nie powinny ulegać rozkładowi pod wpływem wody. Rozkład taki (zwany hydrolizą) powodowałby,

poza utratą skuteczności dodatków, zjawisko korozji i powstawanie osadów. Do oceny tej właściwości, są stosowane badania odporności na hydrolizę, najczęściej z zastosowaniem testu „Coca-Cola” lub poprzez oznaczanie tzw. liczby zmydlenia (patrz p. 4.10.6).

**Odporność na tworzenie emulsji (deemulgowalność).** Jeżeli ciecz hydrauliczna jest poddawana regularnym i licznym kontaktom z wodą (co może wynikać ze specyfiki układu), niezbędne staje się używanie takiej cieczy hydraulicznej, która jest szczególnie odporna na emulgowanie, to znaczy takiej, która szybko oddziela się od wody bez tworzenia trwałej emulsji. Właściwość ta pozwala na prawie całkowite odprowadzenie wody z układu hydraulicznego, poprzez separację w zbiorniku. Odporność cieczy hydraulicznych na tworzenie emulsji jest oceniana w teście, przedstawionym w p. 4.14, który polega na mieszaniu równych objętości wody i cieczy hydraulicznej (40 ml cieczy hydraulicznej i 40 ml wody) łopatkami obracającymi się z prędkością 1500 obr/min. Obserwuje się utworzoną emulsję i mierzy się czas jej rozdzielenia. Jako wynik podaje się w kolejności: objętość warstwy olejowej, wodnej i emulsji oraz czas rozwarstwienia.

*Przykładowe wyniki badania deemulgowalności:*

*40-40-0 w 20 minut oznacza, że całkowite rozdzielenie warstw następuje po 20 minutach,*

*39-35-6 w 60 minut oznacza, że po upływie 60 minut obserwuje się 39 ml oleju, 35 ml wody i 6 ml emulsji.*

**Właściwości przeciwkorozyjne i przeciwrdzewne.** Obecność śladów rdzy lub korozji na bardzo precyzyjnie spasowanych elementach układów hydraulicznych jest niedopuszczalna i często jest powodem poważnych niesprawności układu, a nawet awarii. Dlatego ciecz hydrauliczna powinna mieć bardzo dobre właściwości przeciwrdzewne i przeciwkorozyjne. Właściwości takie są uzyskiwane w wyniku zastosowania odpowiednich baz olejowych oraz dodatków uszlachetniających, których zadaniem jest zwiększenie powinowactwa oleju do powierzchni metalowych. Właściwości przeciwrdzewne i przeciwkorozyjne cieczy hydraulicznych są oceniane metodami, przedstawionymi w p. 4.9.

Ciecz hydrauliczna nie powinna oddziaływać korozyjnie na metale kolorowe, a w szczególności na miedź. Zachowanie wobec tego metalu jest oceniane na podstawie odniesienia do wzorców korozji zmian zabarwienia testowej płytki miedzianej, zanurzonej w ocenianej cieczy hydraulicznej przez 3 godziny, w temperaturze 100°C wg metody przedstawionej w p. 4.9. Na ogół wymaga się, aby ciecz hydrauliczna w tym teście nie wykazywała korozji większej od reprezentowanej wzorcem 1 lub 2 wg skali ASTM D 130/IP 154.

**Odporność na utlenianie.** Każdy wzrost temperatury, nawet chwilowy, może powodować pogarszanie się jakości cieczy hydraulicznej poprzez jej utlenianie i rozkład termiczny. Warunki pracy niektórych układów mają tendencję do dość silnego rozgrzewania cieczy hydraulicznej (temperatura powyżej 60°C). W takiej sytuacji jest konieczne, aby ciecz hydrauliczna wykazywała dobre właściwości przeciwutleniające, co zapewnia dobrą trwałość cieczy bez ryzyka starzenia, korozji lub zanieczyszczenia układu.

Spośród wielu możliwych metod badania tendencji do starzenia, zazwyczaj stosuje się badanie (patrz p. 4.8), polegające na mieszaniu oleju przy użyciu sprężonego tlenu, w obecności wody oraz katalizatorów: żelaznego i miedzianego, w temperaturze 95°C. Po zakończeniu badania, które trwa na ogół 1 000 lub 2 000 godzin, oznacza się liczbę kwasową (LK, TAN) i ilość utworzonych osadów.

**Odporność na ścinanie.** Przy obecnym poziomie technologii rafinacji i oczyszczania, większość bazowych olejów mineralnych, stosowanych do produkcji cieczy hydraulicznych ma naturalne wskaźniki lepkości zawarte między 95 a 105. Znaczna część cieczy hydraulicznych, dostępnych na rynku ma wskaźniki lepkości odpowiadające tym wartościom; są to tzw. oleje o „naturalnym wskaźniku lepkości”. Jeżeli chce się otrzymać ciecz hydrauliczną o wyższym wskaźniku lepkości, konieczne jest wprowadzenie dodatków, nazywanych modyfikatorami lepkości. Dodatki takie są polimerami o długich łańcuchach. Wiskozatory muszą być do-

bierane ostrożnie, ponieważ niektóre z nich mają tendencję do „ścianania” podczas pracy. Proces ścinania wiskozatorów zachodzi szczególnie intensywnie, w przypadku szybkich zmian ciśnienia oraz występowania zjawiska kawitacji (patrz p. 4.11). Zjawisko to pociąga za sobą zmniejszenie lepkości i wskaźnika lepkości.

Aby określić odporność cieczy hydraulicznych na ścinanie, najczęściej stosuje się badania, polegające na przepuszczaniu określonej objętości cieczy hydraulicznej, w czasie np. 250 cykli, przez klasyczny wtryskiwacz firmy Bosch. Gwałtowna zmiana ciśnienia (od 175 bar do 0 bar), po przejściu przez bardzo wąski otwór (2...5 µm), poddaje ciecz bardzo dużym naprężeniom ścinającym. Mierzy się różnicę lepkości przed i po badaniu.

**Oddziaływanie na elastomery.** Ciecze hydrauliczne, giętkie przewody, uszczelki statyczne i dynamiczne, w układzie hydraulicznym powinny być dobrane w taki sposób, aby nie wykazywały wzajemnego, niekorzystnego oddziaływania. Uszczelki powinny być dobrane również zgodnie z zakładanym zakresem temperatur pracy. Jak wspomniano wcześniej, punkt anilinowy daje tylko przybliżone informacje o zachowaniu olejów mineralnych wobec elastomerów. Ciecze hydrauliczne o niskich punktach anilinowych mogą powodować pęcznienie, natomiast ciecze o wysokich punktach anilinowych powodują skurcz. Jednakże czynnikiem decydującym o intensywności i rodzaju zachodzących zmian jest typ elastomeru, z którego są wykonane uszczelnienia. Z tych względów, producenci uszczelnień określają optymalny punkt anilinowy dla swojego wyrobu, na podstawie badań z olejami odniesienia: ASTM 1, 2 i 3, o punktach anilinowych odpowiednio 124°C, 93°C i 60°C. Pomiary te mogą być uzupełniane badaniem twardości i innych mechanicznych właściwości uszczelki.

Przyjmuje się, że ciecze hydrauliczne na bazie węglowodorowej są kompatybilne z uszczelnieniami typu: NBR, FPM i AU.

### 11.5.2 Specjalne metody badań trudnopalnych cieczy hydraulicznych

Ciecze hydrauliczne, przeznaczone do stosowania w układach gorących (bloki energetyczne, piece stalownicze, górnictwo), tam gdzie istnieje groźba pożaru w przypadku niekontrolowanego wypływu cieczy hydraulicznej do otoczenia, muszą być trudnopalne. Celem sprawdzenia trudnopalności takich cieczy zostały opracowane różne specyficzne testy, na przykład:

- badanie odporności na zapalenie w strumieniu rozpylonym, pod wysokim ciśnieniem,
- badanie odporności na palenie w silniku ze zmiennym stopniem sprężania,
- badanie rozprzestrzeniania się ognia, w mieszance złożonej z pyłu węglowego i hydraulicznych cieczy trudnopalnych,
- rozpylanie mgły cieczy hydraulicznej na stopiony metal, o temperaturze (800°C), wyższej niż temperatura samozapłonu, i ocenie czasu, po którym nastąpi samozapłon (metoda TUV).

Ponadto, dla tego typu cieczy hydraulicznych, sprawdza się toksyczność w stanie świeżym i po rozkładzie termicznym.

## 11.6 Klasyfikacja cieczy hydraulicznych

Aktualnie, powszechnie jest stosowana klasyfikacja cieczy hydraulicznych wg ISO 6743-4:1999 (EN-ISO 6743-4:2001), rodzina H (hydraulic systems), w skrócie przedstawiona w tabeli 11.1

### 11.6.1 Mineralne ciecze hydrauliczne

Według ISO 6743/4 wyróżnia się następujące klasy jakościowe mineralnych cieczy hydraulicznych (olejów hydraulicznych), do układów hydrostatycznych:

Mineralne ciecze hydrauliczne HM i HV są powszechnie stosowane w typowych układach hydraulicznych. Ciecze typu HH są czystymi olejami mineralnymi, które w wielu przypadkach mogą właściwie spełnić

TABELA 11.1 Klasyfikacja olejów przemysłowych wg ISO 6743-4:1999 (EN-ISO 6743-4:2001). Rodzina H (układy hydrauliczne).

Symbol ISO	Skład i właściwości	Zastosowania
<b>Układy hydrostatyczne</b>		
HH	Rafinowane nieinhibitowane oleje mineralne	
HL	Rafinowane oleje mineralne z poprawionymi właściwościami przeciwkorozyjnymi i przeciwutleniającymi	
HM	Oleje HL z poprawionymi właściwościami przeciwwżyciowymi	Typowe układy hydrauliczne, które zawierają mocno obciążone elementy
HR	Oleje HL z poprawionymi właściwościami lepkościowo-temperaturowymi	
HV	Oleje HM z poprawionymi właściwościami lepkościowo-temperaturowymi	Budownictwo i zastosowania morskie
HS	Ciecze syntetyczne, nie specyfikowane jako trudnopalne	Specjalne zastosowania
HETG	Trójglicerydy	Tam gdzie są potrzebne ciecze przyjazne dla środowiska. Do układów hydraulicznych przewoźnych. Minimalna zawartość cieczy bazowej nie powinna być mniejsza niż 70% (m/m).
HEPG	Poliglikole	
HEES	Syntetyczne estry	
HEPR	PAO i inne produkty węglowodorowe	
HG	Oleje HM z poprawionymi właściwościami zapobiegającymi drganiom ciernym (stick/slip)	Systemy hydrauliczne prowadnic, do maszyn z wspólnym systemem smarowania hydrauliki i łożysk, przy występowaniu niewielkich drgań ciernych
HFAE	Emulsje oleju w wodzie, zawierające ponad 80 % (m/m) wody	Zastosowania wymagające cieczy niepalnych
HFAS	Roztwór związków chemicznych w wodzie, ponad 80 % (m/m) wody	
HFB	Emulsje typu woda w oleju	
HFC	Roztwór polimeru w wodzie, zawierający ponad 35 % (m/m) wody	
HFDR	Ciecze syntetyczne, nie zawierające wody, estry fosforanowe	
HFDU	Ciecze syntetyczne o innym składzie, nie zawierające wody	
<b>Układy hydrokinetyczne</b>		
HA	Przekładnie automatyczne	Klasyfikacje nie są jeszcze dokładnie opisane, mogą być uzupełniane
HN	Sprzęgła i przemienniki mocy	

podstawową rolę cieczy hydraulicznych, to jest przekazywanie energii. Zapewniają one ochronę przeciwkorozyjną i smarowanie w zakresie charakterystycznym dla olejów mineralnych bez dodatków. Nadają się do mało wymagających zastosowań. Wykazują doskonałą odporność na działanie wody. Są zalecane do urządzeń o średnim ciśnieniu oraz wtedy, kiedy dodatki przeciwwżyciowe nie są konieczne.

### 11.6.2 Inne rodzaje olejów hydraulicznych

Jako ciecze hydrauliczne bywają także stosowane inne oleje mineralne, na przykład:

- oleje mineralne, o bardzo wysokim wskaźniku lepkości i bardzo niskiej temperaturze płynięcia, przeznaczone do zastosowań w niskich temperaturach (np. w lotnictwie); odpowiadające normom wojskowym,
- oleje silnikowe oraz oleje do przekładni hydrokinetycznych; oleje te posiadają większość właściwości olejów hydraulicznych; są one zalecane przez różnych producentów maszyn budowlanych, równolegle z olejami hydraulicznymi,
- oleje hydrauliczne z detergentami; są to oleje odpowiadające kategorii HM, lecz z możliwością dyspergowania pewnych ilości wody.

### 11.6.3 Trudnopalne ciecze hydrauliczne

W niektórych zastosowaniach, obecność substancji łatwopalnych lub poddawanych bardzo wysokim temperaturom, może spowodować zapalenie olejów hydraulicznych, na przykład podczas przypadkowego pęknięcia elastycznego przewodu hydraulicznego i możliwego wtedy kontaktu rozlanego oleju z gorącą powierzchnią lub ogniem. W takim przypadku, konieczne jest stosowanie trudnopalnych cieczy hydraulicznych. Ciecze takie zostały opracowane głównie dla potrzeb przemysłu węglowego, metalurgicznego i energetycznego.

Znormalizowane wymagania na trudnopalne ciecze hydrauliczne typu HFAE, HFAS, HFB, HFC, HFDR i HFDU są zawarte w normach międzynarodowych: ISO 12 922:1999 + Cor.1:2001 (EN-ISO 12 922:2001). Zalecenia dotyczące zastosowań tego typu cieczy są podane w normie ISO 7745:1989. W przemysłowych układach hydraulicznych, najczęściej używanymi, trudnopalnymi cieczami hydraulicznymi są: HFC, HFDR i HFDU.

Trudnopalne ciecze hydrauliczne mogą nie mieszać się z węglowodorowymi lub estrowymi olejami hydraulicznymi. Z tego względu, w przypadku zmiany cieczy hydraulicznej z olejowej na trudnopalną należy posługiwać się specjalnymi zaleceniami, zawartymi w normie ISO 7745:1989.

### 11.6.4 Biodegradowalne ciecze hydrauliczne

Do tej grupy są zaliczane ciecze hydrauliczne w zasadzie nie zawierające wody płyny: HETG, HEPG, HEES, HEPR. Dopuszczalna zawartość oleju bazowego nie powinna być mniejsza niż 70 %. Ciecze hydrauliczne tego rodzaju są przeznaczone do urządzeń mobilnych, stosowanych tam, gdzie ochrona środowiska jest szczególnie istotna: rezerwaty, parki narodowe, miejscowości uzdrowiskowe, miejsca w pobliżu wód powierzchniowych itp.

## 11.7 Czystość cieczy hydraulicznych

### 11.7.1 Zanieczyszczenia cieczy hydraulicznych

Od cieczy hydraulicznych wymaga się czystości odpowiedniej do luzów i ciśnień w układzie hydraulicznym oraz braku zawartości zanieczyszczeń stałych. Zanieczyszczona ciecz hydrauliczna może spowodować wadliwą pracę układu hydraulicznego lub nawet

jego awarię. Mechanizmy oddziaływania zanieczyszczeń stałych na mechanizmy zostały szerzej omówione w p. 4.22.7. Nieodpowiednia czystość cieczy hydraulicznej jest przyczyną ponad 80 % awarii układów hydraulicznych.

Zanieczyszczenia stałe w układach hydraulicznych mogą pochodzić z czterech głównych źródeł:

- wewnętrznych, związanych z funkcjonowaniem różnych części składowych układu hydraulicznego (pompa, zbiornik, odbiorniki, elementy sterujące), stanowiących produkty zużycia,
- zewnętrznych, przedostających się do układu przez przewody, zawory, trzpienie siłowników, obudowy pomp i silników,
- własnych instalacji hydraulicznej, tj. pozostałości z procesów produkcji elementów układu, np.: wylewki produkcyjne, piasek z form odlewniczych, farby,
- dodatkowych, mogących przedostać się na przykład w czasie uzupełniania płynu hydraulicznego, konserwacji urządzeń, itp.

W zależności od wymiarów cząstek zanieczyszczeń stałych, różne są ich źródła pochodzenia i różne konsekwencje ich obecności w cieczy hydraulicznej, co bardziej szczegółowo przedstawiono w p. 4.22.7 oraz 4.22.8.

Obecność w cieczy hydraulicznej zanieczyszczeń stałych może prowadzić do zniszczenia układu hydraulicznego lub zatkania filtrów. Skutkiem obecności zanieczyszczeń stałych jest przyspieszone zużycie elementów układu: zaworów, pomp. Szczególnie groźne są uszkodzenia pomp hydraulicznych i regulatorów suwakowych.

W praktyce eksploatacyjnej, obok procesów zużycia występują inne zjawiska, związane z obecnością zanieczyszczeń stałych. Należą do nich zamulanie i zarastanie, prowadzące do zatykania przewodów układu hydraulicznego lub zmniejszania ich przekroju poprzecznego. Zamulanie prowadzi do zwiększenia czasu odpowiedzi układu hydraulicznego na impuls sterujący, zmienia charakterystykę dynamiczną układu oraz częstotliwość (szczególnie w przekładnikach proporcjonalnych). Wynikiem tego zjawiska jest zmniejszenie zakresu możliwości regulacji układu. Zamulanie może doprowadzić także do całkowitego zatkania i unieruchomienia układu. Jest ono przeważnie powodowane przez cząstki zanieczyszczeń o wymiarach zbliżonych do wielkości luzów technologicznych.

### 11.7.2 Metody oceny czystości cieczy hydraulicznych

Czystość cieczy hydraulicznych określa się następującymi parametrami:

- zawartością zanieczyszczeń stałych,
- składem granulometrycznym zanieczyszczeń stałych,
- zawartością wolnej wody.

Zawartość zanieczyszczeń stałych najczęściej jest oznaczona metodami tzw. analizy grawimetrycznej (patrz p. 4.22.3). Polega ona na przefiltrowaniu 100 ml badanego oleju przez membranę filtracyjną, najczęściej o nominalnej średnicy porów 0,8  $\mu\text{m}$ . Poprzez ważenie membrany czystej (przed filtracją) i z wydzielonymi zanieczyszczeniami, określa się ilość zanieczyszczeń stałych, w jednostce objętości cieczy hydraulicznej (najczęściej w mg/100 ml).

Skład granulometryczny zanieczyszczeń stałych (patrz p. 4.22.4), ocenia się na podstawie zliczania cząstek zanieczyszczeń o określonych wymiarach (średnicach zastępczych), przypadających na jednostkę objętości cieczy (najczęściej na 1 ml lub 100 ml).

Zawartość wody w cieczach hydraulicznych jest oceniana metodami: K. Fischera lub wodorkową (patrz p. 4.23). Metodami tymi jest oznaczana łączna zawartość wody rozpuszczonej i wolnej (zdyspergowanej). W przypadku, gdy zawartość wody w sposób znaczący przekracza rozpuszczalność, są stosowane metody: destylacyjna lub nefelometryczna.

### 11.7.3 Współczynnik filtracji i skuteczność filtracji

Na czystość cieczy hydraulicznych pracujących w układach hydraulicznych istotny wpływ ma jakość filtrów zainstalowanych w układzie hydraulicznym. Są one dobierane przez konstruktorów układów tak, aby podczas pracy ciecz hydrauliczna spełniała kryteria czystości stawiane dla danego układu. Do oceny jakości filtrów są stosowane następujące parametry:

- współczynnik filtracji,
- skuteczność filtracji,
- nominalna dokładność filtracji.

**Współczynnik filtracji  $\beta_x$**  – jest to stosunek liczby cząstek o wymiarze  $x$ , znajdujących się w takiej samej objętości cieczy hydraulicznej, przed filtrem, do liczby cząstek o tym samym wymiarze  $x$  za filtrem, zgodnie ze wzorem (11.2), gdzie  $x$  jest średnicą zastępczą cząstki w mikrometrach, definiowaną w jeden ze sposobów podanych w p. 4.22.2.

$$\beta_x = \frac{n_1}{n_2} \quad (11.2)$$

gdzie:

$n_1$  - liczba cząstek przed filtrem,

$n_2$  - liczba cząstek za filtrem.

**Skuteczność (efektywność) filtracji  $e_f$**  (wyrażona w procentach) – określa stosunek różnicy liczby cząstek zanieczyszczeń ( $n_1$ ) przed i ( $n_2$ ) za filtrem, do liczby cząstek przed filtrem ( $n_1$ ), zgodnie ze wzorem (11.3).

$$e_f = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\% \quad (11.3)$$

*Na przykład:* jeśli liczba cząstek zanieczyszczeń o średnicach zastępczych 20  $\mu\text{m}$  w cieczy hydraulicznej przed filtrem wynosi 100 000 szt., a po przejściu przez filtr 10 000 szt., to:

$$\beta_x = \frac{100\,000}{10\,000} = 10$$

$$e_f = \frac{100\,000 - 10\,000}{100\,000} \cdot 100\% = 90\%$$

**Nominalna dokładność filtracji  $d_n$**  – jest to najmniejsza zastępcza średnica cząstek, zatrzymywanych przez filtr w 99,5% lub 99,95%. Nominalna dokładność filtracji najczęściej jest podawana w mikrometrach ( $\mu\text{m}$ ).

### 11.7.4 Filtrowalność cieczy hydraulicznych

Zanieczyszczenia stałe obecne w cieczy hydraulicznej, powinny łatwo filtrować się. Z tego względu, jest wymagana ważna właściwość cieczy hydraulicznej – filtrowalność. Może ona być zdefiniowana jako podatność cieczy do filtracji, poprzez system filtracyjny układu hydraulicznego, bez blokowania filtrów, w obecności wody lub jej braku. Zła filtrowalność cieczy hydraulicznej może być spowodowana niewłaściwym procesem produkcji cieczy, na przykład użyciem:

- składników niewystarczająco oczyszczonych,
- składników prowadzących do tworzenia substancji galaretowatych, pochodzących z reakcji dodatków uszlachetniających oleju z wodą obecną w układzie.

Charakterystyki filtrowalności cieczy hydraulicznych są oceniane przy zastosowaniu wielu specyficznych metod. Najczęściej stosowane jest badanie metodą DENISON TP 02 100. Test ten jest przeznaczony również do sprawdzania filtrowalności innych olejów. Charakterystykę filtrowalności ocenia się przez porównywanie czasu filtracji 100 ml cieczy hydraulicznej zawierającej wodę (<2%) i jej nie zawierającej, według określonej procedury. Do tego badania stosowany jest filtr membranowy o nominalnej średnicy porów 1,2  $\mu\text{m}$ . Metoda ta najczęściej jest stosowana do oceny świeżych cieczy hydraulicznych, nie nadaje się natomiast do oceny filtrowalności zanieczyszczonych cieczy hydraulicznych pracujących w układzie. Do oceny filtrowalności cieczy podczas pracy są stosowane specjalne stanowiska, modelujące warunki pracy cieczy w układzie hydraulicznym.

Specjalne stanowisko badawcze, opracowane przez firmę TOTAL, pozwala śledzić zmianę filtrowalności cieczy w obecności różnych zanieczyszczeń: wody i produktów utleniania. Badanie to polega na oszacowaniu w rzeczywistym układzie hydraulicznym o niskim ciśnieniu (do 100 bar), tendencji do tworzenia się substancji nierozpuszczalnych wskutek chemicznej degradacji cieczy hydraulicznej. Zatykanie się filtra o porach 5  $\mu\text{m}$  obserwuje się poprzez pomiar spadku ciśnienia na filtrze.

## 11.8 Warunki prawidłowej eksploatacji

Układy hydrauliczne wymagają bardzo starannej obsługi; najlepsza ciecz hydrauliczna nie da dobrych efektów w źle utrzymanym układzie. Szczególne znaczenie mają następujące czynniki:

- obecność zanieczyszczeń stałych i wody oraz filtracja,
- przegrzewanie, chłodzenie,
- zapowietrzanie,
- kawitacja,
- dobór i montaż uszczeltek,
- ścinanie.

### 11.8.1 Nadzór nad filtrami

Zanieczyszczenia stałe cieczy hydraulicznych, w szczególności cząstki materiałów twardych, (np. cząstki ściery lub piasek) są najczęstszą przyczyną nieprawidłowej pracy i zużywania się układów hydraulicznych. Znaczna część uszkodzeń jest powodowana obecnością twardych cząstek, takich jak:

- pyły atmosferyczne i inne zanieczyszczenia zewnętrzne,
- ściery metalowy, powstający w procesach zużywania wewnętrznych powierzchni układów hydraulicznych,
- produkty korozji i cząsteczki rdzy,
- drobiny lakierów itp.

Podczas eksploatacji należy uważać, aby nie miało miejsca przedostawanie się cząstek zanieczyszczeń do układu, poprzez:

- dokładne płukanie przy pierwszym uruchamianiu urządzenia,
- zapewnienie środków ostrożności podczas napełniania zbiornika,
- konserwację uszczeltek,
- odpowiednią jakość filtra powietrza w układzie odpowietrzania zbiornika.

Małe luzy w mechanizmach hydraulicznych nie dają się pogodzić z większą ilością cząstek zanieczyszczeń stałych. Należy więc przedsięwziąć stosowne środki ostrożności. Należy bardzo dokładnie nadzorować proces filtracji, dbając aby:

- wkłady filtrujące były wymieniane zgodnie z okresami przewidzianymi dla danego typu układu,
- elementy filtrujące nie były uszkodzane podczas operowania nimi,
- typ użytkowanego filtra powinien spełniać wymagania sprecyzowane przez producenta układu hydraulicznego, w zakresie:  $\beta_x$ ,  $e_p$  oraz  $d_n$ .

W powszechnie stosowanych układach hydraulicznych maszyn,

ciągła filtracja przez filtr o nominalnej dokładności filtrowania 25  $\mu\text{m}$ , jest wymogiem minimalnym. W niektórych precyzyjnych układach hydraulicznych zalecane jest filtrowanie bardziej dokładne, na poziomie 10  $\mu\text{m}$ , a w układach precyzyjnych nawet z dokładnością do 5 lub 1  $\mu\text{m}$ .

### 11.8.2 Temperatura pracy

Temperatura cieczy hydraulicznej w układzie ma istotne znaczenie dla jej trwałości. Ciecz hydrauliczna starzeje się tym szybciej, im wyższa jest temperatura jej pracy. Nadmiernie wysoka temperatura jest również szkodliwa dla innych elementów układu, szczególnie dla materiałów uszczelnień. Ideałem byłoby nie przekraczanie temperatury 50°C, ponieważ wtedy starzenie dobrych cieczy hydraulicznych jest powolne. Przyjmuje się, że zwiększenie temperatury pracy cieczy hydraulicznej o każde 10°C, powoduje skrócenie czasu jej pracy o połowę. W niektórych przypadkach, jest konieczne zainstalowanie wymiennika ciepła w celu chłodzenia cieczy hydraulicznej.

Najczęstszymi powodami przypadkowego przegrzewania układów hydraulicznych, są:

- niewłaściwie dobrana ciecz hydrauliczna pod względem lepkości,
- źle wyregulowany zawór zwrotny (zbyt duży przepływ),
- zanieczyszczona chłodnica,
- zanieczyszczenie zbiornika, uniemożliwiające odprowadzanie ciepła przez wypromieniowanie,
- zbyt niski poziom cieczy hydraulicznej,
- zanieczyszczone lub wygięte przewody,
- zużycie pompy hydraulicznej,
- przedostanie się powietrza do układu.

### 11.8.3 Powietrze w układzie hydraulicznym

Powietrze w cieczy hydraulicznej może być przyczyną poważnych problemów. Najczęstsze powody przedostawania się powietrza do układów hydraulicznych to:

- nieszczelne przewody ssące,
- nieszczelna pompa,
- zbyt niski poziom cieczy hydraulicznej,
- nadmierna turbulencja w zbyt małym zbiorniku,
- przewody zwrotne, nie zanurzone w oleju (pienienie).

### 11.8.4 Uszczelnienia

Ciecz hydrauliczna powinna być tak dobrana, aby nie wykazywała agresywnego działania wobec materiałów uszczelnień (patrz p. 2.7.2). Wymagania w tym zakresie, będą mniej ostre w przypadku elementów układu pracującego w warunkach statycznych, niż dla szczelności elementów pracujących w warunkach dynamicznych. W każdym przypadku, zakłada się, że zmiana objętości materiału uszczelki, przy próbie 72 godzinnej, w temperaturze 100°C, nie może przekraczać  $\pm 5\%$ . Niektóre specyfikacje nie dopuszczają żadnych zmian ujemnych, celem uniknięcia ryzyka wystąpienia przecieku. W przypadku konieczności doboru uszczelnień do określonych cieczy hydraulicznych, należy uwzględnić zasady podane w p. 2.7.

Nie wszystkie problemy z uszczelkami mogą być przypisywane niewłaściwemu doborowi cieczy hydraulicznej. W praktyce, wiele innych czynników może być powodem uszkodzenia uszczelki:

- Zbyt wysoka temperatura pracy ciągłej, nie przewidziana dla określonego rodzaju materiałów uszczelnień, zastosowanych w maszynie.

Poniżej podano kilka temperatur granicznych, które nie mogą być przekroczone dla znanych typów uszczelki, stosowanych w układach hydraulicznych:

- dla kauczuków poliuretanowych (AU): 80°C,

**Tabela 11.2 Zalecenia dotyczące doboru materiałów uszczelnień do trudnopalnych cieczy hydraulicznych wg ISO 7745:1989**

Rodzaj hydraulicznej cieczy trudnopalnej	Zalecane rodzaje elastomerów (patrz p.2.7)
HFAE	NBR, FPM
HFB	NBR, FPM
HFC	NBR, SBR, EPDM, IIR, NR
HFDR	FPM, EPDM, IIR
HFDS	FPM
HFDT	FPM
HFDU	Niezbędne testy kompatybilności

- dla kauczuków butadienowo-nitrylowych (NBR): 100°C,
- dla kauczuków fluorowych (FPM lub FKM): 120°C.
- Niewłaściwy montaż lub uszkodzenie uszczelki podczas montażu.
- Zły stan powierzchni w miejscu montażu uszczelki, którego przyczyną może być:
  - niewłaściwa obróbka skrawaniem,
  - rdza,
  - rysy, wypłytki,
  - ślady uderzeń narzędziami.

W przypadku stosowania cieczy trudnopalnych, szczególną uwagę należy zwrócić na uszczelki.

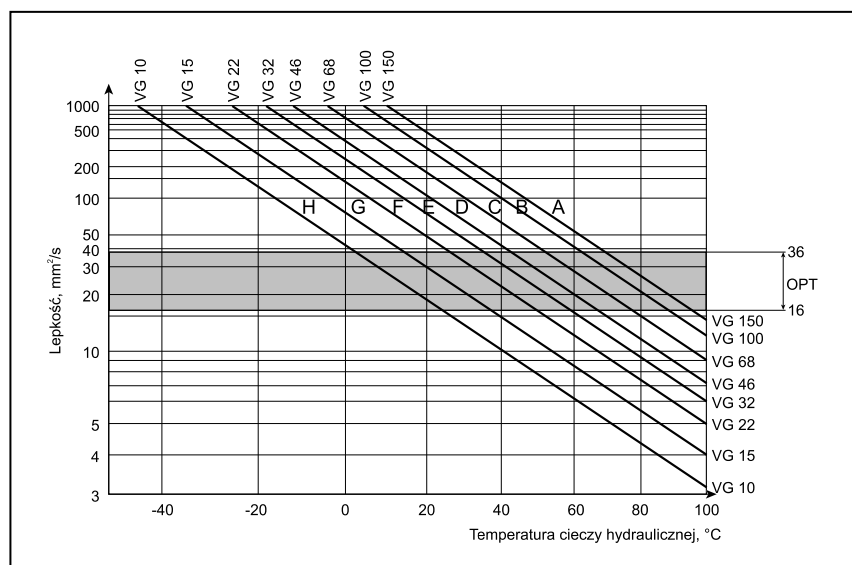
Ciecze hydrauliczne typu glikol-woda (typ HFC) nie sprawiają specjalnych problemów, ponieważ są obojętne wobec większości materiałów uszczelnień. Jedynie poliuretany (AU) nie są zalecane. Zalecenia dotyczące doboru materiałów uszczelnień do trudnopalnych cieczy hydraulicznych zostały podane w normie ISO 7745:1989. Przedstawiono je w tabeli 11.2.

## 11.9 Dobór cieczy hydraulicznej

### 11.9.1 Parametry decydujące o doborze

Dobierając odpowiedni typ cieczy hydraulicznej, należy uwzględnić:

- warunki klimatyczne
- temperaturę pracy ciągłej, maksymalnej, temperaturę rozruchu,
- warunki pracy,



**Rys. 11.4 Dobór klasy lepkościowej cieczy hydraulicznej do warunków klimatycznych pracy maszyny**  
**A – ekstremalne warunki tropikalne, ciężkie warunki pracy, B – ekstremalne warunki tropikalne, C – warunki tropikalne, D – warunki letnie klimatu umiarkowanego, E – warunki zimowe klimatu umiarkowanego, F – warunki arktyczne, G – ekstremalne warunki arktyczne, H – ekstremalne warunki arktyczne, długie przestoje maszyny**  
**OPT – optymalny zakres lepkości cieczy hydraulicznej**

- niebezpieczeństwo pożaru. a także:
- możliwość przedostawania się wody do układu,
- zastosowanie metali konstrukcyjnych wrażliwych na korozję.

### 11.9.2 Warunki klimatyczne

Temperatura pracy bezpośrednio rzutuje na lepkość (klasę lepkości) dobranej cieczy hydraulicznej. W przypadku układów hydraulicznych maszyn i pojazdów eksploatowanych w warunkach otoczenia, klasa lepkości cieczy hydraulicznej powinna być dostosowana do warunków klimatycznych, przy czym za optymalny przedział lepkości cieczy hydraulicznych w temperaturze pracy przyjmuje się wartości od 16 do 36 mm<sup>2</sup>/s.

Dobór klasy lepkościowej oleju w zależności od warunków klimatycznych, w których układ hydrauliczny jest eksploatowany przedstawia rys. 11.4.

Temperatura płynięcia oleju powinna być co najmniej o 20°C niższa od najniższej temperatury pracy maszyny. Jest to szczególnie istotne w przypadku: pojazdów, maszyn samojezdnych i innych urządzeń pracujących na zewnątrz.

### 11.9.3 Dobór lepkości oraz wskaźnika lepkości

Lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C, dla normalnej i ustabilizowanej temperatury (między 40°C a 60°C) funkcjonowania układu hydraulicznego, jest określana przez producenta układu. Producent doбира lepkość cieczy hydraulicznej tak, aby uzyskać dla instalacji optymalną wydajność, sprawność i trwałość. Dobór typu cieczy hydraulicznej będzie zależał również od temperatury rozruchu. Dla różnych cieczy hydraulicznych, o takiej samej lepkości kinematycznej w temperaturze 40°C, lepkość w temperaturach ujemnych może wykazywać znaczne różnice. W przypadkach wątpliwych, należy uzyskać dane dotyczące lepkości cieczy hydraulicznej w przewidywanej, najniższej temperaturze użytkowania układu przy rozruchu. Lepkości zalecane przez niektórych producentów układów hydraulicznych, podano w tabeli 11.3.

W przypadku dużej rozpiętości temperatur pracy (np. niska temperatura rozruchu i wysoka temperatura ciągłej pracy), należy dobrać olej o wysokim wskaźniku lepkości, powyżej 105.

Dla układów hydraulicznych, pracujących w pomieszczeniach ogrzewanych, generalnie można stosować ciecze o naturalnym wskaźniku lepkości na poziomie 95...105, poza szczególnymi przypadkami urządzeń o bardzo dużej dokładności, dla których producent wymaga cieczy hydraulicznej, o wyższym wskaźniku lepkości.

### 11.9.4 Warunki pracy

Warunki pracy oraz używany sprzęt narzucają typ stosowanej cieczy hydraulicznej, na przykład:

- konstruktor pompy określa, czy wymaga dobrych właściwości przeciwzuzyciowych (typ HM), czy też dopuszcza stosowanie cieczy hydraulicznej bez dodatków przeciwzuzyciowych (typ HL),
- obecność metali bardzo wrażliwych na korozję, takich jak srebro lub miedź i jej stopy, może wykluczyć stosowanie niektórych dodatków,
- znaczna i stała obecność wody jest powodem wymagania od cieczy hydraulicznej doskonałych właściwościach przeciwrzdewnych, odporności na emulgowanie oraz dobrej stabilności hydrolitycznej.



**TABELA 11.3 Lepkość kinematyczna cieczy hydraulicznych zalecana przez niektórych producentów**

Urządzenia	Podczas pracy mm <sup>2</sup> /s	Podczas rozruchu mm <sup>2</sup> /s, max.
<b>DENISON HYDRAULICS</b> Pompy o tłokach osiowych Pompy łopatkowe	10 ... 160 10 ... 100	1620 860
<b>COMMERCIAL HYDRAULICS</b> Pompy zębate	50 ... 100	1620
<b>DANFOSS</b> Silniki zębate wewnętrzne	21 ... 73	300
<b>HYDROPERFECT INTERNATIONAL</b> Pompy zębate	20 ... 40	2000
<b>POCLAIN HYDRAULICS</b> Pompy tłokowe osiowe	9 ... 100	500
<b>REXROTH SIGMA</b> Pompy zębate Pompy tłokowe (Hydromatik)	10 ... 300 10 ... 36	300 1000
<b>SAUER/SUNDSTRAND</b> Pompy tłokowe	12 ... 600	1000
<b>VICKERS</b> Pompy zębate Pompy łopatkowe Pompy tłokowe rządowe promieniowe lub osiowe Pompy tłokowe o osi łamanej Silniki wolnobieżne	13 ... 54 13 ... 54 13 ... 54 13 ... 54 13 ... 54	860 860 220 860 110
<b>VOLVO HYDRAULIQUE</b> Pompy tłokowe rządowe promieniowe lub osiowe Pompy tłokowe o osi łamanej	10 ... 75 8 ... 80	1000 850

### 11.9.5 Stosowanie trudnopalnych cieczy hydraulicznych

Groźba pożaru lub przepisy bezpieczeństwa, mogą zmuszać do stosowania trudnopalnej cieczy hydraulicznej.

Ciecze typu HFA (E i S) oraz HFC są używane w dużych układach, gdzie istnieje znaczna groźba przecieków, na przykład w układach hydraulicznych maszyn stosowanych w kopalniach.

Ciecze typu HFC są używane w przemyśle, pod warunkiem, że układ nie posiada miejsc gorących, o temperaturze przekraczającej 55...60 °C. Konieczne staje się częste sprawdzanie zawartości wody w pracującej cieczy hydraulicznej. Ciecze typu HFC spotyka się często w urządzeniach do odlewania aluminium pod ciśnieniem.

Liczne rodzaje cieczy HFD (R, S, U) pozwalają na ich stosowanie w układach gorących (często używanych w układach hydraulicznych pieców stalowniczych).

Dla wszystkich cieczy tego typu, w zakresie bezpieczeństwa pracy konieczne jest przestrzeganie zaleceń producenta, ze szczególnym uwzględnieniem następujących czynników:

- ciśnienie użytkowania,
- filtracja,
- uszczelki,
- lakiery.

### 11.10 Zmiany jakości cieczy hydraulicznych podczas pracy

W czasie pracy niektóre właściwości cieczy hydraulicznej mogą się pogarszać z powodu starzenia, zanieczyszczeń lub zużycia się dodatków. Dotyczy to szczególnie:

- właściwości przeciwzużyciowych,
- właściwości przeciwrzecznych,
- odporności na tworzenie emulsji (deemulgowanie),
- właściwości przeciwpieniowych.

Parametry określające jakość stosowanej w instalacji cieczy hy-

draulicznej powinny być okresowo kontrolowane (patrz p. 11.11), poprzez wykonywanie analiz laboratoryjnych pobieranych próbek. Pozwalają one na:

- oszacowanie stopnia starzenia i w konsekwencji określenie najwłaściwszych okresów wymiany,
- wykrywanie zanieczyszczeń, szkodliwych dla układu,
- określenie przyczyn ewentualnej usterki,
- zapobieganie awariom.

Liczne wytrącenia, stałe lub ciekłe, mogą zanieczyścić układy hydrauliczne. Źródła zanieczyszczeń to najczęściej:

- obce ciecze eksploatacyjne, przedostające się z zewnątrz do układu hydraulicznego (np. oleje smarne, stosowane do smarowania innych części maszyny),
- cząstki metalowe, pochodzące z zużycia,
- rdza,
- cząstki lakieru,
- kurz i piasek,
- fragmenty uszczelek,
- środki czyszczące,
- włókna tekstylne,
- woda,
- chłodziwo do obróbki metali skrawaniem (w obrabiarkach),
- rozpuszczalniki.

W czasie pracy ciecz hydrauliczna może ulec degradacji termicznej, co objawia się poprzez:

- obecność kwasów organicznych (zwiększenie liczby kwasowej),
- zwiększenie lepkości,
- tworzenie laków, nagarów i osadów,
- niszczenie wrażliwych na korozję metali pod wpływem kwasów.

Zwiększenie lepkości cieczy hydraulicznej jest objawem starzenia, natomiast zmniejszenie lepkości i wskaźnika lepkości, jest wynikiem ścinania dodatków lepkościowych.

### 11.11 Badania cieczy hydraulicznych w trakcie pracy

#### 11.11.1 Badania w miejscu pracy

Badania wykonywane bezpośrednio w miejscu pracy dają możliwość oszacowania wstępnego. Jeżeli ciecz jest całkowicie klarowna, bez znacznych zmian koloru i zapachu, jest pewne, że nie występują groźne problemy starzenia termicznego lub zanieczyszczenia. Na tym etapie, można wykryć:

- obecność niewielkiej ilości wody (kropelki),
- obecność dużej ilości wody (rozdzielanie na dwie fazy),
- emulsję woda-olej (trwały matowy żółtawy kolor),
- pianę - suspensja powietrze-olej (kolor białawy, stopniowo zanikająca),
- większe cząstki metali, rdzy lub farby,
- starzenie termiczne (płyn o ciemnym kolorze i zapachu spalonego oleju),
- osady.

W przypadku obecności wody można wzrokowo, w przybliżeniu określić jej stężenie:

- dla zawartości 75...100 ppm w ciemnym oleju może pojawić się ledwo zauważalne, jaśniejsze zabarwienie,
- dla zawartości około 400 ppm można zauważyć mleczne zmętnienie,
- dla zawartości około 1000 ppm zmętnienie może być biało-żółte, a olej nieprzezroczysty.

#### 11.11.2 Kontrola okresowa

Klasyczna analiza cieczy hydraulicznych, w toku kontroli okresowej, powinna obejmować badanie kilku ważnych parametrów, do których zalicza się:

- lepkość kinematyczną,
- zawartość wody,
- liczbę kwasową,
- produkty procesów zużycia metali,
- stan czystości wg ISO 4406 lub NAS 1638.

W szczególnych przypadkach jest kontrolowana także zawartość niektórych dodatków.

**Lepkość kinematyczna.** Pomiar lepkości kinematycznej wykonuje się w temperaturze 40°C, metodami podanymi w p. 4.2.2. Jeżeli należy określić wskaźnik lepkości, to pomiar wykonuje się także w temperaturze 100°C, a określenie tego parametru należy wykonać zgodnie z zasadami podanymi w p. 4.2.4.

Zwiększenie lepkości może wynikać:

- ze zmieszania z innym, nieodpowiednim olejem – bardziej lepkiem (uzupełnianie lub przeciek oleju smarującego do układu),
- z utleniania oleju (należy potwierdzić to innymi badaniami),
- z odparowania wody (w przypadku cieczy trudnopalnych typu HFC).

Zmniejszenie lepkości może być skutkiem:

- zmieszania z nieodpowiednim olejem, o mniejszej lepkości - bardziej płynnym,
- ścinania,
- płukania lub czyszczenia rozpuszczalnikiem.

Dopuszczalne zmiany lepkości kinematycznej w temperaturze 40°C, wynoszą  $\pm 10\%$ .

**Zawartość wody.** Zawartość wody w klasycznych płynach hydraulicznych powinna utrzymywać się poniżej 0,1%. Powyżej tej wartości, niezbędne jest poszukanie przyczyn i zapobieganie im.

**Liczba kwasowa (TAN)** powinna być oznaczana metodami przedstawionymi w p. 4.10.3.

W przypadku oleju mineralnego, czystego lub z małą ilością dodatków uszlachetniających (z początkową liczbą kwasową na poziomie zbliżonym do 0 mg KOH/g), zmiana liczby kwasowej może być spowodowana tylko utlenianiem oleju (z wyjątkiem szczególnych przypadków zanieczyszczenia) i nie powinna ona być większa niż 0,5 mgKOH/g.

W przypadku świeżego oleju hydraulicznego zawierającego dodatki o charakterze kwaśnym, początkowo może występować zmniejszenie liczby kwasowej, powodowane stopniowym zużyciem dodatków, a następnie wzrost powodowany utlenianiem. W tym przypadku, można zaobserwować przejście liczby kwasowej przez minimum.

**Produkty procesów zużycia metali.** Metody instrumentalne (patrz p. 4.21) pozwalają określić obecność cząsteczek metali w cieczy hydraulicznej. Badania te umożliwiają dokonanie oceny stanu technicznego elementów układu hydraulicznego oraz poszukiwanie ewentualnych przyczyn nadmiernego zużycia.

- Spektrometria atomowa (emisyjna lub absorbcyjna) pozwala na określenie zawartości metali w cieczy hydraulicznej. Najczęściej mierzy się zawartość tych metali, z których jest wykonany układ hydrauliczny lub jego najwrażliwsze elementy np.: żelaza, miedzi, glinu, itd.
- Ferrografia, jest to technika uzupełniająca, która pozwala określać zużycie części w zależności od liczby cząstek ściery stalowego w próbce cieczy hydraulicznej.

**Stan czystości cieczy hydraulicznej** jest oceniany poprzez pomiar zawartości zanieczyszczeń stałych (patrz p. 4.22.3) oraz ustalenie klasy czystości wg NAS 1638 lub poziomu czystości wg ISO 4406 (patrz p. 4.22.6). Mogą być używane różne metody pomiaru i oceny stanu czystości cieczy hydraulicznej. Najczęściej są stosowane metody polowe, pozwalające na ocenę stanu czystości cieczy hydraulicznej bezpośrednio w próbce pobranej z układu. Konieczne jest przestrzeganie znormalizowanego sposobu pobierania próbek.

Pomimo stosowania różnych środków ostrożności, ciecz może ulec zanieczyszczeniu cząstkami stałymi z różnych źródeł. W celu zagwarantowania wymaganej czystości cieczy hydraulicznej, w niektórych typach precyzyjnych układów hydraulicznych, może być konieczne kontrolowanie cieczy pod względem zawartości zanieczyszczeń stałych. Przy tego typu kontroli, procedura pobierania próbek nabiera jeszcze większego znaczenia niż przy pozostałych badaniach.

Producent układu hydraulicznego zazwyczaj definiuje jaką czystość powinna mieć ciecz hydrauliczna w układzie, podając klasę czystości wg NAS 1638 albo poziom czystości wg ISO 4406. Wymagana czystość cieczy hydraulicznej zależy od konstrukcji układu hydraulicznego oraz maksymalnego ciśnienia w układzie, co zasygnalizowano w p. 4.22. W przypadku braku takich danych, do oceny czy ciecz hydrauliczna ma czystość wymaganą dla danego układu hydraulicznego, można posłużyć się przybliżonymi danymi, odczytanymi z wykresu (rys. 4.97).