

Kompatybilność uszczelnień z cieczami roboczymi

Ewa Kania

Uszczelnienia elastomerowe są rozwiązaniem szeroko stosowanym w życiu codziennym, jak również w maszynach produkcyjnych praktycznie każdej branży przemysłu. Na niezawodność pracy węzła wpływa wiele czynników, a do utraty szczelności może dochodzić zarówno warunkach statycznych, jak i dynamicznych. Często od właściwego doboru uszczelnień oraz cieczy roboczych zależy bezpieczeństwo pracy oraz jakość przeprowadzanych procesów.

W przemyśle stosowanych jest wiele rodzajów uszczelnień. Najczęściej w urządzeniach i systemach hydraulicznych stosuje się takie typy elastomerów, jak:

- kauczuki butadienowo-akrylonitrylowe (NBR);
- kauczuki fluoro-węglowodorowe (FKM);
- kauczuki etylenowo-propylenowodienne (EPDM);
- uwodornione kauczuki butadienowo-akrylonitrylowe (HNBR);
- kauczuki butylowe (IIR);
- kauczuki poliakrylowe (ACM);
- kauczuki silikonowe (VMQ);
- kauczuki chloroprenowe (CR);
- poliuretany (EU i AU).

Uszczelnienia muszą być odpowiednio dobrane, by mogły zapewnić bezawaryjną pracę. Należy zwracać uwagę na warunki otoczenia, w jakim są stosowane. Maszyny często pracują w zmiennych warunkach obciążeń mechanicznych i temperatury, są poddawane działaniom innych czynników powodujących zużycie uszczelnień. Uszczelnienia narażone są na działanie cieczy eksploatacyjnych, często w warunkach wysokich temperatur oraz ciśnień.

Niejednokrotnie pracują w środowisku substancji agresywnych, takich jak: amoniak, środki płuczące oraz dezynfekujące,

wysokie ciśnienie i duże prędkości przepływu. Uszczelnienia mają nie tylko wpływ na trwałość maszyn i urządzeń pracujących w przemyśle, ale również ograniczają niekontrolowane wycieki. Jest to bardzo istotny szczegół z uwagi na starty ekonomiczne wynikające z potrzeby uzupełniania cieczy eksploatacyjnych oraz kar wynikających z coraz bardziej rygorystycznych przepisów związanych z ochroną środowiska. Wybór uszczelnienia nie jest prosty ze względu na występującą dużą różnorodność dostępnych na rynku rozwiązań technicznych i materiałowych. Podczas doboru właściwego rodzaju uszczelnienia najlepiej skorzystać z porad profesjonalistów oferujących tego typu produkty. Pierwszym i najważniejszym czynnikiem jest dobór uszczelnienia ze względu na rodzaj medium, jakie będzie uszczelniane. Ważne jest, aby materiał, z którego zostało wykonane uszczelnienie, dobrze współpracował z danym medium. Oczywiście w doborze uszczelnień należy zwrócić również uwagę na warunki pracy układu: na temperaturę i ciśnienie pracy.

Rodzaj stosowanej cieczy eksploatacyjnej ma kluczowe znaczenie, np. ciecze hydrauliczne w porównaniu do olejów hydraulicznych wykazują szereg wad, jak:

- niska lepkość (podobna do wody), co wiąże się ze zwiększonymi wyciekami zewnętrznymi i przeciekami wewnętrznymi układu hydraulicznego;
- słaba smarność;
- podatność na korozję mikrobiologiczną.

Elastomery są stosowane do produkcji takich komponentów hydrauliki, jak uszczelnienia dla hydrauliki siłowej, uszczelnienia spoczynkowe pęcherzy lub przepony hydroakumulatorów i węże ciśnieniowe.



Do najczęściej stosowanych kauczuków i elastomerów w hydraulice należą:

Kauczuki NBR

Dominującym rodzajem elastomerów w hydraulice są kauczuki akrylonitrylowo-butadienowe. Są one odporne na oleje mineralne, trudnopalne ciecze hydrauliczne HFAE, HFAS, HFB HFC i ciecze biodegradowalne.

Kauczuki HNBR

Elastomery HNBR są uwodornionym kauczukiem NBR otrzymanym przez hydrofinishing części ich podwójnych wiązań przez ich nasycenie. Ich charakterystyka i stosowanie są podobne do NBR, lecz w wysokich temperaturach eksploatacji i o zwiększonej odporności chemicznej.

Kauczuki EPDM

Kauczuki etylenowo-propylenowo-butadienowe nie są odporne na bazy olejów mineralnych. Stosuje się je przede wszystkim w układach hydraulicznych z trudnopalnymi cieczami typu HFDR, tj. estrami fosforanowymi: zarówno alkiłowymi, jak i aryłowymi. Są one doskonałe podczas stosowania w środowisku pary wodnej i gorącej wody.

Elastomery poliuretanowe

Elastomery poliuretanowe zaliczane są do elastomerów termoplastycznych. Posiadają doskonałe własności mechaniczne i chemiczne, w szczególności:

- wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie;
- odporność na ścieranie i rozdzieranie;
- niski współczynnik tarcia;
- podczas eksploatacji żywotność kilkakrotnie większa od wyrobów kauczukowych;
- twardości od 600 ShA do 700 ShA;
- odporność na oleje, rozpuszczalniki, słabe kwasy i zasady;
- odporność na działanie tlenu, ozonu, promieniowania świetlnego i UV;
- dobre właściwości sprężyste.

Technologia produkcji elastomeru poliuretanowego jest procesem skomplikowanym, zależnym od wielu czynników i operacji jednostkowych, takich jak:

- dobór pod względem ilościowym i jakościowym odpowiednich polimerów, składników dodatkowych komponentów chemicznych;
- prawidłowych i powtarzalnych warunków operacji jednostkowych przetwórczych (mieszanie, odgazowanie, temperatura stabilnego formowania).

Wyżej wymienione czynniki i warunki decydują o powtarzalności własności wytrzymałościowych elastomeru poliuretanowego i jego żywotności podczas eksploatacji.

Elastomery poliuretanowe są podatne na działanie wody. Doboru tych tworzyw na materiały uszczelniające należy dokonać poprzez badania ich chłonności – chemisorpcji wody (działanie hydrolizujące) oraz odporności cieczy hydraulicznej (zawierającej wodę) na temperaturę. Zjawisko to ściśle związane jest z liczbą czynnych wiązań wodorowych w łańcuchu molekularnym poliuretanu. Im więcej tych wiązań, tym większa odporność na oddziaływanie cieczy hydraulicznych. Wzrost liczby wiązań wodorowych powoduje wzrost twardości poliuretanów. Stąd bezpośrednio przełożenie pomiędzy twardością poliuretanów termoplastycznych a ich odpornością na hydrolizę.

Zarówno temperatura, jak i medium hydrauliczne posiadają wpływ na procesy hydrolizy materiałów wykonanych

z elastomeru poliuretanowego mających zastosowanie jako uszczelnienia. Dlatego dobór właściwego gatunku poliuretanu ma zasadniczy wpływ na odporność hydrolityczną oraz właściwości fizyczne i mechaniczne uszczelnień. Jest to szczególnie istotne w układach hydraulicznych.

Elastomery stosowane w układach hydraulicznych będące w kontakcie z mediami roboczymi ulegają następującym procesom fizykochemicznym:

- absorpcji cieczy hydraulicznej przez elastomer;
- ekstrakcji z elastomerów rozpuszczających się składników, zwłaszcza plastyfikatorów i środków przeciwstarzeniowych.

Konsekwencją tych procesów jest zmiana objętości. Do zmiany objętości może dochodzić na skutek pęcznienia lub kurczenia. Z pęcznieniem mamy do czynienia wtedy, gdy absorpcja jest większa od ekstrakcji. Z kurczeniem mamy do czynienia wówczas, gdy ekstrakcja jest większa od absorpcji.

Pęcznienie wzrasta z czasem zużycia do punktu, gdy więcej cieczy nie może już zostać zaabsorbowanej i objętość rozprężona pozostaje stała. Pęcznienie także jest zależne od temperatury. Jako generalną zasadę przyjmuje się: im wyższa temperatura, tym większe dążenie do równowagi ekspansji. Czas potrzebny dla równowagi pęcznienia jest proporcjonalny do kwadratu grubości badanej próbki.

Zmiana objętości może zmieniać właściwości fizyczne elastomeru, jak: twardość, wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie. Ponadto pewne dodatki w cieczach hydraulicznych mogą reagować chemicznie z elastomerem, szczególnie w podwyższonych temperaturach, prowadząc do ważnych zmian właściwości chemicznych i fizycznych materiałów elastomerowych, jak wzrost kruchości. Takie zmiany mogą poważnie oddziaływać na właściwości stosowanych elastomerów w układach hydraulicznych.

Kauczuki oraz elastomery mogą współpracować z cieczami hydraulicznymi jedynie wtedy, gdy nie ulegają zmianie ich właściwości fizyczne w dopuszczalnym przedziale wymagań. Jedynie zgodność wzajemnego oddziaływania elastomerów i mediów

roboczych pozwala na ich bezpieczne stosowanie w napędach i sterowaniach hydraulicznych.

Dlatego materiały uszczelniające muszą charakteryzować się zgodnością wzajemnego oddziaływania ze stosowanym medium roboczym. Aby to potwierdzić, należy przeprowadzić badania kompatybilności uszczelnień ze stosowanym medium roboczym.

Takie badania należy przeprowadzać w wyspecjalizowanym laboratorium.

Badania można przeprowadzić zarówno na medium roboczym oraz uszczelnieniach, które mają być stosowane w układzie, jak i wykonać je na elastomerach i cieczach wzorcowych. Oleje mineralne i paliwa podlegają znacznym wahaniom składu chemicznego, dlatego przeprowadzając badania kompatybilności, najlepiej zastosować rzeczywistą cieść.

Elastomerowe materiały stosowane aktualnie w technice i dostępne w handlu zawierają znacznie więcej składników aniżeli mieszanki standardowe. Takie gumy komercyjne spełniają odpowiednie wymagania co do właściwości technicznych i przetwórczych, a ich składu producent najczęściej nie ujawnia. Dlatego tego rodzaju wyroby nie są polecane do oceny jakości i wymagań w kontekście atestacji i w procesach dopuszczania do stosowania w cieczach hydraulicznych.

Norma ISO 6072:2011 określa skład oraz procedury mieszania i wulkanizacji pięciu typów elastomerów wzorcowych:

- standardowy elastomer NBR 1 zawiera 28% akrylonitrylu, zaś tlenek cynku i sadza FEF wg ASTM N 550 jako wypełniacz oraz środki wulkanizujące;
- standardowy kauczuk NBR 2 zawiera 34% akrylonitrylu, a jako wypełniacz tlenek cynku i sadzę FEF wg ASTM N 550, kwas stearynowy jako zmiękcacz oraz środki wulkanizujące;
- standardowy elastomer EPDM1 zawiera termopolimer etylenowo-propylenowo-dienowy, sadzę FEF wg ASTM N 550, tlenek cynku jako wypełniacz oraz środki wulkanizujące;
- wzorcowa mieszanka kauczuku fluoro-węglowodorowego FKM 2 zawiera kopolimer fluorku winylidenu i sześciofluoropropylenu, sadzę MT wg

ASTM N 990, tlenek magnezu i wodorotlenek wapnia jako wypełniacz oraz środki wulkanizujące;

- mieszanka wzorcowa uwodornionego kauczuku akrylo-nitrylowo-butadienowego HNBR 1 zawiera 35% akrylonitrylu jako wypełniacz, sadzę FEF wg ASTM N 550 oraz środki wulkanizujące.

Badanie kompatybilności elastomerów z cieczami eksploatacyjnymi wykonuje się zgodnie z normą: ISO 1817:2011: *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of the effect of liquids.*



Badanie polega na określeniu: zmiany masy, objętości i wymiarów ilości substancji wyekstrahowanych, zmian twardości i właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu po wyjęciu z cieczy lub po wyjęciu z cieczy i wysuszeniu.

Oznaczenie zmian objętości, twardości, wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenie przy zerwaniu wykonuje się w oparciu o normę ISO 1817:2011, punkt 8.1, stosując ciecz, temperaturę.

Określenie zmian objętości zgodnie z ISO 1817:2011, punkt 8.4 Określenie zmian twardości zgodnie z ISO 1817:2011, punkt 8.6. Zmiany wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenie przy zerwaniu zgodnie z ISO 1817:2011 punkt 8.3.

Laboratorium Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego Sp. z o.o. przeprowadza badania kompatybilności elastomerów w odniesieniu do zmiany twardości i objętości badanych uszczelnień.

Badanie polega na zmierzeniu twardości i objętości badanej uszczelki, a następnie zanurzeniu jej w cieczy roboczej na określony czas i w określonej

Tabela 1

Lp.	Ciecz hydrauliczna	Symbol kategorii	Rodzaj badanego elastomeru	Temperatura °C(±1)	Czas badania h(±2)
1	Oleje hydrauliczne mineralne	HH, HL, HM, HR, HV	NBR 1,2	100	1000 oraz 168
			HNBR 1		
			FKM 2		
2	Roztwory polimerowe w wodzie	HFC HFC-E	NBR 1,2	60	1000 oraz 168
			HNBR 1		
			FKM 2		
3	Emulsje oleju w wodzie	HFAE	NBR 1,2	60	1000 oraz 168
			HNBR 1		
			FKM 2		
4	Roztwory związków chemicznych w wodzie	HFAS	NBR 1,2	60	1000 oraz 168
			HNBR 1		
			FKM 2		
5	Emulsja typu woda w oleju	HFB	NBR 1,2	60	1000 oraz 168
			HNBR 1		
			FKM 2		
6	Estry alkilo-fosforowe	HFDR	EPDM 1	100	1000 oraz 168
7	Estry arylo-fosforowe	HFDR	FKM 2	100	1000 oraz 168
			EPDM 1		
8	Estry syntetyczne poliole	HFDU	NBR 1,2	60	1000 oraz 168
			NBR 1,2		
			FKM 2	80	
9	Biodegradowalne estry syntetyczne	HEES	NBR 1,2	60	1000 oraz 168
			HNBR 1		
			FKM 2	80	
10	Trójglicerydy (baza olejów roślinnych)	HETG	NBR 1,2	60	1000 oraz 168
			HNBR 1		
			FKM 2		
11	Poliglikole	HEPG	NBR 1,2	100	1000 oraz 168
			HNBR 1		
			FKM 2		
12	Polialfaolefiny i podobne węglowodory	HEPR	NBR 1,2	100	1000 oraz 168

temperaturze. Po upływie tego czasu elastomery są oczyszczane, suszone i poddawane ponownie badaniu twardości i objętości.

Laboratorium może również dokonać oceny wizualnej powierzchni elastomerów. Wynik stanowi różnica zmiany twardości i objętości przed badaniem i po badaniu. Wynik zmiany objętości podawany jest w procentach.

Warunki prowadzenia badania są określone w normie: ISO 6072:2011. Tabela 1 określa warunki badania standardowych elastomerów i cieczy hydraulicznych dla określenia elastomerowego wskaźnika zgodności (ECI).

Czas badania 1000 h jest badaniem standardowym, lecz badanie 168 h dostarcza wystarczającej informacji o zgodności.

Warunki badania cieczy hydraulicznych z elastomerami technicznymi określają normy, instrukcje, warunki techniczne dla poszczególnych rodzajów cieczy hydraulicznych (H, HF, HE). Dobór warunków prowadzenia badania może być również wynikiem umownym między laboratorium wykonującym badanie a zleceniodawcą.

Norma: ISO 6072:2011 wprowadza pojęcie elastomerowego wskaźnika zgodności.

Tabela 2. Przykłady określenia ECI

Lp.	Badany elastomer	ΔV [%]	ΔH [IRHD]	ΔR_t %	$\Delta \epsilon_r$ %
1	NBR 1	+15	-4	-6	-10
2	EPDM 1	+8	-3	-5	-11

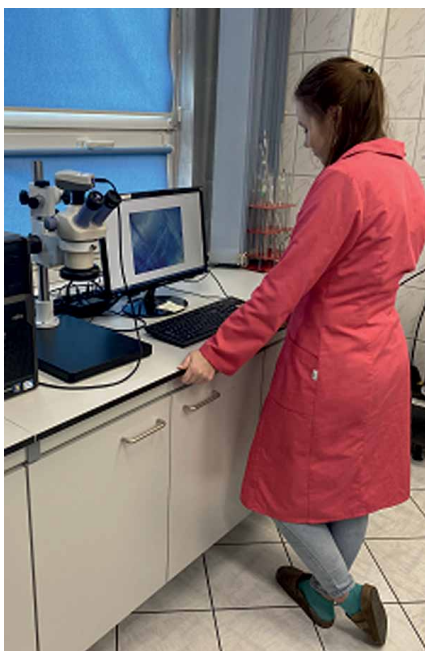
1) NBR 1 +15 - 04 -06 -10

2) EPDM 1+08 - 03 -05 -11

Elastomerowy wskaźnik zgodności ECI (*elastomer compatibility index*) stanowi proste i jednoznaczne symboliczne oznaczenie zawierające poniżej wyszczególnione dane:

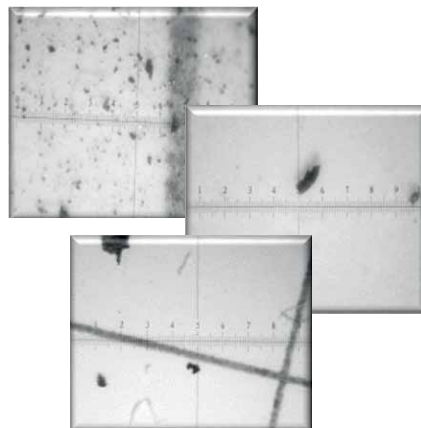
- stosowany wzorcowy elastomer;
- procentową zmianę objętości $\Delta V = \frac{V - V_0}{V_0} \cdot 100$;
- zmianę twardości w IRHD $\Delta H = H - H_0$;
- procentową zmianę wytrzymałości na rozciąganie (ΔR_t);
- procentową zmianę względnego wydłużenia w chwili zerwania ($\Delta \epsilon_r$).

Elastomerowy wskaźnik zgodności ECI ułatwia ocenę uszczelnień wzorcowych w cieczach hydraulicznych. Problemy destrukcyjnego oddziaływania cieczy roboczych na uszczelnienia nie zawężają się tylko na wyciekach. Bardzo często zdarza się, że ciecze, które nie są kompatybilne ze stosowanymi uszczelnieniami, powodują kruchość ich powierzchni. Drobne cząstki elastomerów krążą wówczas w medium roboczym, co ma wpływ na pogorszenie wymaganego poziomu czystości medium



roboczego, co jest szczególnie istotne w układach hydraulicznych. Należy mieć świadomość, że gdy stosowane dodatki uszlachetniające w olejach nie są stabilne w wysokich temperaturach, tworzą się produkty utleniania, które z wyżej wymienionymi zanieczyszczeniami stałymi, w tym przypadku cząstkami uszczelnień, przyczyniają się do tworzenia osadów i szlamów w olejach.

Nagromadzenie się cząstek stałych w oleju jest jedną z podstawowych przyczyn zużywania się maszyn, stąd bardzo istotne są badania kompatybilności uszczelnień, jak również stała kontrola zawartości ciał stałych w oleju eksploatowanym.




Akredytowane niezależne laboratorium Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego Sp. z o.o. w Łędzinach wykonuje kompleksowe usługi badawcze i doradcze w zakresie środków smarnych i eksploatacyjnych. Prowadzi monitoring środków smarnych oraz diagnostykę stanu urządzeń na podstawie analiz wykorzystywanych mediów roboczych.

Powyższa problematyka jest również przedmiotem organizowanych cyklicznie przez CBiDGP konferencji „Teoretyczne i praktyczne aspekty stosowania środków smarnych i eksploatacyjnych”. Tegoroczne spotkanie odbędzie się w dniach 22–23 czerwca w Wiśle. Szczegółowe informacje dostępne są na stronie www.cbidgp.pl/konferencje.



Literatura

- [1] Norma ISO 6072:2011 *Rubber – compatibility between hydraulic fluids and standard elastomeric materiale*.
- [2] Norma ISO 1629: *Rubber and latices – Nomenclature*.
- [3] Norma ISO 1817:2011: *Rubber – vulcanized or thermoplastic-Determination of the effect of liquids*.
- [4] ŚLANINA F., STEINMEC F.: *Ciecze hydrauliczne HFA w obudowach zmechanizowanych wyrobisk ścianowych*. Materiały konferencyjne: Oleje i środki smarne – 2007, Szczyrk.
- [5] PŁONKA Z.: *Odporność elementów uszczelniających na trudnopalne ciecze hydrauliczne stosowane w maszynach i urządzeniach górniczych*. „Maszyny górnicze” 3/2012.
- [6] Materiały własne CBiDGP Sp. z o.o.

 mgr Ewa Kania

Centrum Badań i Dozoru Górnictwa
Podziemnego Sp. z o.o. w Łędzinach
e-mail: e.kania@cbidgp.pl