

Oceny kompatybilności współczesnych elastomerów ze smarami plastycznymi

Compatibility assessment of modern elastomers with grease

Dariusz Sacha, Agnieszka Skibińska

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: W wielu zastosowaniach technicznych elastomery wykorzystywane są jako materiały uszczelniające lub przewody zasilające. Elementy te narażone są na działanie czynników agresywnych wpływających niszcząco na ich strukturę. Ze względu na swoją budowę elastomery ulegają niekorzystnym zmianom w miarę upływu czasu, wzrostu temperatury, oddziaływania światła ultrafioletowego, ozonu oraz różnych substancji organicznych. Jednym z wymagań stawianych środkom smarowym jest kompatybilność z materiałem elastomerowym. Obecnie rosną wymagania stawiane elastomerom. Jest to głównie związane z ochroną środowiska (eliminacja wszelkich wycieków) oraz z przedłużeniem okresu bezawaryjnego działania urządzeń. Warunki pracy uszczelnień są jednak coraz trudniejsze, zwłaszcza ze względu na wprowadzenie do stosowania olejów syntetycznych oraz podwyższenie temperatury pracy. Zmiany te powodują konieczność wprowadzenia rygorystycznych badań elastomerów, w tym badań ich kompatybilności z cieczami. Z elementów układów smarowania / węzłów tarcia najmniej trwale są uszczelnienia. Elastomery, z których są one wykonane, w niesprzyjających warunkach w stosunkowo krótkim czasie mogą ulec zestarzeniu, zmieniając radykalnie swoje własności fizyczne. Zaczynają one wyraźnie pęcznieć, zmienia się ich twardość i wytrzymałość. Niebezpieczeństwo rozszczelnienia układu w przypadku braku kompatybilności środków smarowych z uszczelnieniami może generować znaczne straty finansowe. Z uwagi na to, że badania eksploatacyjne i stanowiskowe są długotrwałe i bardzo kosztowne, a do tego mało obiektywne, do badań kompatybilności stosuje się testy laboratoryjne. Wykorzystuje się próbki danego wyrobu elastomerowego i poddaje się je oddziaływaniu badanego środka smarowego przez określony czas w określonej temperaturze, stosując znormalizowane metody badawcze. W artykule opisano współdziałanie zachodzące pomiędzy elastomerami a smarami plastycznymi. Na podstawie przeglądu literaturowego oraz obserwacji poczynionych w trakcie badań określono dopuszczalne zmiany właściwości fizycznych i mechanicznych, które pozwalają ocenić odporność elastomerów na oddziaływanie smarów plastycznych.

Słowa kluczowe: elastomery, kompatybilność, smar.

ABSTRACT: In many technical applications, elastomers are used as sealing materials or supply hose. These elements are exposed to aggressive factors that have a devastating effect on their structure. Due to their construction, elastomers deteriorate over time and with temperature increase, exposure to ultraviolet light, ozone and various organic substances. One of the requirements for lubricants is compatibility with the elastomeric material. Currently, the requirements for elastomers are becoming stricter, which is mainly related to environmental protection (elimination of all leaks) and extending the period of failure-free operation of devices. However, the working conditions of the seals are becoming more and more difficult, especially due to the introduction of synthetic oils and the increase in the working temperature. These changes make it necessary to introduce rigorous testing of elastomers, including compatibility with liquids. Seals are the least durable of the elements of lubrication systems / friction nodes. The elastomers they are made of can age in a relatively short time under adverse conditions, radically changing their physical properties. They begin to swell visibly, their hardness and strength change. The risk of unsealing the system in the event of incompatibility of lubricants with seals can generate significant financial losses. Because operational and bench tests are long-term and very expensive, and moreover not very objective, laboratory tests are used to check compatibility. Samples of a given elastomeric product are used and exposed to the test lubricant for a specified time at a specified temperature using standardised test methods. The article describes the interaction between elastomers and grease. Based on a literature review and observations made during the tests, preliminary acceptable limits for changes in physical and mechanical properties were defined to assess the resistance of elastomers to the impact of grease.

Key words: elastomers, compatibility, grease.

Wstęp

Jednym z bardzo istotnych elementów konstrukcyjnych pojazdów, urządzeń, maszyn i instalacji są różnego rodzaju uszczelnienia i części wykonane z syntetycznych elastomerów. Elementy te narażone są na działanie czynników agresywnych wpływających niszcząco na ich strukturę. Ze względu na swoją budowę elastomery ulegają niekorzystnym zmianom w miarę upływu czasu, wzrostu temperatury, oddziaływania światła ultrafioletowego, ozonu, różnych substancji organicznych. Jednak odpowiednia miękkość i podatność, dobra odporność na ścieranie, nieprzepuszczalność i odporność na różne media chemiczne, wysoka elastyczność oraz łatwe dopasowanie się do powierzchni uszczelnianych powodują, że są one niezastąpione w produkcji uszczelnień, giętkich przewodów itd. (Hawkins, 1984). Generalnie uszczelnienia dzieli się na statyczne i dynamiczne. Te pierwsze służą do uszczelniania połączeń w warunkach statycznych, podczas gdy drugie służą do zapobiegania lub ograniczania przecieków podczas swobodnego ruchu wałów, wysięgników, amortyzatorów. Degradacja uszczelnień spowodowana jest głównie ich kontaktem z agresywnymi płynami chemicznymi (Farfan-Cabrera et al., 2018).

W pojazdach mechanicznych, maszynach i urządzeniach elastomery mają kontakt z różnorodnymi środkami smarowymi – są nimi głównie oleje silnikowe, przekładniowe i hydrauliczne, smary plastyczne, a także płyny hamulcowe, płyny chłodzące oraz różnego rodzaju półpłynne masy konserwująco-zabezpieczające (Sacha, 2015).

Smar plastyczny to układ koloidalny, w którym zagęszczacz tworzy elastyczną przestrzenną sieć, utrzymując fazę ciekłą (fazę olejową). Właściwa struktura smaru jest utrzymywana dzięki istnieniu sił przyciągania powierzchniowego, sił kapilarnych oraz zjawisku adsorpcji powierzchniowej między zagęszczaczem a fazą ciekłą (Skibińska, 2020).

W wyniku oddziaływań smaru plastycznego na elastomer następuje wnikanie oleju bazowego do struktury polimeru i rozluźnienie, a czasem nawet niszczenie słabych wiązań międzycząsteczkowych w elastomerach. Do fazy olejowej smaru mogą przeniknąć dodatki modyfikujące właściwości tworzyw sztucznych. Zjawisko to podobne jest termodynamicznie do mieszania się cieczy małowcząsteczkowych, jednak w układzie usieciowanym siłom dyfuzji przeciwstawiają się oddziaływania związane z elastycznością sieci elastomeru. W rezultacie elastomer ulega pęcznieniu. O szybkości tego procesu decydują: rodzaj elastomeru i rodzaj smaru, temperatura, w której proces ten się odbywa, oraz czas kontaktu. Jedną z wielkości charakteryzującą odporność elastomerów na smary jest pomiar zmiany objętości elastomeru (pęcznienia). W grupie węglowodorów największe pęcznienie powodują węglowodory aromatyczne, średnie – węglowodory naftenowe, zaś najmniejsze – parafiny.

Stopień absorpcji oleju bazowego ze smaru zależy głównie od jego budowy chemicznej i właściwości kauczuku (występowanie grup polarnych) oraz od czasu i temperatury badania.

Działanie środka smarowego na elastomer powoduje zmianę jego masy, objętości, wymiarów liniowych, właściwości mechanicznych oraz zmiany powierzchniowe. Zmiany te w sposób istotny obniżają jakość materiału i często uniemożliwiają dalszą eksploatację detali wykonanych z elastomerów. W wysokich temperaturach olej, który wydzieli się ze smaru, może łatwo migrować w głąb elastomerów, nawet przy bardzo małej powierzchni kontaktu.

W procesie starzenia termicznego zachodzą różne zmiany chemiczne, zmiany właściwości mechanicznych i fizycznych uszczelnienia:

- pęcznienie uszczelnienia, które styka się z płynami chemicznymi, takimi jak paliwo, olej, smar, gaz itp. (Balasooriya et al., 2018; Lou et al., 2018);
- ekstrakcja rozpuszczalnych składników, takich jak przeciwutleniacze i plastyfikatory (Patel et al., 2019);
- utlenianie powierzchni uszczelnienia w wyniku dyfuzji tlenu, gazów ozonowych (Lou et al., 2018; Han et al., 2019; Salehi et al., 2019);
- utrata dodatków z materiału uszczelniającego w wyniku reakcji chemicznej i reakcji związków nienasyconych (Liu et al., 2017);
- zmiany gęstości usieciowania i zachodzenie reakcji rozrywania łańcucha (Lou et al., 2017; Balasooriya et al., 2018; Salehi et al., 2019);
- zużycie powierzchni i materiału uszczelnienia (Lee et al., 2012; Feyzullohoğlu, 2015; Bae i Chung, 2017).

Mechanizmy te mogą powodować uszkodzenie uszczelnienia i są silnie zależne od temperatury w obszarze uszczelnienia (Mahankar i Dhoble, 2021).

Rosną wymagania stawiane obecnie elastomerom. Związane jest to głównie z ochroną środowiska (eliminacja wszelkich wycieków) oraz z przedłużeniem okresu bezawaryjnego działania urządzeń (minimalizacja zużycia powierzchni przylegania uszczelnień do ruchomych elementów). Warunki pracy uszczelnień są jednak coraz trudniejsze (wprowadzenie olejów syntetycznych, podwyższenie temperatury pracy itd.), co powoduje konieczność wprowadzenia rygorystycznych badań elastomerów, w tym ich kompatybilności z cieczami.

Z elementów układów smarowania / węzłów tarcia najmniej trwale są uszczelnienia. Elastomery, z których są one wykonane, w stosunkowo krótkim czasie w niesprzyjających warunkach mogą ulec zesterzeniu, zmieniając radykalnie swoje własności fizyczne. Zaczynają wyraźnie pęcznieć, zmienia się ich twardość i wytrzymałość. Niebezpieczeństwo rozszczenia układu w przypadku braku kompatybilności środków smarowych z uszczelnieniami powoduje konieczność wprowadzenia

rygorystycznych badań tego zjawiska. Z uwagi na to, że badania eksploatacyjne i stanowiskowe są długotrwałe i bardzo kosztowne, a do tego mało obiektywne, do badań kompatybilności stosuje się testy laboratoryjne. Wykorzystuje się próbki danego wyrobu elastomerowego i poddaje się je oddziaływaniu

badanego środka smarowego przez określony czas w określonej temperaturze, stosując znormalizowane metody badawcze.

Klasyfikację kauczuków i lateksów przedstawiają normy ISO 1629:2017-06 oraz ASTM D 1418-22. Informacje te zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Klasyfikacja elastomerów według PN-ISO 1629:2017-06
Table 1. Classification of elastomers PN-ISO 1629:2017-06

Grupa	Symbol	Opis
M	Kauczuki z nasyconym wiązaniem polimetylenu	
	ACM	kauczuk akrylowy, kopolimer akrylanu etylu (lub innych akrylanów) i małej ilości monomeru ułatwiającego wulkanizację
	AEM	kopolimer akrylanu etylu (lub innych akrylanów) i etylenu
	ANM	kopolimer akrylanu etylu (lub innych akrylanów) i akrylonitrylu
	CM	chlorowany polietylen
	CSM	chlorosulfonowany polietylen
	EPDM	terpolimer etylenu, propylenu i dienu niesprzężonego, wbudowanego do łańcucha głównego w taki sposób, że jego drugie wiązanie nienasycone występuje w łańcuchu bocznym
	EPM	kopolimer etylenu i propylenu
	EVM	kopolimer etylenu i octanu winylu
	FEPM	kopolimer tetrafluoroetylenu i propylenu
	FFKM	kauczuk perfluorowy, w którym wszystkie podstawniki łańcucha polimeru są grupami fluorowymi, perfluoroalkilowymi lub perfluoroalkoksyłowymi
	FKM	kauczuk fluorowy, w którym podstawniki łańcucha polimeru są grupami fluorowymi, perfluoroalkilowymi lub perfluoroalkoksyłowymi
	IM	poliizobutylen
NBM	kopolimer butadienu i akrylonitrylu całkowicie uwodorniony	
N	Kauczuki zawierające węgiel i azot w łańcuchu polimeru	
	Jak dotąd nie ma kauczuków z grupy oznaczonej symbolem „N”	
O	Kauczuki zawierające węgiel i tlen w łańcuchu polimeru	
	CO	polichlorometyloksiran(powszechnie znany jako kauczuk epichlorohydrynowy)
	ECO	kopolimer tlenku etylenu (oksiranu) i chlorometyloksiranu (kopolimer lub kauczuk epichlorohydrynowy)
	GECO	terpolimer epichlorohydryny z tlenkiem etylenu i eterem alliloglicydylowym
GPO	kopolimer tlenku propylenu i eteru alliloglicydylowego (znany także jako kauczuk oksypropylenowy)	
Q	Kauczuki zawierające krzem i tlen w łańcuchu polimeru	
	FMQ	kauczuk silikonowy, w którym podstawniki łańcucha polimeru są grupami metylowymi i fluorowymi
	FVMQ	kauczuk silikonowy, w którym podstawniki łańcucha polimeru są grupami metylowymi, winylowymi i fluorowymi
	MQ	kauczuk silikonowy, w którym podstawniki łańcucha polimeru są tylko grupami metylowymi, taki jak polisiloksan dimetylu
	PMQ	kauczuk silikonowy, w którym podstawniki łańcucha polimeru są zarówno grupami metylowymi, jak i fenyłowymi
	PVMQ	kauczuk silikonowy, w którym podstawniki łańcucha polimeru są grupami metylowymi, winylowymi i fenyłowymi
VMQ	kauczuk silikonowy, w którym podstawniki łańcucha polimeru są grupami metylowymi i winylowymi	
R	Kauczuki zawierające węgiel i tlen w łańcuchu polimeru	
	Oznaczenia ogólne	
	ABR	kauczuk butadienowo-akrylanowy
	BR	kauczuk butadienowy
	CR	kauczuk chloroprenowy
	ENR	kauczuk naturalny epoksydowany
	HNBR	uwodorniony NBR (o pewnym stopniu nienasycenia)
IIR	kauczuk izoprenowo-izobutenowy (znany jako kauczuk butylowy)	

cd. Tabela 1/cont. Table 1

Grupa	Symbol	Opis	
R	IR	kauczuk izoprenowy syntetyczny	
	MSBR	kauczuk butadienowo-a-metylostyrenowy	
	NBR	kauczuk butadienowo-akrylonitrylowy (znany jako kauczuk nitrylowy)	
	NIR	kauczuk izoprenowo-akrylonitrylowy	
	NR	kauczuk naturalny	
	PBR	kauczuk butadienowo-winylopirydynowy	
	PSBR	kauczuk butadienowo-styrenowo-winylopirydynowy	
	SBR	kauczuk butadienowo-styrenowy	
	E-SBR	SBR polimeryzacji emulsyjnej	
	S-SBR	SBR polimeryzacji rozpuszczalnikowej	
	SIBR	kauczuk butadienowo-izoprenowo-styrenowy	
	Kauczuki z łańcuchem podstawionym grupami karboksylowymi (-COOH)		
	XBR	karboksylowany kauczuk butadienowy	
	XCR	karboksylowany kauczuk chloroprenowy	
	XNBR	karboksylowany kauczuk butadienowo-akrylonitrylowy	
	XSBR	karboksylowany kauczuk butadienowo-styrenowy	
	Kauczuki zawierające chlorowce w łańcuchu polimeru		
BIR	bromowany kauczuk izoprenowo-izobutenowy (zwany kauczukiem bromobutyłowym)		
CIR	chlorowany kauczuk izoprenowo-izobutenowy (zwany kauczukiem chlorobutyłowym)		
T	Kauczuki zawierające węgiel, tlen i siarkę w łańcuchu polimeru (zwykle są one nazywane kauczukami polisiarczkowymi)		
	OT	kauczuk zawierający w łańcuchu polimeru między wiązaniami polisiarczkowymi grupę -CH ₂ -CH ₂ -O-CH ₂ -O-CH ₂ -CH ₂ - albo (sporadycznie) grupę R, zwykle alifatyczną grupę węglowodorową, inną niż -CH ₂ -CH ₂ -	
	EOT	kauczuk zawierający w łańcuchu polimeru między wiązaniami polisiarczkowymi grupę -CH ₂ -CH ₂ -O-CH ₂ -O-CH ₂ -CH ₂ - i grupę R, którą jest zwykle -CH ₂ CH _n , a sporadycznie inna grupa alifatyczna	
U	Kauczuki zawierające tlen i azot w łańcuchu polimeru		
	AFMU	terpolimer tetrafluoroetyleny, trifluoronitrozometanu i kwasu nitrozoperfluorobutanowego	
	AU	poliuretan estrowy	
EU	poliuretan eterowy		
Z	Kauczuki zawierające fosfor i azot w łańcuchu polimeru		
	FZ	kauczuk z łańcuchem zbudowanym z grup -P=N-, podstawionym grupami fluoroalkoksyłowymi, połączonymi z atomem fosforu w łańcuchu głównym	
	PZ	kauczuk z łańcuchem zbudowanym z grup -P=N-, podstawionym grupami aryloksyłowymi (fenoksyłowymi i fenoksyłowymi podstawionymi), połączonymi z atomem fosforu w łańcuchu głównym	

Tabela 2. Ogólna charakterystyka elastomerów stosowanych do produkcji uszczelnień (McKeen, 2014; Parker O-Ring Handbook, 2021; Plasteopedia)

Table 2. General characteristics of elastomers used in the production of seals (McKeen, 2014; Parker O-Ring Handbook, 2021; Plasteopedia)

Rodzaj kauczuku	Symbol	Zakres temperatur stosowania, od/do [°C]	Odporność	Brak odporności
Naturalny	NR	-50 / +70	umiarkowana odporność na działanie czynników atmosferycznych oraz ozonu: płyn hamulcowy na bazie glikoli, kwasy i ługi o niskim stężeniu, woda i alkohole o niewysokiej temperaturze	brak dobrej odporności na ścieranie, nie wykazuje szczególnej odporności na działanie ognia, bardzo mała odporność na działanie niepolarnych rozpuszczalników; węglowodory chlorowane, alifatyczne i aromatyczne, paliwa silnikowe, smary i oleje mineralne

cd. Tabela 2/cont. Table 2

Rodzaj kauczuku	Symbol	Zakres temperatur stosowania, od/do [°C]	Odporność	Brak odporności
Butadienowo-akrylonitrylowy	NBR	-50 / +105	benzyna, oleje, węglowodory alifatyczne (propan...), lekkie oleje opałowe, oleje napędowe, niepalne ciecz hydrauliczne woda-olej typu HSA, HSB, i poliglikol-woda typu HSC, rozcieńczone kwasy i zasady w niskich temperaturach, alkohole	węglowodory aromatyczne (benzen), węglowodory chlorowane (tri), ciecz hydrauliczne HSD (poliestrowe i na bazie ww. chlorowanych), płyny hamulcowe na bazie glikoli, estry, rozpuszczalniki, oleje i smary silikonowe
Butadienowo-styrenowy	SBR	-30 / +70	kwasy i zasady nieorganiczne, płyn hamulcowy na bazie glikoli, woda, alkohole	oleje i smary mineralne, benzyna, węglowodory alifatyczne i aromatyczne chlorowane
Chloroprenowy	CR	-40 / +110	wysoka odporność na ozon, starzenie atmosferyczne, czynniki chemiczne (m.in. oleje, alkohole, rozcieńczone kwasy), odporny na czynniki chłodnicze (np. freon), promieniowanie UV i ścieranie, średnia odporność na oleje i smary ropopochodne, freon, materiał trudnopalny	węglowodory aromatyczne i chlorowane, estry, aminy, paliwa, rozpuszczalniki (aceton)
Akrylowy	ACM	-20 / +150 (okresowo 170)	oleje napędowe, silnikowe, węglowodory alifatyczne i aromatyczne, ozon, tlen	płyny hamulcowe na glikolu, zasady, kwasy, ciecz hydrauliczne, węglowodory aromatyczne i chlorowane, para wodna, kwasy i zasady
Silikonowy	MVQ VMQ/Si	-60 / +120	oleje silnikowe napędowe, smary, płyny hydrauliczne	kwasy, zasady, aceton, estry, węglowodory aromatyczne i alifatyczne
Uretanowy	AU, EU	-20 / + 80	węglowodory alifatyczne i aromatyczne, oleje napędowe i hydrauliczne	roztworzy, oleje mineralne, kwasy, ługi, para wodna
Fluorowy	FPM	-20 / +250	szczególna odporność cieplna i chemiczna, ozon, promieniowanie ultrafioletowe, agresywne związki chemiczne, materiały pędne, węglowodory aromatyczne i alifatyczne, oleje i smary na bazach mineralnych, kwasy nieorganiczne (solny, siarkowy, fosforowy, azotowy), kwasy, zasady, ozon, płyny hamulcowe	kwasy organiczne, ketony, estry
Fluoro-silikonowy	FVMQ	-80 / +180 (okresowo 200)	czynniki atmosferyczne, temperatura, ozon oraz promienie UV, w stosunku do MVQ posiadają lepsze własności fizykomechaniczne, większą odporność na rozdieranie, mniejsze odkształcenie trwałe przy ścisaniu, są bardziej odporne na działanie materiałów pędnych, olejów mineralnych i syntetycznych oraz smarów i rozpuszczalników	para wodna, ścieranie
Etyleno-propylenowy	EPDM	-40 / +110	para wodna, woda, środki myjące, ozon, kwasy, zasady, dobre właściwości do odwracalnej deformacji pod wpływem działania sił mechanicznych, z zachowaniem ciągłości jego struktury	materiały pędne, oleje
Butylowy	IIR	-40 / +130	kwasy nieorganiczne, roztwory zasad, woda utleniona do 30%, alkohole, fenole, nitrobenzen, aniliny, oleje roślinne i zwierzęce, ketony, etery, estry, kwasy organiczne, ozon	oleje i tłuszcze, łatwopalny, niska sprężystość

W urządzeniach technicznych i pojazdach mechanicznych używanych jest wiele różnorodnych kauczuków/elastomerów – te najczęściej stosowane zestawiono w tabeli 2.

Metodyka badawcza

Stanowisko do oceny kompatybilności środków smarowych z elastomerami składało się z kilku aparatów pracujących niezależnie i wykonujących pomiary różnych wielkości fizycznych oraz z szeregu urządzeń pomocniczych niezbędnych do przygotowania i przeprowadzenia badania. Do podstawowego wyposażenia stanowiska badawczego należały:

- uniwersalna maszyna do badań wytrzymałościowych materiałów ZWICK 1445-60 (rysunek 1) – używana do określania wytrzymałości badanych elastomerów w chwili zerwania oraz ich wydłużenia względnego w chwili zerwania. Na potrzeby badania tworzyw sztucznych zmodyfikowano elementy mocowania próbek testowych oraz sposób pomiaru wydłużenia;
- twardościomierz IRHD ZWICK 3104 (rysunek 2) – do badań twardości elastomerów w międzynarodowej skali twardości gumy oraz twardościomierz Shore A (rysunek 3).



Rysunek 2. Twardościomierz IRHD Zwick 3104 (fot. INiG – PIB)
 Figure 2. IRHD Zwick 3104 hardness tester (photo: INiG – PIB)



Rysunek 1. Maszyna wytrzymałościowa ZWICK 1445-60 (fot. INiG – PIB)
 Figure 1. ZWICK 1445-60 testing machine (photo: INiG – PIB)

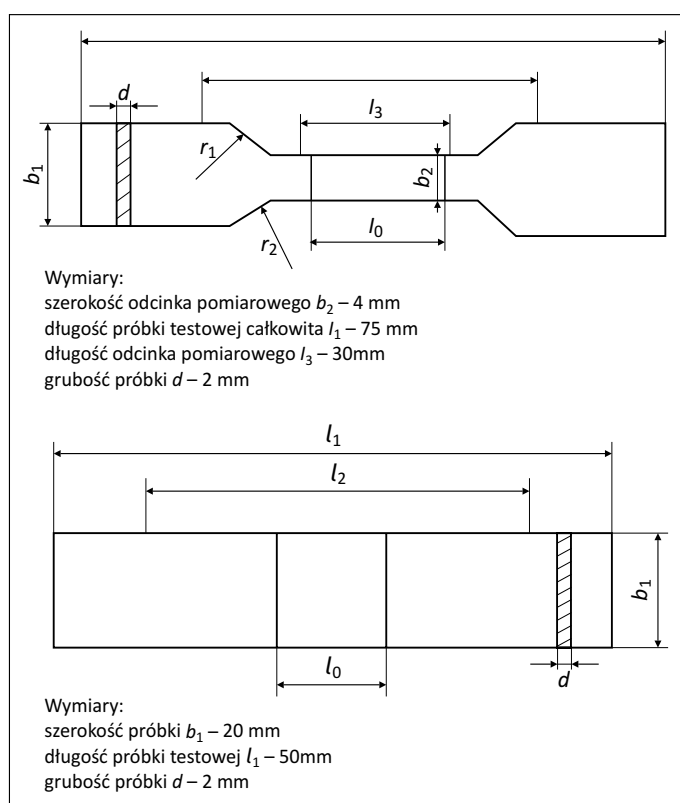


Rysunek 3. Twardościomierz Shore A (fot. INiG – PIB)
 Figure 3. Shore A hardness tester (photo: INiG – PIB)

Metodyka badania miała na celu ocenę wzajemnego oddziaływania elastomerów i środków smarowych będących z nimi w bezpośrednim kontakcie i polegała na określeniu wartości zmian własności fizycznych elastomerów testowych poddanych działaniu badanych środków smarowych.

Badania realizowane były w następujących etapach:

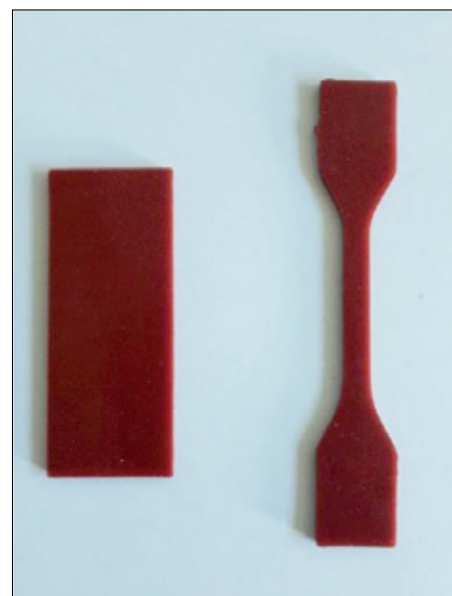
- z arkuszy elastomerów grubości około 2 mm zostały wycięte kształtownikami elementy prostokątne wielkości $5 \times 2,5$ cm do badań zmiany objętości i twardości oraz próbki w kształcie wiosełek (typ II według PN-82/C-04205) do badań wytrzymałościowych (rysunki 4 i 5);



Rysunek 4. Wymiary kształtek elastomerowych wykorzystywanych w badaniach (Źródło: Politechnika Gdańska)

Figure 4. Elastomeric test pieces (Source: Gdańsk University of Technology)

- określone zostały wartości wstępne: objętość, twardość i właściwości mechaniczne badanych elastomerów;
- elastomery były zanurzane w badanych smarach plastycznych w określonych (procedurą badawczą) warunkach temperaturowych na określony czas kontaktu;
- elastomery po wyjęciu z badanego smaru plastycznego zostały przemyte i poddane badaniom końcowym, tj. ponownemu badaniu objętości, twardości oraz właściwości mechanicznych;
- porównując wyniki wstępne i końcowe, uzyskano obraz wpływu badanego środka na poszczególne rodzaje elastomerów.



Rysunek 5. Stosowane do badań próbki elastomerów (fot. INiG – PIB)

Figure 5. Samples of elastomers used for testing (photo: INiG – PIB)

Część doświadczalna

Do badań kompatybilności smarów plastycznych z elastomerami wytypowano handlowe, dostępne na rynku elastomery FPM, NBR, MVQ, CR, SBR, EPDM.

Do przeprowadzenia badań kompatybilności z ww. elastomerami wykorzystano próbki różnego rodzaju smarów zawierających w swym składzie oleje bazowe o różnym charakterze chemicznym (i w różnych klasach lepkościowych ISO VG):

- próbki smarów wytworzonych w laboratorium według własnych technologii;
- próbki smarów dostępnych na rynku.

Próbki do badań dobrano w taki sposób, by móc ocenić wpływ gotowych smarów plastycznych, o różnym charakterze oleju bazowego, na elastomery. Badane próbki zestawiono w tabeli 3.

Wyniki badań

Badania realizowane były zgodnie ze zmodyfikowaną metodą ASTM D 471-16 (2021) w następujących etapach opisanych w metodyce badawczej.

Badania kompatybilności smarów plastycznych z elastomerami polegały na określeniu zmian właściwości fizycznych i chemicznych elastomerów poddanych działaniu badanych środków w temperaturze 100°C przez 168 godzin. Badanie wykonano zgodnie ASTM D 471-16 (2021). Oznaczono wytrzymałość na rozciąganie według PN-ISO 37:2007, wydłużenie przy zerwaniu według PN-ISO 37:2007 + PN-ISO 37:2008AC1,

Tabela 3. Próbkki badawcze

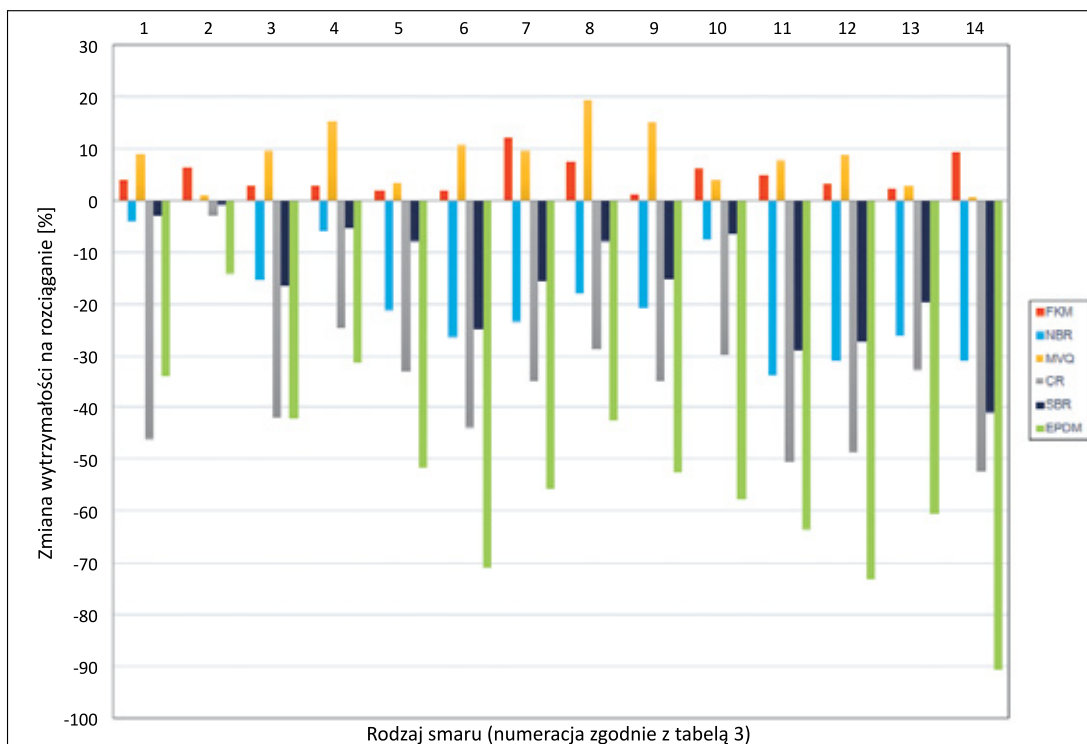
Table 3. Test samples

Serie próbek	Charakter oleju bazowego	Rodzaj smaru
1	parafinowy, pozostałościowy	bentonitowy
2	PAO	bentonitowy
3	naftenowy	bentonitowy
4	estrowy	bentonitowy
5	parafinowy	litowo-wapniowy
6	naftenowy	litowo-wapniowy
7	estrowy	litowy
8	PAO	litowy
9	parafinowy	litowy
10	estrowy	polimocznik
11	mineralny	polimocznik
12	PAO	polimocznik
13	mineralny i PAO	kompleksowy litowy
14	naftenowy	glinowy kompleksowy

stopień twardości według ISO 48-2:2018 i zmianę objętości elastomerów przed badaniem i po badaniu zgodnie z ASTM D 471-16 (2021). Uzyskane wyniki zmian parametrów elastomerów poddanych działaniu smarów zestawiono na rysunkach 6–9. Użyta na wykresach numeracja od 1–14 odpowiada rodzajowi smaru z tabeli 3.

Wytrzymałość elastomerów na rozciąganie po zanurzeniu w próbkach smarów plastycznych oraz kondycjonowaniu w temperaturze 100°C przez 168 h:

- uległa niewielkiemu zwiększeniu dla elastomerów FPM i MVQ w zdecydowanej większości przypadków (do +10%), tj. niezbędne było użycie większej siły do zerwania elastomeru;
- uległa zmniejszeniu dla elastomeru NBR (do 30%) i dla SBR (do 40%);
- uległa zmniejszeniu dla elastomerów CR, EPDM. Wielkość zmian jest tak duża, że w większości przypadków przekracza wartość 40%, a w jednym przypadku sięga wartości 90%.



Rysunek 6. Zmiana wytrzymałości na rozciąganie badanych elastomerów po kontakcie z wytypowanymi próbkami smarów
 Figure 6. Change in tensile strength of the tested elastomers after contact with selected samples of lubricants

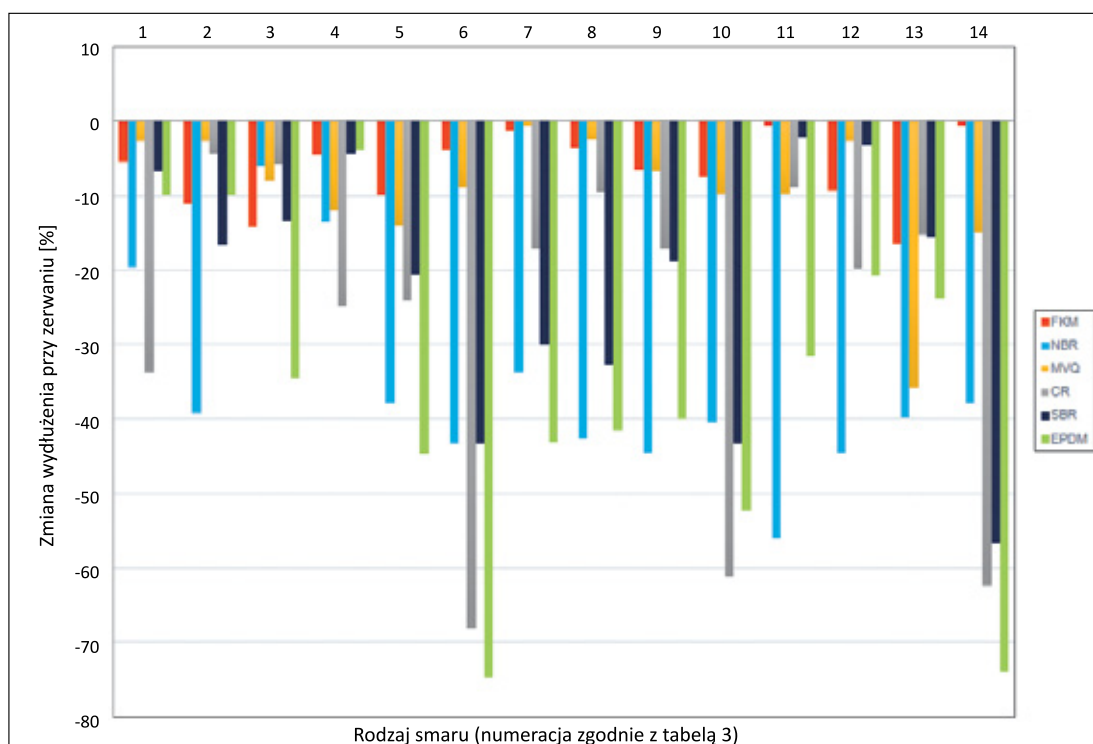
Wydłużenie elastomerów przy zerwaniu po zanurzeniu w próbkach smarów plastycznych oraz kondycjonowaniu w temperaturze 100°C przez 168 h:

- uległo zmniejszeniu w przypadku wszystkich elastomerów, największą zmianę zaobserwowano dla elastomeru EPDM. W przypadku trzech smarów plastycznych wartość zmiany tego parametru dla elastomeru EPDM osiągnęła 75%;
- niewielkie zmiany tego parametru (do -10%) zaobserwowano dla elastomeru FPM i MVQ. Tylko w jed-

nym przypadku zmiana tego parametru osiągnęła wartość 20%.

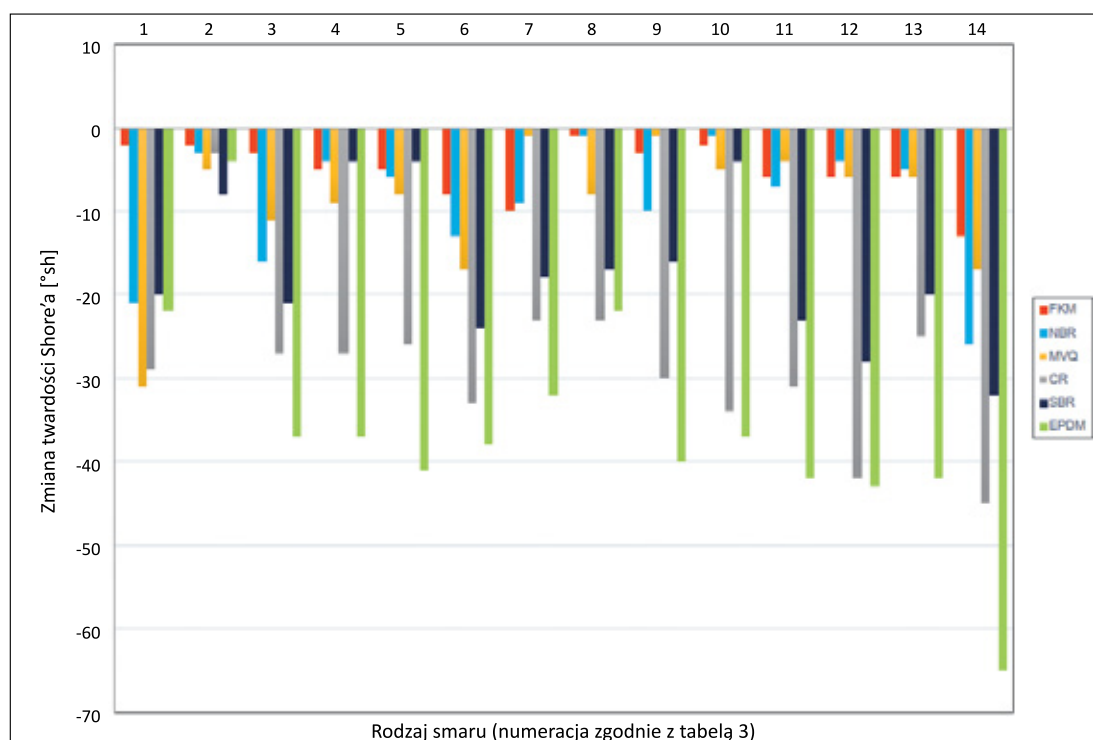
Wartość zmiany twardości Shore'a dla badanych elastomerów po zanurzeniu w próbkach smarów plastycznych oraz kondycjonowaniu w temperaturze 100°C przez 168 h:

- uległa zmniejszeniu dla wszystkich elastomerów, największą zmianę zaobserwowano w przypadku elastomeru EPDM;
- dla wszystkich badanych smarów plastycznych najmniejszą zmianę twardości zaobserwowano dla elastomeru FKM



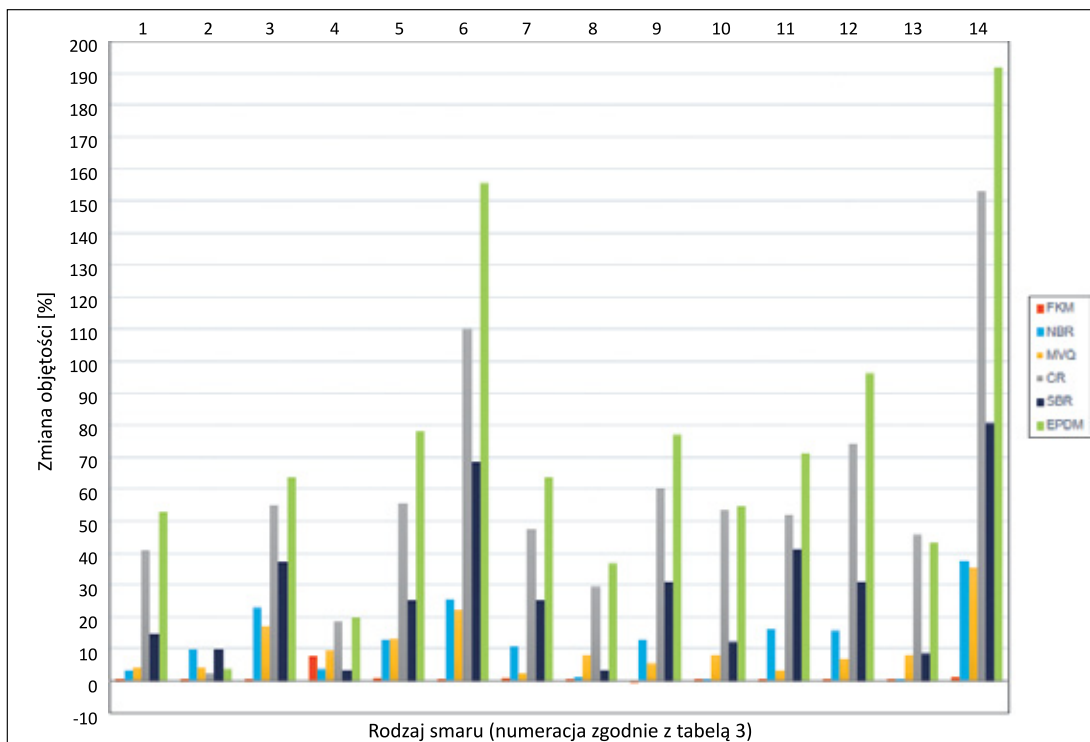
Rysunek 7. Zmiana wydłużenia przy zerwaniu badanych elastomerów po kontakcie z wytypowanymi próbkami smarów

Figure 7. Change in elongation at break of the tested elastomers after contact with selected samples of lubricants



Rysunek 8. Zmiana twardości Shore'a badanych elastomerów po kontakcie z wytypowanymi próbkami smarów

Figure 8. Change of Shore hardness of the tested elastomers after contact with selected samples of lubricants



Rysunek 9. Zmiana objętości badanych elastomerów po kontakcie z wytypowanymi próbkami smarów
Figure 9. Change in the volume of the tested elastomers after contact with selected samples of lubricants

(nieprzekraczającą -15°Sh) oraz MVQ (tylko w jednym przypadku przekracza -30°Sh);

Wartość zmiany objętości badanych elastomerów po zanurzeniu w próbkach smarów plastycznych oraz kondycjonowaniu w temperaturze 100°C przez 168 h:

- wzrosła dla wszystkich zastosowanych w pracy elastomerów: FPM, NBR, MVQ, CR, SBR i EPDM;
- w przypadku elastomerów FPM, NBR i MVQ zmiany te są małe. W większości przypadków nie przekraczają 10%;
- dla elastomeru EPDM uzyskano spektakularne wartości zmiany objętości, nawet do 180%. Tak duże zmiany objętości świadczą o całkowitej degradacji elastomeru.

Interpretacja wyników i wnioski

Spośród zastosowanych w pracy elastomerów handlowych najbardziej odporny okazał się elastomer fluorowy FPM, którego zmiany właściwości fizycznych i mechanicznych są nieznaczne, zdecydowanie mniejsze niż dopuszczalne normami przedmiotowymi dla innych produktów naftowych. Ten elastomer bez obaw może być stosowany w warunkach eksploatacyjnych. Posiada on odpowiednią odporność na używane obecnie smary plastyczne.

Elastomer silikonowy MVQ i nitylowy NBR są odporne na niektóre zastosowane w pracy smary plastyczne. Zmiany ich właściwości fizycznych i mechanicznych są jednak znacznie większe. Ich wykorzystanie w węzłach tarcia i uszczelnieniach powinno być poprzedzone badaniami ich kompatybilności

w warunkach eksploatacyjnych. Pozostałe elastomery, tj. elastomer chloroprenowy CR, butadienowo-styrenowy SBR, etylenowo-propylenowo-styrenowy EPDM nie powinny być stosowane w warunkach eksploatacyjnych w kontakcie ze smarami plastycznymi. Zmiany ich właściwości fizycznych i mechanicznych po kontakcie z tymi środkami są na tyle duże, że nie ma gwarancji odpowiednio wysokiego poziomu bezpieczeństwa i bezawaryjnego współdziałania.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Modyfikacja metodyki oceny kompatybilności współczesnych elastomerów i tworzyw polimerowych ze środkami smarowymi*, praca INiG – PIB; nr zlecenia: 0053/TO/TE/2021, nr archiwalny: DK-4100-41/2021.

Literatura

Bae J., Chung K.H., 2017. Accelerated wear testing of polyurethane hydraulic seal. *Polymer Testing*, 63: 110–117. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2017.08.014.

Balasooriya W., Schrittester B., Pinter G., Schwarz T., 2018. Induced material degradation of elastomers in harsh environments. *Polymer Testing*, 69: 107–115. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2018.05.016.

Farfan-Cabrera L.I., Pascual-Francisco J.B., Gallardo-Hernandez E.A., Susarrey-Huerta O., 2018. Application of digital image correlation technique to evaluate creep degradation of sealing elastomers due to exposure to fluids. *Polymer Testing*, 65: 134–141. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2017.11.017.

Feyzullahoğlu E., 2015. Abrasive wear, thermal and viscoelastic behaviors of rubber seal materials used in different working conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 229(1): 64–73. DOI: 10.1177/1350650114541750.

Han R., Wu Y., Quan X., Niu K., 2019. Effects of crosslinking densities on mechanical properties of nitrile rubber composites in

- thermal oxidative aging environment. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(36): 1–10. DOI: 10.1002/app.49076.
- Hawkins W.L., 1984. *Polymer Degradation and Stabilization*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Lee S.H., Yoo S.S., Kim D.E., Kang B.S., Kim H.E., 2012. Accelerated wear test of FKM elastomer for life prediction of seals. *Polymer Testing*, 31(8): 993–1000. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2012.07.017.
- Liu X., Zhao J., Yang R., Iervolino R., Barbera S., 2017. Thermal aging of hydrogenated nitrile rubber – loss of additives and its influence on elasticity maintenance. *Polimery*, 62(7–8): 588–598. DOI: 10.14314/polimery.2017.588.
- Lou W., Zhang W., Liu X., Dai W., Xu D., 2017. Degradation of hydrogenated nitrile rubber (HNBR) O-rings exposed to simulated servo system conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 144: 464–472. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2017.09.009.
- Lou W., Zhang W., Wang H., Jin T., Liu X., Dai W., 2018. Synergistic Effects of Multiple Environmental Factors on Degradation of Hydrogenated Nitrile Rubber Seals. *Polymer*, 10(8): 897. DOI: 10.3390/polym10080897.
- Mahankar P.S., Dhoble A.S., 2021. Review of hydraulic seal failures due to effect of medium to high temperature. *Engineering Failure Analysis*, 127: 105552. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105552.
- McKeen L.W., 2014. The Effect of Long Term Thermal Exposure on Plastics and Elastomers. *William Andrew Publishing*. DOI: 10.1016/B978-0-323-22108-5.00011-4.
- Parker O-Ring Handbook, 2021. *Parker Hannifin Corporation, Cleveland, OH*. <<https://www.parker.com/Literature/O-Ring%20Division%20Literature/ORD%205700.pdf>> (dostęp: 11.01.2023).
- Patel H., Salehi S., Teodoriu C., Ahmed R., 2019. Performance evaluation and parametric study of elastomer seal in conventional hanger assembly. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 175: 246–254. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.12.051.
- Plastechopedia. <<https://www.plastech.pl>> (dostęp: 18.05.2021).
- Sacha D., 2015. Kompatybilność cieczy eksploatacyjnych stosowanych w pojazdach mechanicznych z uszczelnieniami elastomerycznymi. *Nafta-Gaz*, 71(1): 33–40.
- Salehi S., Ezeakacha C.P., Kwatia G., Ahmed R., Teodoriu C., 2019. Performance verification of elastomer materials in corrosive gas and liquid conditions. *Polymer Testing*, 75: 48–63. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2019.01.015.
- Skibińska A., 2020. Wielofunkcyjne smary krzemionkowe. *Nafta-Gaz*, 76(4): 279–284. DOI: 10.18668/NG.2020.04.07.

Akty prawne i dokumenty normatywne

- ASTM D 1418-22 Standard Practice for Rubber and Rubber Latices – Nomenclature.
- ASTM D 471-16 (2021) Standard test method for rubber property – effect of liquids.
- ISO 48-2:2018 Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness – Part 2: Hardness between 10 IRHD and 100 IRHD.
- PN-ISO 1629:2017-06 Kauczuki i lateksy – Nazewnictwo.
- PN-ISO 37:2007 + PN-ISO 37:2008AC1 Guma i kauczuk termoplastyczny – Oznaczanie właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu.



Mgr inż. Dariusz SACHA
Starszy specjalista badawczo-techniczny
w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: dariusz.sacha@inig.pl



Mgr inż. Agnieszka SKIBIŃSKA
Starszy specjalista badawczo-techniczny
w Zakładzie Olejów, Środków Smarowych i Asfaltów
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: agnieszka.skibinska@inig.pl