

Ocena kompatybilności współczesnych elastomerów z olejami bazowymi stosowanymi do produkcji smarów plastycznych

Compatibility of modern elastomers with base oils used for the production of lubricants

Dariusz Sacha, Agnieszka Skibińska

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Kompatybilność materiałowa jest bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na trwałość, bezpieczeństwo i niezawodność stosowanych urządzeń mechanicznych. Wprowadzenie na rynek nowo opracowanych środków smarowych do nowych zastosowań lub środków, w których zmieniono bazy olejowe lub pakiety dodatków uszlachetniających, wymaga sprawdzenia ich współdziałania z materiałami konstrukcyjnymi urządzeń, w których będą one stosowane. Jednym z materiałów konstrukcyjnych wrażliwych na produkty naftowe są różnego rodzaju elastomery, które w wielu zastosowaniach technicznych wykorzystywane są jako materiały uszczelniające lub przewody zasilające. Ze względu na swoją budowę elastomery ulegają niekorzystnym zmianom w miarę upływu czasu, wzrostu temperatury, oddziaływania światła ultrafioletowego, ozonu oraz różnych substancji organicznych. Środki smarowe mogą migrować do masy elastomeru, powodując ogólną zmianę objętości i modyfikację jego właściwości, w szczególności wpływając na jego twardość, wytrzymałość i zdolność do odkształceń odwracalnych. W skrajnych przypadkach środki te mogą powodować całkowitą degradację elastomeru. Z uwagi na fakt, 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 je oddziaływaniu badanego środka smarowego przez określony czas w określonej temperaturze, stosując znormalizowane metody badawcze. W artykule opisano współdziałania zachodzące pomiędzy elastomerami a wybranymi olejami bazowymi stosowanymi do produkcji smarów plastycznych. Zbadano wpływ olejów bazowych na właściwości fizyczne oraz mechaniczne dostępnych na rynku elastomerów. Dla każdego rodzaju elastomeru wyznaczono zmianę objętości, zmianę twardości elastomerów, wydłużenie w chwili zerwania i naprężenie zrywające. Na podstawie przeglądu literaturowego oraz obserwacji poczynionych w trakcie badań określono wstępnie dopuszczalne limity zmian właściwości fizycznych i mechanicznych, w oparciu o które można ocenić odporność elastomerów na oddziaływanie olejów bazowych stosowanych do produkcji smarów plastycznych.

Słowa kluczowe: elastomery, kompatybilność, olej bazowy.

ABSTRACT: Material compatibility is a very important factor affecting the durability, safety and reliability of the mechanical devices used. Launching newly developed lubricants for new applications or those in which oil bases or additive packages have been changed requires checking their interaction with the construction materials of the equipment in which they will be used. One of the construction materials sensitive to petroleum products are various types of elastomers, which, in many technical applications, are used as sealing materials or power lines. Due to their structure, elastomers undergo unfavourable changes over time, increasing temperature, exposure to ultraviolet light, ozone and various organic substances. Lubricants can migrate into the mass of the elastomer, causing a general change in volume and modification of its properties, in particular affecting its hardness, strength and elongation. In extreme cases, these agents can cause complete degradation of the elastomer. Due to the fact that operational and bench tests are long-term and very expensive, and moreover not very objective, laboratory tests are used for compatibility tests. 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 various elastomers and appropriately selected base oils used in the production of plastic lubricants. The influence of base oils on the physical and mechanical properties of commercially available elastomers was investigated. For each type of elastomer, the change in volume, change in hardness of elastomers, elongation at break and strength at break were determined. Based on the literature review and on the basis of observations made during the tests, preliminary acceptable limits for changes in physical and mechanical properties were defined, which allowed us to assess the resistance of elastomers to the impact of base oils used in the production of plastic lubricants.

Key words: elastomers, compatibility, base oil.

Autor do korespondencji: D. Sacha, e-mail: dariusz.sacha@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 11.01.2023 r. Zatwierdzono do druku: 29.06.2023 r.

Wstęp

Kompatybilność materiałowa jest ważnym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę podczas opracowywania nowych środków smarowych i materiałów uszczelniających (Florez et al., 2016).

Niewiele jest informacji na temat współdziałania olejów bazowych wykorzystywanych przy produkcji smarów plastycznych, jak i samych smarów z uszczelnieniami elastomerowymi. Większość opublikowanych danych odnosi się do wpływu paliw (zwłaszcza biopaliw) na różnego rodzaju elementy elastomerowe stosowane w układach paliwowych. Prace te dotyczą badań elastomerów dostępnych na rynku: fluorowego FPM, butadienowo-nitrylowego NBR, chloroprenowego CR, silikonowego MVQ, etylenowo-propylenowo-dienowego EPDM, butadienowo-styrenowego SBR, określając ich odporność na paliwa pochodzenia roślinnego, np. estry metylowe oleju palmowego (Haseeb et al., 2011).

Pojawiają się pojedyncze informacje o wpływie olejów i smarów na uszczelnienia/przewody, jednakże w większości dotyczy to wpływu środków biodegradowalnych i/lub na bazie komponentów roślinnych.

Oddziaływanie produktów naftowych na elastomery

Podczas użytkowania elementy elastomerowe są często w bliskim kontakcie z otaczającymi mediami (powietrze, oleje, smary, paliwa), które mogą migrować do masy elastomeru, powodując ogólną zmianę objętości i modyfikację właściwości materiału. Czas kontaktu musi być jednak odpowiednio długi, by ustaliła się równowaga termodynamiczna (Sacha, 2015). W zależności od wymiarów elastomeru może dojść do niejednorodnej penetracji. Dyfuzja jest zwykle procesem powolnym, kontrolowanym kinetycznie, profile zmian stężeń penetrującej cieczy i dodatków rozwijają się w masie elastomeru, co może prowadzić do niejednorodnego rozkładu pewnych właściwości materiału w odniesieniu do głębokości próbki i trwającego czasu sorpcji. Szybkość dyfuzji silnie zależy od temperatury i od stopnia interakcji pomiędzy elastomerem a cieczą. Wyznaczenie współczynników dyfuzji może być wykorzystane do oceny kompatybilności elastomerów z paliwami i środkami smarowymi (Förster i Blivernitz, 2021).

Do uszczelnienia układów, w których występują oleje mineralne, często stosuje się kauczuk butadienowo-akrylonitrylowy (NBR), ponieważ ze względu na odrębne polarne grupy nitrylowe wykazuje on zwykle dobrą odporność na ciecze niepolarne. Związane jest to z polarnością elastomeru, która silnie zależy od zawartości akrylonitrylu (ACN) – im jest ona większa, tym lepsza kompatybilność z mediami niepolarnymi,

lepsza wytrzymałość na rozciąganie i twardość. Niepolarne oleje mineralne wykazują intensywniejsze interakcje z mniej polarnymi polimerami. Na zachodzące procesy dyfuzyjne, które prowadzą do pęcznienia lub skurczu kauczuku butadienowo-akrylonitrylowego NBR, ma wpływ również skład oleju. Im wyższa zawartość związków aromatycznych w oleju, tym bardziej elastomer pęcznieje (Förster i Blivernitz, 2021).

Pęcznienie uszczelki jest dopuszczalne do pewnego poziomu, ponieważ może to poprawić skuteczność ich działania. Zbyt duże pęcznienie może jednak prowadzić do zmian twardości, wydłużenia i wytrzymałości na rozzerwanie (Walker, 2012). Przy bardzo wysokim poziomie pęcznienia uszczelka może wcisnąć się w obszar prześwitu pomiędzy współpracującymi powierzchniami, powodując niewspółosiowość. Przy uszczelnieniach statycznych nie ma zdefiniowanych dopuszczalnych poziomów pęcznienia lub skurczu, jest to zależne od zastosowania. Niektórzy twierdzą, że dopuszczalne jest pęcznienie do 50% (Brown, 1995), inni, że 25–30% może być tolerowane (Parker Hannifin Corporation, 2021). Skurcz większy niż 3–4% może powodować przecieki (uszczelka może nie stykać się już z obiema współpracującymi powierzchniami), a także zwiększyć twardość i zmniejszyć elastyczność uszczelnienia. Oleje bazowe stosowane w środkach smarowych mają ogromny wpływ na stopień utwardzenia elastomeru. Podczas gdy niektóre dodatki mogą wspomagać działanie uszczelnienia, inne powodują jego degradację, na przykład sprzyjając nadmiernemu sieciowaniu elastomeru. Tego typu reakcje powodują zmniejszenie elastyczności uszczelnienia. Degradację niektórych elastomerów, takich jak kauczuk butadienowo-nitrylowy (NBR), można przypisać ich polarności oraz polarności paliw i olejów, z którymi mają kontakt. Polarne biopaliwa i środki smarowe z większym prawdopodobieństwem wnikną w sieć polimeru, powodując rozluźnienie wiązań łączących makrocząsteczki.

Stosując statyczne testy zanurzeniowe w warunkach 25°C/1000 h (Haseeb et al., 2011), stwierdzono, że elastomery ulegają znacznej degradacji. Biodiesel (na bazie oleju palmowego) powoduje znacznie większą zmianę objętości elastomeru w porównaniu z konwencjonalnym olejem napędowym. Zmiany w twardości i wytrzymałości na rozciąganie były podobne, najbardziej kompatybilny okazał się politetrafluoroetylen PTFE, następnie elastomery SBR, NBR, EPDM, a najmniej – elastomer CR. Natomiast elastomer fluorowy FKM nie wykazywał żadnych zmian po kontakcie z wyżej wymienionymi cieczami.

Zastosowanie olejów roślinnych do smarowania maszyn i urządzeń wymaga sprawdzenia ich kompatybilności z wykorzystanymi materiałami uszczelniającymi. Farfan-Cabrera et al. (2017) przedstawili w swoim artykule właściwości oleju z jatrofy (obrzydlec przeczyszczający). Roślina ta uprawiana jest dla oleju roślinnego, którego zawartość w jej nasionach

osiąga 30–40%. Olej nie nadaje się do spożycia i stosowany może być wyłącznie do celów technicznych. Wykorzystywany jest obecnie m.in. do produkcji biodiesla i olejów smarowych. Wykonano badanie kompatybilności tego oleju z czterema handlowymi elastomerami uszczelniającymi: FKM, VMQ, CR i EPDM, a dla porównania kompatybilność z tymi elastomerami zbadano też dla mineralnego oleju silnikowego i tego samego oleju silnikowego z zawartością 20% oleju z jatrofy. Kompatybilność elastomerów uszczelniających z olejami smarowymi i smarami była oceniana w statycznych testach zanurzeniowych prowadzonych w temperaturze 24°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) przez 670 godzin zgodnie z metodą ASTM D 471. Oznaczona zmiana masy i objętości elastomerów w przypadku zastosowania oleju z jatrofy nie przekraczała 10%, a w przypadku oleju silnikowego przekroczyła 40% (dla EPDM) i nawet 60% (dla CR). Maksymalne zmiany wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia przy zerwaniu w przypadku zastosowania oleju z jatrofy nie przekroczyły -20% , a w przypadku oleju silnikowego przekroczyły -60% (dla EPDM i CR). Badany olej roślinny spowodował zmianę twardości badanych elastomerów na poziomie do -5% w porównaniu z olejem silnikowym, dla którego zmiana ta wynosiła do -20% . Stwierdzono dobrą kompatybilność oleju z jatrofy z badanymi elastomerami, co przypisano dużej zawartości w oleju kwasów tłuszczowych, oleinowego, linolowego i palmitynowego (łącznie powyżej 80%).

W pracy Farfana-Cabrery et al. (2018) opisano ocenę degradacji w warunkach pełzania lepkosprężystych właściwości czterech elastomerów uszczelniających: FKM, VMQ, CR i EPDM po ekspozycji na mineralny olej silnikowy SAE 15W/40 oraz olej napędowy. Oceny dokonano za pomocą techniki cyfrowej korelacji obrazu w eksperymencie określającym zmiany pełzania elastomerów, pod obciążeniem rozciągającym 1,5 N przez 3 godziny, przed zanurzeniem i po zanurzeniu w olejach. W przypadku materiałów uszczelniających lepkosprężystość jest czynnikiem, który decyduje o mechanice kontaktu na powierzchniach przylegania uszczelnienia, mającym wpływ na jego skuteczność. Do badań pełzania z każdego materiału przygotowano próbki podobne do stosowanych do określenia wytrzymałości na rozciąganie (próbki w kształcie wioselka o długości pomiarowej 30 mm (± 1 mm)). Geometrię próbek dobrano tak, aby była ona zgodna z geometrią próbek określoną w metodzie ASTM D 412-16 (2021) dla prób rozciągania. Do pomiaru odkształceń i przemieszczeń generowanych w próbce w czasie rzeczywistym wykorzystano sprzęt DIC (system Dantec Dynamics Q-400), składający się z dwóch czarno-białych kamer CCD z szybkością fotografowania w zakresie od 1/5 do 10000 klatek na sekundę. Testy pełzania przeprowadzono pod obciążeniem 1,5 N, generując różne naprężenia na próbkach. Testy prowadzono w temperaturze pokojowej 25°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) początkowo przez 1 minutę, a następnie kontynuowano

aż do osiągnięcia łącznie 3 godzin. Wyniki uzyskane z eksperymentów pełzania oraz pomiarów odkształceń DIC wykazały zmiany właściwości lepkosprężystych w zakresie pełzania elastomerów po ich ekspozycji na olej silnikowy i napędowy. Degradacja pełzania po zanurzeniu w oleju silnikowym była największa dla EPDM i CR, natomiast po zanurzeniu w oleju napędowym największy wpływ zauważono dla EPDM, CR i VMQ. W przypadku FKM zarówno wyniki eksperymentów pełzania, jak i pomiarów odkształceń przed ekspozycją i po ekspozycji na oleje były podobne, więc uznano go za najbardziej odporny elastomer.

Kompatybilność elastomerów była oceniana również w standardowych statycznych testach zanurzeniowych prowadzonych zgodnie z metodą ASTM D 471 w temperaturze 24°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) przez 670 godzin, w celu określenia zmian: masy, objętości, wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenie przy zerwaniu oraz twardości. Testy te pokazały ogólną perspektywę fizycznej degradacji elastomerów. W szczególności, zgodnie z kryteriami opartymi na zmianach pęcznienia w celu określenia kompatybilności, stwierdzono, że ogólna sekwencja od najbardziej do najmniej kompatybilnego elastomeru z badanymi olejami to: FKM > VMQ > EPDM > CR. Olej silnikowy nie miał prawie żadnego wpływu na FKM i VMQ.

Stwierdzono, że ta alternatywna metoda oceny pełzania degradacji elastomerów jest bardzo odpowiednia i użyteczna ze względu na bardzo małą złożoność oraz dokładność pomiaru odkształceń.

W literaturze można znaleźć jedynie ogólne wytyczne dotyczące badań kompatybilności olejów bazowych do produkcji smarów plastycznych z elastomerami.

W tabeli 1 przedstawiono możliwości stosowania elastomerów i tworzyw termoplastycznych w kontakcie z olejami bazowymi. Oleje bazowe podzielono na grupy o różnym charakterze chemicznym (Skibińska i Żółty, 2015).

Metodyka badawcza

Stanowisko badawcze, z którego wykorzystaniem przeprowadzono badania oceny kompatybilności środków smarowych z elastomerami, składało się z:

- 1) uniwersalnej maszyny do badań wytrzymałościowych materiałów ZWICK 1445 60 (rysunek 1), używanej do określania naprężeń zrywających oraz wydłużenia względnego przy zerwaniu;
- 2) twardościomierza Shore'a (rysunek 2).

Metoda badania ma na celu ocenę wzajemnego oddziaływania elastomerów i środków smarowych, będących z nimi w bezpośrednim kontakcie. Współoddziaływanie to opisują zmiany właściwości fizycznych i mechanicznych elastomerów

Tabela 1. Kompatybilność olejów z elastomerami i tworzywami termoplastycznymi (ECL)**Table 1.** Compatibility of oils with elastomers and thermoplastics (ECL)

Nazwa	Symbol	Mineralny	PAO	Estrowy	PAG	Silikonowy	PFPE
Acrylonitrile butadiene styrenes	ABS						
Polyamides (nylons)	PA						
Polyamide-imides	PA						
Polybutylene Terephthalates (polyesters)	PBT						
Polycarbonates	PC						
Polyethylenes	PE						
Polyetheretherketone	PEEK						
Phenol-formaldehyde (phenolics)	PF						
Polyimides	PI						
Poly-oxymethylenes (acetals)	POM						
Polyphenylene oxides	PPO						
Polyphenylene sulfides	PPS						
Polysulfones	PSU						
PolyPropylene	PP						
PolyTetraFluoroEthylene	PTFE						
Polyvinyl chlorides	PVC						
Thermoplastic Polyurethane	TPU						
Polyacrylate Rubber	ACM						
Vamac	AEM						
Polychloroprene	CR						
Ethylene Propylene Diene Monomer	EPDM						
Fluoroelastomers	FKM						
FluoroSilicone Rubber	FVMQ						
Hydrogenated NBR	HNBR						
Butyl	IIR						
Nitrile (Buna N)	NBR						
Buna S	SBR						
Silicone	VMQ						
Natural Rubber	NR						
Objaśnienia:	TAK	MOŻE	NIE				

testowych poddanych działaniu badanych olejów bazowych stosowanych do produkcji środków smarowych.

Badania realizowane były w następujących etapach:

- z arkuszy elastomerów grubości około 2 mm wycięto kształtownikami elementy prostokątne wielkości 5 cm × 2,5 cm do badań zmiany objętości i twardości oraz elementy w kształcie wiósełek (typ II według PN-ISO 37:2007) do badań wytrzymałościowych (rysunki 3 i 4);
- określono wartości wstępne: objętość, twardość i właściwości mechaniczne badanych elastomerów;
- elastomery zanurzone w badanych środkach smarowych w określonych (procedurą badawczą) warunkach temperaturowych na określony czas kontaktu;
- elastomery wyjęto z badanego środka smarowego, umyto i przeprowadzono badania końcowe, tj. wykonano

ponownie badanie objętości, twardości oraz właściwości mechanicznych;

- porównując wyniki wstępne i końcowe, uzyskano obraz wpływu badanego środka na poszczególne rodzaje elastomerów.

Przebieg badań i analiza wyników

Do badań kompatybilności olejów bazowych do produkcji smarów plastycznych z elastomerami wytypowano:

- elastomer fluorowy FKM;
- elastomer butadienowo-nitrylowy NBR;
- elastomer chloroprenowy CR;
- elastomer silikonowy MVQ;



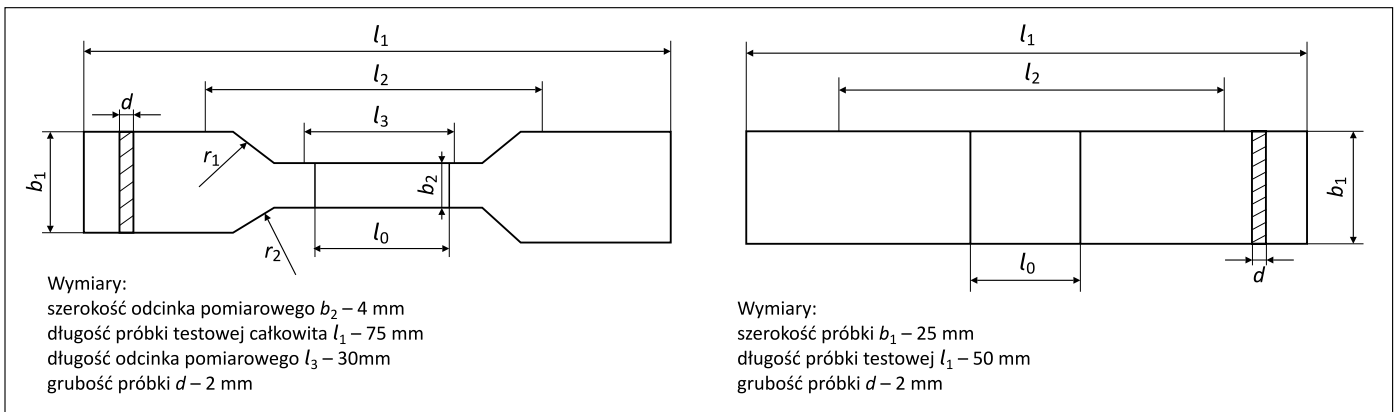
Rysunek 1. Maszyna wytrzymałościowa ZWICK 1445-60 (fot. INiG – PIB)

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



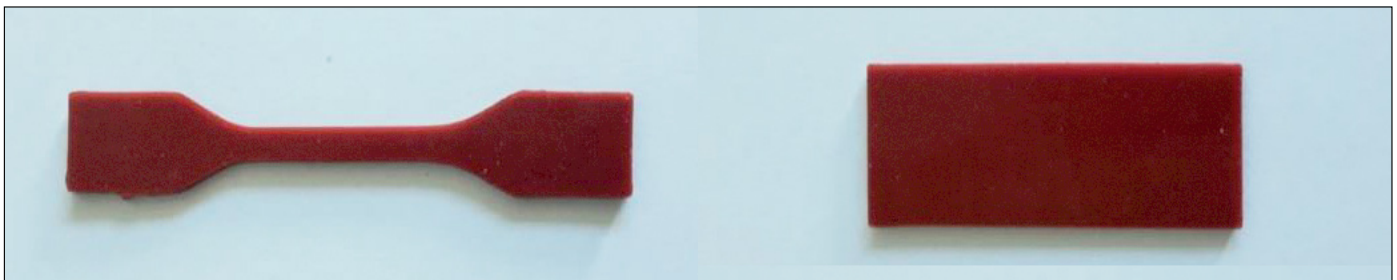
Rysunek 2. Twardościomierz Shore A (fot. INiG – PIB)

Figure 2. Shore A hardness tester (photo: INiG – PIB)



Rysunek 3. Elastomerowe elementy testowe (Źródło: Politechnika Gdańska)

Figure 3. Elastomeric test pieces (Source: Gdańsk University of Technology)



Rysunek 4. Stosowane do badań próbki elastomerów (fot. INiG – PIB)

Figure 4. Samples of elastomers used for testing (photo: INiG – PIB)

- elastomer etylenowo-propylenowo-dienowy EPDM;
- elastomer butadienowo-styrenowy SBR.

W badaniach wykorzystano oleje bazowe następujących producentów:

- 1) grupa I według API – oleje o charakterze parafinowym:
 - SAE 30/95 i BS 30/90 – produkcji Grupy Lotos,
 - SN-500 i SN-650 – produkcji PKN Orlen;
- 2) grupa IV według API – oleje polialfaolefinowe:
 - Synfluid PAO 8 – produkcji Chevron Phillips Chemical,
 - Luvodur PAO 400 – produkcji Lehmann & Voss;
- 3) grupa V według API:
 - oleje o charakterze naftenowym:
 - T9, T22, T100 i T400 – produkcji Nynas,
 - oleje roślinne i oleje estrowe:
 - Priolube 3790 i Priolube 3999 – produkcji Croda Lubricants,
 - Olej rzepakowy – dostawca OQEMA,
 - Oelbase 460 – produkcji Lehmann & Voss.

Tabela 2. Zestawienie próbek badawczych

Table 2. List of research samples

Serie próbek	Olej bazowy Nr próbki	Charakter oleju
Smary łożyskowe		
2	20	parafinowy, pozostałościowy
3	30	PAO
4	40	naftenowy
5	50	estrowy
7	70	parafinowy
8	80	naftenowy
16	160	naftenowy
11	110	parafinowy, mieszanina 2 olejów
12	120	estrowy
13	130	PAO
14	140	parafinowy
22	220	naftenowy

Kompatybilność elastomerów z olejami bazowymi do produkcji smarów plastycznych

Badania kompatybilności olejów bazowych z elastomerami wykonano zgodnie z ASTM D 471-16 (2021). Polegały one na określeniu zmian właściwości fizycznych i chemicznych elastomerów poddanych działaniu wybranych olejów bazowych w temperaturze 100°C przez 168 godzin. Oznaczono procentową zmianę naprężeń zrywających według PN-ISO 37:2007, procentową zmianę wydłużenia przy zerwaniu według PN-ISO 37:2007+PN-ISO 37:2008AC1, zmianę stopnia twardości według ISO 48-2:2018 oraz zmianę objętości elastomerów

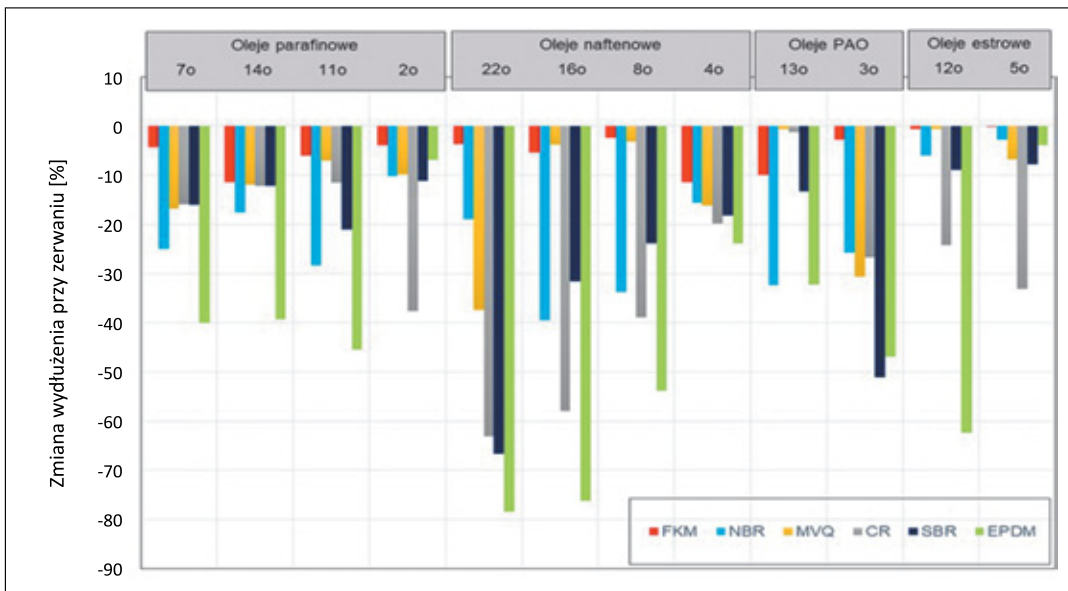
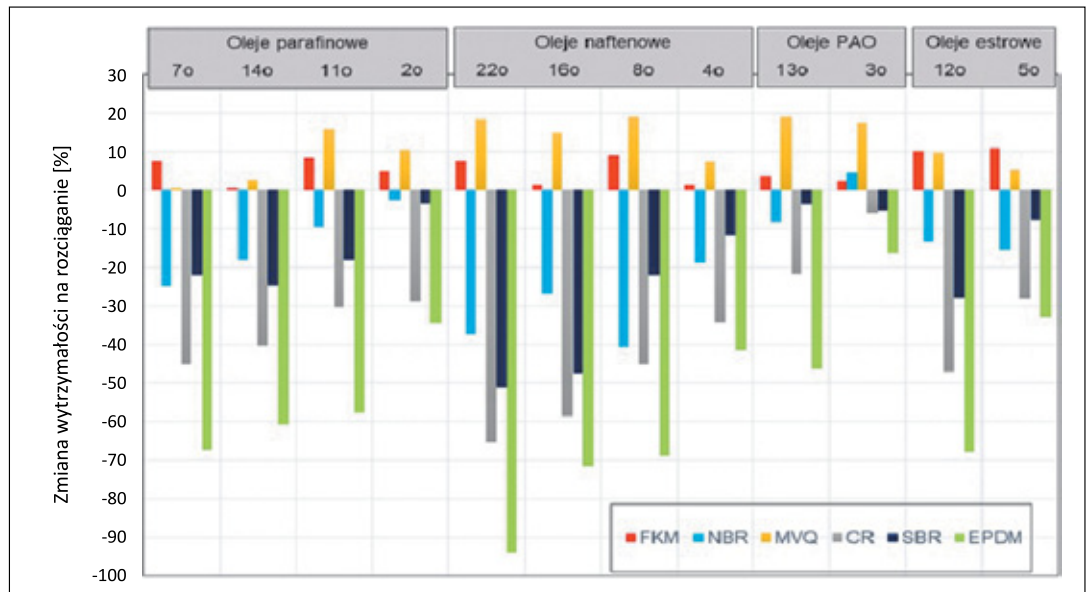
zgodnie z ASTM D 471-16 (2021). Uzyskane wyniki zmian parametrów elastomerów poddanych działaniu olejów bazowych zestawiono na rysunkach 5–8.

Wytrzymałość elastomerów po zanurzeniu w próbkach olejów bazowych oraz kondycjonowaniu w temperaturze 100°C przez 168 godzin charakteryzowana za pomocą naprężenia zrywającego:

- uległa niewielkiemu zwiększeniu dla elastomerów FKM (do +10%) i MVQ (do +20%), tj. niezbędne było użycie większej siły do zerwania elastomeru;
 - uległa zmniejszeniu dla elastomerów NBR, CR, SBR, EPDM – najbardziej dla elastomeru EPDM (w przypadku oleju naftenowego o niskiej lepkości – przeszło 90%). Jest to zjawisko negatywne, elastomery stały się mniej odporne na działanie sił mechanicznych;
 - w przypadku elastomerów NBR, CR, SBR, EPDM testowanych w badanych olejach parafinowych zaobserwowano zmniejszenie względnej wytrzymałości na rozciąganie (wyrażonej w %) – efekt ten maleje wraz ze wzrostem lepkości oleju;
 - w przypadku elastomerów CR, SBR, EPDM testowanych w badanych olejach naftenowych zaobserwowano zmniejszenie względnej wytrzymałości na rozciąganie (wyrażonej w %) – efekt ten maleje wraz ze wzrostem lepkości oleju;
 - w przypadku elastomerów EPDM, NBR, CR, SBR stwierdzono, że oleje o charakterze naftenowym mają większy wpływ na ich wytrzymałość niż oleje parafinowe.
- Wydłużenie elastomerów przy zerwaniu po kondycjonowaniu w próbkach olejów bazowych w temperaturze 100°C przez 168 godzin:
- uległo zmniejszeniu dla wszystkich elastomerów, największą zmianę zaobserwowano w przypadku elastomeru EPDM (dla lekkiego oleju naftenowego około –80%);
 - dla wszystkich badanych olejów najmniejsze procentowe zmiany wydłużenia przy zerwaniu zaobserwowano w przypadku elastomeru FKM (nie przekraczają –15%) oraz MVQ (tylko w 2 przypadkach przekraczają –30%);
 - w przypadku elastomeru EPDM zmianę wydłużenia mniejszą niż –30% zaobserwowano jedynie w 2 przypadkach;
 - w przypadku elastomerów EPDM, CR, SBR testowanych w badanych olejach naftenowych zaobserwowano zmniejszenie względnego wydłużenia przy zerwaniu (wyrażonego w %) – efekt ten maleje wraz ze wzrostem lepkości oleju.
- Zmiana twardości Shore’a dla badanych elastomerów po zanurzeniu w próbkach olejów bazowych oraz kondycjonowaniu w temperaturze 100°C przez 168 godzin:
- uległa zmniejszeniu dla wszystkich elastomerów, największą zmianę zaobserwowano w przypadku elastomeru EPDM (dla lekkiego oleju naftenowego około –70%);

Rysunek 5. Zmiana naprężenia zrywającego na rozciąganie badanych elastomerów po kontakcie z wytypowanymi próbkami olejów

Figure 5. Change in tensile strength of the tested elastomers after contact with selected oil samples

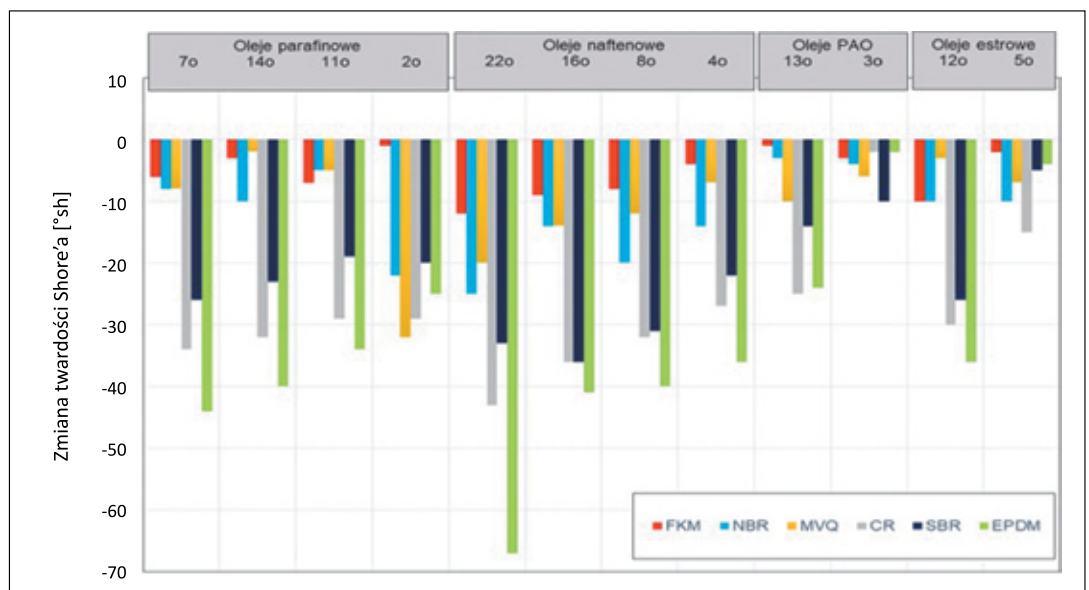


Rysunek 6. Zmiana wydłużenia przy zerwaniu badanych elastomerów po kontakcie z wytypowanymi próbkami olejów

Figure 6. Change in elongation at the break of the tested elastomers after contact with selected oil samples

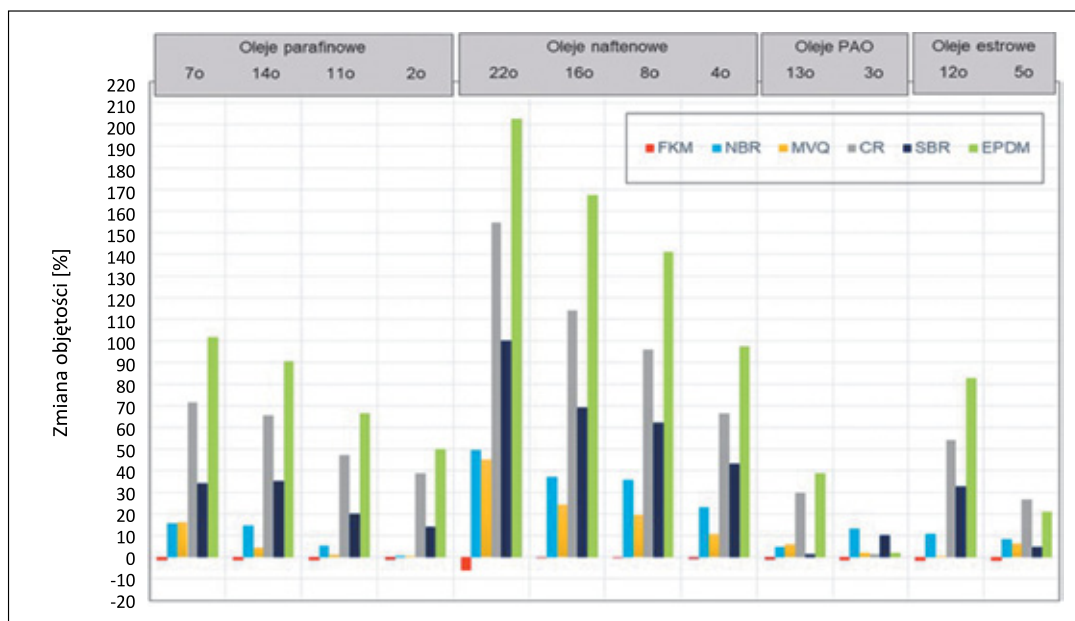
Rysunek 7. Zmiana twardości Shore'a badanych elastomerów po kontakcie z wytypowanymi próbkami olejów

Figure 7. Change of Shore hardness of the tested elastomers after contact with selected oil samples



Rysunek 8. Zmiana objętości badanych elastomerów po kontakcie z wytypowanymi próbkami olejów

Figure 8. Change in the volume of the tested elastomers after contact with selected oil samples



- dla wszystkich badanych olejów najmniejszą zmianę twardości zaobserwowano w przypadku elastomeru FKM (nieprzekraczającą -15°sh) oraz MVQ (tylko w 1 przypadku przekracza -30°sh);
- w przypadku elastomerów CR, SBR, EPDM testowanych w badanych olejach naftenowych zaobserwowano zmniejszenie twardości – efekt ten maleje wraz ze wzrostem lepkości oleju.

Zmiana objętości badanych elastomerów po zanurzeniu w próbkach olejów bazowych oraz kondycjonowaniu w temperaturze 100°C przez 168 godzin:

- wzrosła w przypadku elastomerów NBR, MVQ, CR, SBR i EPDM, natomiast zmalała w przypadku elastomeru FKM;
- dla olejów naftenowych zaobserwowano największą zmianę objętości (w przypadku elastomeru EPDM i oleju naftenowego o niskiej lepkości – przeszło 200%);
- dla olejów tej samej klasy lepkości zaobserwowano większy wzrost objętości w przypadku oleju o charakterze naftenowym niż parafinowym;
- procentowa zmiana objętości wszystkich elastomerów maleje wraz ze wzrostem lepkości olejów (w grupach badanych olejów parafinowych i naftenowych).

Wnioski

Elastomer fluorowy FKM jest najbardziej odporny na działanie wszystkich użytych w pracy rodzajów olejów bazowych stosowanych w produkcji smarów plastycznych.

Elastomer silikonowy MVQ i nitylowy NBR są odporne na niektóre wykorzystane w pracy oleje bazowe. Zmiany ich właściwości fizycznych i mechanicznych są jednak znacznie

większe. Zastosowanie ich w warunkach eksploatacyjnych powinno być poprzedzone badaniami kompatybilności z produktami smarowymi, z którymi będą w kontakcie.

Pozostałe elastomery, tj. elastomer chloroprenowy CR, butadienowo-styrenowy SBR, etylenowo-propylenowo-dienowy EPDM, nie powinny być stosowane w warunkach eksploatacyjnych w kontakcie z olejami bazowymi. Zmiany ich właściwości fizycznych i mechanicznych po kontakcie z tymi środkami są na tyle duże, że nie gwarantują 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

- Brown M., 1995. Seals and sealing handbook. *Elsevier Advanced Technology*.
- ECL. Quick-Study for Product Design Engineers. <https://www.ecl-lube.com/resources-for-engineers/tutorials/ECL_Choosing%20a%20Grease.pdf> (dostęp: 29.06.2023).
- Farfan-Cabrera L.I., Gallardo-Hernandez E.A., Perez-Gonzalez J., 2017. Compatibility study of common sealing elastomers with a biolubricant (Jatropha oil). *Tribology International*, 116: 1–8. DOI: 10.1016/j.triboint.2017.06.039.
- 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.
- Florez A., Burghardt G., Jacobs G., 2016. Influencing factors for static immersion tests of compatibility between elastomeric materials and lubricants. *Polymer Testing*, 49: 8–14. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2015.10.017.

- Förster T., Blivernitz A., 2021. Migration of mineral oil in elastomers. *Journal of Rubber Research*, 24: 257–269. DOI: 10.1007/s42464-021-00087-7.
- Haseeb A.S.M.A., Jun T.S., Fazal M.A., Masjuki H.H., 2011. Degradation of physical properties of different elastomers upon exposure to palm biodiesel. *Energy*, 36(3): 1814–1819. DOI: 10.1016/j.energy.2010.12.023.
- Parker Hannifin Corporation, 2021. Parker O-Ring Handbook. *Parker Hannifin Corporation, Cleveland, OH*. <<https://www.parker.com/Literature/O-Ring%20Division%20Literature/ORD%205700.pdf>> (dostęp: 11.01.2023).
- Sacha D., 2015. Kompatybilność cieczy eksploatacyjnych stosowanych w pojazdach mechanicznych z uszczelnieniami elastomerowymi. *Nafta-Gaz*, 71(1): 33–40.
- Skibińska A., Żółty M., 2015. Badanie możliwości modyfikacji stabilności termooksydacyjnej olejów bazowych. *Nafta-Gaz*, 71(5): 327–336.
- Walker J., 2012. Elastomer Engineering Guide. *James Walker Sealing Products and Services Ltd*. <https://www.academia.edu/29713442/Elastomer_Engineering_Guide> (dostęp: 11.01.2023).

Akty prawne i dokumenty normatywne

- ASTM D 412-16 (2021) Standard test methods for vulcanized rubber and thermoplastic elastomers – tension.
- ASTM D 471-16 (2021) Standard test method for rubber property – effect of liquids.

- ISO 48-1:2018 Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness – Part 1: Introduction and guidance.
- ISO 48-2:2018 Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness – Part 2: Hardness between 10 IRHD and 100 IRHD.
- PN-ISO 37:2007 + PN-ISO 37:2008AC1 Guma i kauczuk termoplastyczny – Oznaczanie właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu.
- PN-ISO 37:2007 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

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU OLEJÓW, ŚRODKÓW SMAROWYCH I ASFALTÓW

- opracowywanie i modyfikacja technologii wytwarzania:
 - » olejów podstawowych (bazowych), plastyfikatorów naftowych,
 - » środków smarowych: olejów przemysłowych i smarów plastycznych,
 - » wosków naftowych (parafin i mikrowosków), wosków i kompozycji specjalnych oraz emulsji woskowych,
 - » dodatków stosowanych podczas wydobycia i transportu ropy naftowej i gazu ziemnego: inhibitorów korozji, inhibitorów parafin, inhibitorów hydratów, inhibitorów hydratów i korozji, deemulgatorów oraz inhibitorów oporów przepływu ropy naftowej,
 - » asfaltów drogowych i przemysłowych,
 - » olejów technologicznych do obróbki metali: emulgujących i nieemulgujących,
 - » niskokrzepnących płynów do chłodnic samochodowych i spryskiwaczy samochodowych;
- specjalistyczne badania oraz ocena właściwości fizykochemicznych i użytkowych:
 - » środków smarowych, smarów plastycznych i olejów przemysłowych, silnikowych,
 - » wosków naftowych, wosków specjalnych oraz kompozycji i emulsji woskowych,
 - » asfaltów drogowych i przemysłowych oraz emulsji asfaltowych, roztworów i mas asfaltowych oraz innych specyfików asfaltowych;
- opracowywanie zagadnień związanych z gospodarką olejami odpadowymi i odpadami rafineryjnymi;
- sporządzanie ekobilansów procesów technologicznych metodą Oceny Cyklu Życia.



Kierownik: dr inż. Stefan Ptak Adres: ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków
Telefon: 12 617 75 74 Faks: 12 617 75 22 E-mail: stefan.ptak@inig.pl

 INSTYTUT NAFTY I GAZU
– Państwowy Instytut Badawczy