

Stanisław Oleksiak

*Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

## Energooszczędne oleje przekładniowe

Poprawa sprawności układu napędowego samochodu czy przekładni przemysłowej drogą optymalizacji środków smarowych stanowi istotny fragment wspólnych prac konstruktorów przekładni zębatych i specjalistów z zakresu produkcji środków smarowych. W artykule przedstawiono rozważania dotyczące strat energii uzależnionych od tarcia i właściwości reologicznych stosowanych olejów przekładniowych oraz pokazano, jak dobór oleju może poprawiać sprawność przekładni i wpływać na zmniejszenie zużycia energii przez pojazdy samochodowe oraz urządzenia przemysłowe.

Słowa kluczowe: olej przekładniowy, energia, sprawność, środki smarowe, tribologia.

### Energy efficient gear oils

Improving the energy efficiency of automotive powertrains or industrial gearboxes by way of gear oils optimization, is an important portion of joint work of constructors of gearing and specialists in the production of lubricants. The article presents considerations concerning energy losses caused by friction and rheological properties of used gear oils, and shows how the choice of oil may improve the efficiency of the gears and influence the reduction of energy consumption by motor vehicles and industrial equipment.

Key words: gear oil, energy, efficiency, lubricants, tribology.

### Wstęp

Zmniejszenie zużycia energii przez pojazdy samochodowe i urządzenia przemysłowe jest obecnie jednym z najistotniejszych zagadnień przemysłu samochodowego i maszynowego wymuszanych przez ustawodawstwo. Obok wielu rozwiązań konstrukcyjnych, których celem jest maksymalne ograniczenie strat energii, pewne potencjalne możliwości w tej dziedzinie dają środki tribologiczne. Oszczędność energii dzięki środkom tribologicznym oznacza zmniejszenie strat spowodowanych tarciami i zużyciem poprzez optymalizację konstrukcji i dobór materiałów, inżynierię powierzchni, jak również inżynierię smarowania. Tribologia przekładni zębatych jest zagadnieniem złożonym, na które ma wpływ wiele parametrów: geometria zazębienia (moduł, przełożenie, mikrogeometria, dokładność wykonania), warunki eksploatacji (prędkość, obciążenie, czas), powierzchnia (faliistość, chropowatość, obróbka powierzchniowa), środek smarowy (lepkość, gęstość, dodatki uszlachetniające) oraz środowisko (temperatura, zanieczyszczenie). Zastosowanie odpowiednich środków smarowych, które zwiększają sprawność mechaniczną przez zmniejszenie tarcia, pozwala na zauważalną poprawę oszczędności energii.

Straty mocy w przekładni zębatej ogólnie należy podzielić na straty zależne i niezależne od obciążenia. Straty niezależne od obciążenia (ale zależne od prędkości) są stratami tarcia w uszczelnieniach oraz stratami wynikającymi z mieszania i oporów przepływu oleju smarującego. Straty zależne od obciążenia powodowane są tarciami na powierzchniach zębów i w łożyskach. Straty spowodowane tarciami mogą występować w trzech reżimach smarowania: hydrodynamicznym, elastohydrodynamicznym i najbardziej znaczącym smarowaniu granicznym, w którym metalowe powierzchnie są w bezpośrednim kontakcie.

Zasada smarowania hydrodynamicznego polega na rozdzieleniu współpracujących powierzchni skojarzenia trącego samoistnie powstającym klinem smarowym, w którym ciśnienie równoważy istniejące siły (obciążenia). Smarowanie hydrodynamiczne występuje w systemach, gdzie styk współpracujących powierzchni obejmuje stosunkowo duży obszar, a ciśnienie w regionie kontaktu nie jest zbyt wysokie. Znacząca część strat energii przy smarowaniu hydrodynamicznym związana jest z lepkością oleju i przenoszoną mocą. Tego typu sma-

rowanie występuje najczęściej w łożyskach promieniowych i oporowych przekładni przemysłowych i samochodowych.

W niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych skojarzeń trących może zachodzić szczególny proces smarowania, zwany smarowaniem elastohydrodynamicznym. Smarowanie elastohydrodynamiczne wiąże się z dużym obciążeniem występującym na małym obszarze. W tym systemie istnieje tak wysokie obciążenie, że powierzchnie elementów pary trącej odkształcają się sprężysto, tworząc niewielką powierzchnię kontaktową. Film smarujący jest wciągany do tego obszaru, rośnie jego ciśnienie i lepkość i w efekcie oddziela pracujące powierzchnie. Tego typu smarowanie występuje w elemen-

tach tocznych łożysk, przy współpracy kół zębatach i elementów silnika (np. na krzywkach) [4].

Smarowanie graniczne występuje w skojarzeniu trącym, gdy współpracujące powierzchnie są częściowo oddzielone od siebie środkiem smarnym, a stykają się ze sobą tylko nierównościami. W warunkach podwyższonej temperatury i ciśnienia chemicznie reaktywne składniki oleju smarowego – dodatki przeciwzużyciowe i modyfikatory tarcia – tworzą chemiczny film smarowy i zapobiegają bezpośredniemu kontaktowi metal–metal. Tego typu smarowanie zaobserwować można przy współpracy elementów silników i skrzyń biegów, głównie podczas rozruchu [7].

### Samochodowe oleje przekładniowe

Samochodowe skrzynie biegów przechodzą szybką i nieustanną ewolucję od zwykłych skrzyń manualnych, przez automatyczne i sekwencyjne, po dzisiejsze skomplikowane przekładnie dwusprzęgłowe. Stosowane w nich mechanizmy zaczęły pracować z biegiem czasu pod coraz większym obciążeniem, co stawiało nowe wyzwania producentom olejów przekładniowych. Redukcja masy pojazdów, zmniejszenie wymiarów przekładni głównej i elementów układu napędowego przy jednoczesnym wzroście przenoszonych obciążeń spowodowały w ostatnich latach zwiększenie temperatury pracy przekładni. Zmiany te wymuszały poprawę jakości środków smarowych i doprowadziły do zainteresowania olejami przekładniowymi syntetycznymi lub częściowo syntetycznymi, które nie tylko znacząco redukują opory tarcia, ale również, w porównaniu z olejami mineralnymi, lepiej zabezpieczają powierzchnie pracujące pod dużym obciążeniem i obniżają temperaturę pracy, a posiadając lepszą stabilność termooksydacyjną, znacznie zmniejszają szybkość tworzenia się szlamów i osadów.

Dobór odpowiednich, poprawiających właściwości smarne dodatków zależy od konstrukcji i parametrów pracy przekładni. W niektórych mechanizmach (np. przekładnie o zębach prostych) ważna jest zdolność oleju do tworzenia trwałej warstwy bez udziału tarcia granicznego. W przypadku przekładni hipoidalnych, ze względu na duże poślizgi, olej ma przede wszystkim chronić współpracujące elementy przy tarcu granicznym. Łożyska toczne wymagają z kolei środków smarowych o dużej odporności na naciski. Olej musi również chronić przed korozją, zapobiegać powstawaniu szlamów, wiązać i rozpuszczać zanieczyszczenia, a także spełniać funkcję chłodziwa.

#### Sprawność układu napędowego

Całkowitą sprawność układu napędowego zdefiniować można jako iloczyn [2]:

$$\eta_{nap} = \eta_{sb} \cdot \eta_{pg}$$

gdzie:

$\eta_{nap}$  – całkowita sprawność układu napędowego,

$\eta_{sb}$  – sprawność skrzyni biegów,

$\eta_{pg}$  – sprawność przekładni głównej.

Straty przekładni zębatej obejmują straty biegu jałowego, straty zazębienia, uszczelnień i ułożyskowania pod obciążeniem. Sprawność pary współpracujących kół zębatach wynosi ponad 98%, ale poprzez wspomniane wyżej straty i ze względu na straty związane z lepkością oleju całkowita sprawność skrzyni biegów pojazdu wynosi 95÷96% na niższych biegach i 98% na biegu bezpośrednim. Sprawność przekładni głównej (z mechanizmem różnicowym) wynosi od 94% do 98%.

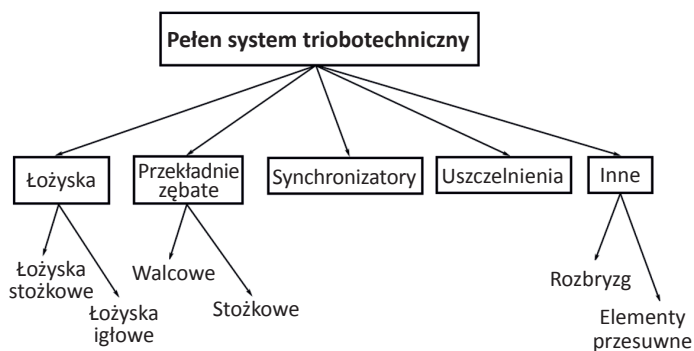
Sprawność całego układu napędowego, zależnie od warunków pracy, wynosi od 63% przy wyjątkowo niekorzystnych warunkach pracy do 95% w sprzyjających warunkach.

Jednostopniowa przekładnia walcowa o zazębieniu czołowym wykazuje sprawność na poziomie 99÷99,8%. Stosowane w tylnych mostach przekładnie stożkowe, a przede wszystkim hipoidalne, charakteryzują się znacznie mniejszą sprawnością wynikającą z dużego stopnia poślizgu. W tabelicy 1 zestawiono typowe wartości sprawności samochodowych przekładni i skrzyń biegów [8].

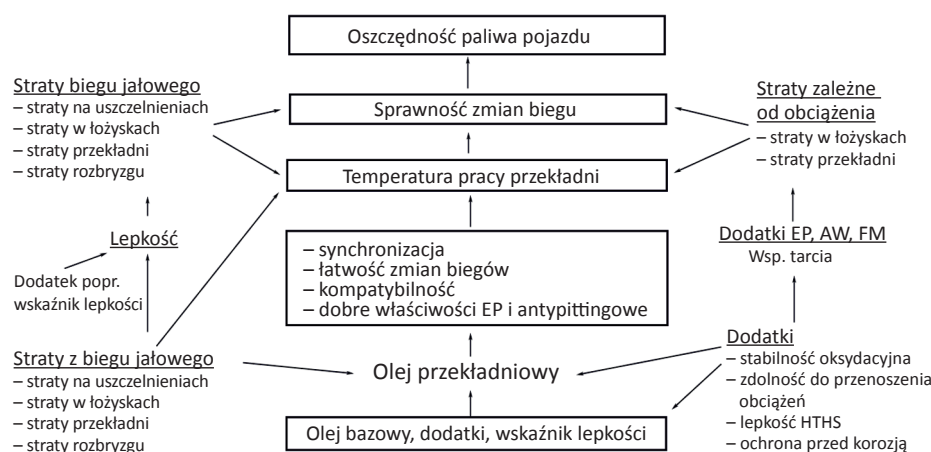
Tablica 1. Sprawność mechaniczna wybranych przekładni zębatach i skrzyń biegów [8]

Typ przekładni		Sprawność [%]
Przekładnia zębata	czołowa	99,0÷99,8
	hipoidalna	90÷93
Skrzynia biegów manualna ze smarowaniem rozbryzgowym	samochód osobowy	92÷97
	samochód ciężarowy	90÷97
Automatyczna (AT, DCT)		90÷95
CVT mechaniczna		87÷93
CVT automatyczna		80÷86

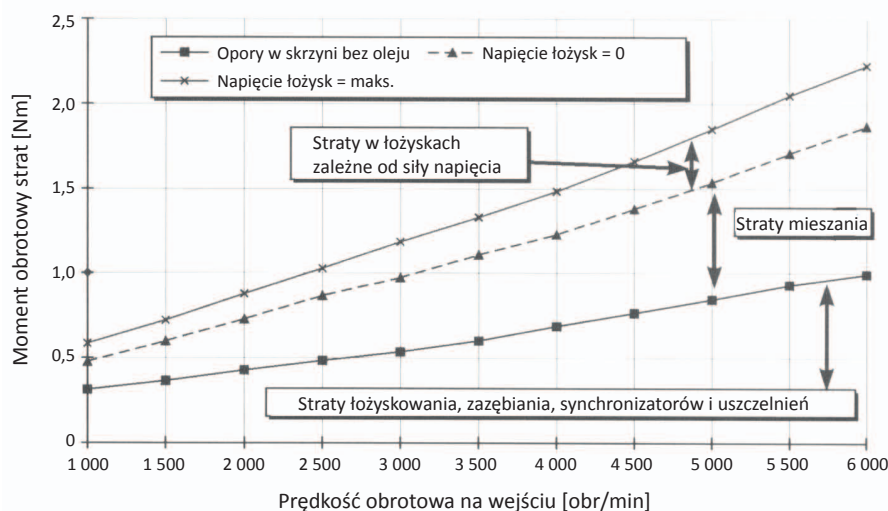
Skrzynia biegów samochodu jest skomplikowanym, zamkniętym systemem tribologicznym, złożonym z wielu podsystemów, takich jak pary kół zębatach, łożyska, synchronizatory, uszczelnienia, elementy sterowania i inne, co schematycznie przedstawiono na rysunku 1 [3].



Rys. 1. Schemat systemu tribotechnicznego samochodowej manualnej skrzyni biegów



Rys. 2. Czynniki wpływające na sprawność samochodowej skrzyni biegów [3]



Rys. 3. Przebieg momentu strat w manualnej skrzyni biegów, 5. bieg, temperatura oleju: 60°C

Straty mocy w samochodowej skrzyni biegów uzależnione są od wielu czynników, takich jak konstrukcja i technologia elementów przekładni, właściwości smarne i reologiczne oleju przekładniowego oraz warunki pracy pojazdu. Na rysunku 2 przedstawiono kompleksowo wpływ właściwości oleju przekładniowego na straty energii skrzyni biegów samochodu, decydujące o końcowej oszczędności paliwa [3].

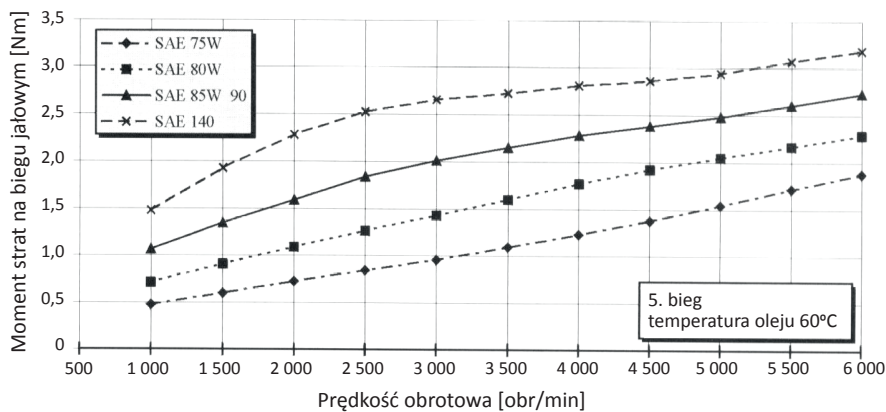
Na rysunku 3 przedstawiono przykładowo, jak wyglądają zależne od siły napięcia łożysk straty momentu obrotowego w manualnej skrzyni biegów podczas pracy na 5. biegu, w temperaturze 60°C, w funkcji prędkości obrotowej na wejściu [17].

### Straty związane z reologią

Zmiana lepkości oleju przekładniowego w istotny sposób może wpływać na straty momentu obrotowego. Na rysunku 4 [17] przedstawiono wpływ lepkości oleju na moment strat na biegu jałowym w funkcji prędkości obrotowej na wejściu. Widać wyraźnie, że olej o dużej lepkości – SAE 140 w pewnym zakresie pracy przekładni powodować może w temperaturze 60°C ponad dwukrotnie większe straty momentu obrotowego na biegu jałowym niż olej o najmniejszej lepkości – SAE 75W. Obecnie większość producentów samochodów zaleca do przekładni manualnych stosowanie olejów przekładniowych o mniejszej lepkości, tj. SAE 75W-80 i 75W-85.

Jak wspomniano, straty energii w przekładniach samochodowych obejmują straty niezależne i zależne od obciążenia, a na ich wielkość wpływają właściwości oleju przekładniowego. Straty wynikające z mieszania, przetłaczania oleju na biegu jałowym, tzn. przy bardzo małym obciążeniu, są relatywnie wysokie i zależą przede wszystkim od lepkości wykorzystanego oleju. W zakresie większych obciążeń, podczas których występują warunki tarcia mieszanego, tarcie na powierzchniach współpracujących zębów można zmniejszyć przez stosowanie substancji powierzchniowo czynnych, np. dodatków EP.

W przypadku cieczy do przekładni automatycznych obserwuje się również tendencje do zmniejszania lepkości do



Rys. 4. Porównanie strat momentu obrotowego na biegu jałowym w manualnej skrzyni biegów dla olejów przekładniowych różnych klas lepkościowych [17]

wartości 5,0–6,0 cSt w temperaturze 100°C. Firma Lubrizol prowadziła badania cieczy ATF w samochodach osobowych z tylnym napędem w cyklu jezdnym NEDC (New European

Driving Cycle), stosując serię olejów ATF o jeszcze mniejszej lepkości – 3,5 cSt i 4,5 cSt w temperaturze 100°C, o zróżnicowanym wskaźniku lepkości od 120 do 274. Wyniki odnoszono do rezultatów uzyskanych dla oleju, którym fabrycznie napełniono skrzynię biegów. Wymiana na olej o mniejszej lepkości przy wskaźniku lepkości rzędu 180 umożliwiła zmniejszenie zużycia paliwa o około 2%, natomiast zwiększenie wskaźnika lepkości tego oleju do poziomu 274 pozwoliło na uzyskanie dodatkowo około 1,5% oszczędności paliwa [10].

Wyniki wielu badań przeprowadzonych w USA i w Europie pokazują wyraźny związek pomiędzy wzrostem wskaźnika lepkości oleju przekładniowego i zmniejszeniem zużycia paliwa.

### Przemysłowe oleje przekładniowe

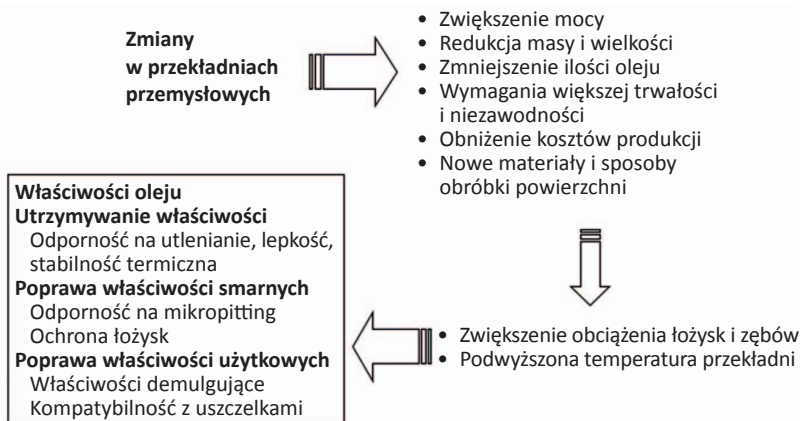
Rynek przemysłowych olejów przekładniowych staje się segmentem środków smarowych stanowiącym wyzwanie zarówno dla ich producentów, jak i dla użytkowników końcowych. Środki smarowe muszą zabezpieczać urządzenia przed nadmiernym tarcieniem i zużyciem, a także zapewniać chłodzenie coraz bardziej zaawansowanych technicznie urządzeń, które przy zmniejszonych wymiarach przenoszą duże obciążenia mechaniczne i termiczne. W ostatnich latach można zaobserwować stałą tendencję do zmniejszania objętości środków smarowych wypełniających urządzenia przy jednoczesnym oczekiwaniu poprawy jakości i wydłużenia okresów ich wymiany. Stały nacisk użytkowników na racjonalizację użycia środków smarowych wymaga od dostawców dostarczania wysokiej jakości produktów, nie tylko odpowiednich do przewidzianego zakresu stosowania, ale również spełniających wymagania ochrony środowiska. Coraz szersze zakresy klas lepkości wymagane w wielu zróżnicowanych obszarach zastosowania wymusiły konieczność opracowania wyższej jakości środków smarowych z wykorzystaniem syntetycznych olejów bazowych i komponentów.

Podstawowe wymagania dla dzisiejszych przemysłowych środków smarowych to:

- odpowiednia lepkość,
- odporność na utlenianie i stabilność termiczna,
- smarność i zdolność do przenoszenia obciążeń,
- odpowiednie właściwości demulgujące (umiejętność odprowadzenia wody),

- dobre właściwości przeciwpienne,
- zabezpieczenie przed rdzą i korozją,
- kompatybilność z uszczelnieniami.

Na rysunku 5 przedstawiono schematycznie, jak zmiany w dziedzinie konstrukcji przekładni zębatych wpływają na wymagane zmiany jakości przemysłowych olejów przekładniowych.



Rys. 5. Tendencje rozwojowe w dziedzinie przemysłowych olejów przekładniowych [5]

Właściwości użytkowe środka smarowego dobrego wyłącznie na podstawie wymagań specyfikacji jakościowych i lepkościowych, które aktualizowane są co kilka lat, mogą okazać się niewystarczające, by zapewnić pełną ochronę urządzenia. Tendencje rozwoju przekładni, zmierzające w kierunku zmniejszania rozmiarów, podnoszenia wymagań jakościowych i zaostrzania warunków eksploatacji, stwarzają nowe wyzwania dla środków smarowych. Wysoka tempera-

tura i duże obciążenia oraz substancje zanieczyszczające, takie jak woda i produkty degradacji oleju, mogą zakłócić pracę systemu nawet przy regularnej obsłudze. Stosowane coraz częściej w zaawansowanych technicznie urządzeniach oleje smarujące o wydłużonej trwałości muszą spełniać dodatkowo coraz ostrzejsze wymagania ze strony ochrony środowiska, co wpływa na szybsze wyczerpywanie się dodatków uszlachetniających. Mniejsze wymiarowo skrzynie biegów są wypełnione mniejszymi ilościami oleju (i dodatków), co przy rosnących obciążeniach powoduje wzrost temperatury pracy i przyspieszone utlenianie oleju. Degradacja środków smarowych prowadzi do korozji, zmiany lepkości oraz formowania się szlamów i laków, wpływających zarówno na skrócenie okresu właściwej pracy oleju, jak i obniżenie trwałości urządzenia. Skutkiem mogą być koszty obejmujące czas przestoju i naprawę lub wymianę urządzenia. Aby spełnić rosnące wymagania, dzisiejsze przemysłowe oleje przekładniowe muszą zawierać wysokiej jakości dodatki uszlachetniające, poprawiające stabilność termiczną środka smarowego i zapewniające ochronę urządzenia przed zużyciem i pogorszeniem sprawności, oraz utrzymywać system w czystości i odprowadzać ciepło [9].

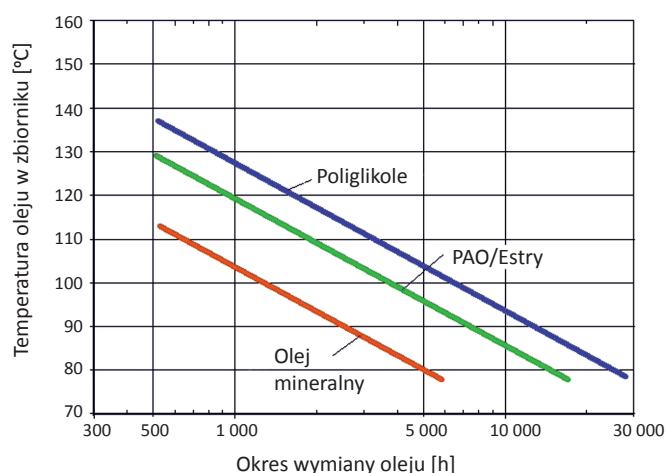
Wiele zamkniętych przemysłowych skrzyń biegów nadal smarowanych jest produktami mineralnymi. Zakres ich użycia wiąże się z wieloma ograniczeniami, obejmującymi m.in. temperatury eksploatacji i okresy wymiany oleju. Środki smarowe na bazie olejów syntetycznych okazują się znacznie skuteczniejsze w wielu obszarach zastosowania. Najpopularniejsze syntetyczne oleje bazowe to:

- polialfaolefiny (PAO),
- poliglikole (PG),
- estry (E).

Wprawdzie oleje mineralne są najtańszymi środkami smarowymi, ale wykazują też stosunkowo małą odporność na utlenianie. Oznacza to, że muszą być wymieniane częściej niż inne, syntetyczne rodzaje olejów, zwykle po 5000 godzinach pracy w temperaturze 80°C. Ponadto ograniczona stabilność termiczna pozwala na pracę w maksymalnej temperaturze rzędu 90÷100°C. Na rysunku 6 przedstawiono porównanie typowego okresu wymiany w funkcji temperatur pracy dla olejów komponowanych na różnych olejach bazowych.

W porównaniu z olejami mineralnymi syntetyczne oleje przekładniowe, oprócz znacznie szerszego zakresu temperatury stosowania, posiadają wiele innych zalet:

- umożliwiają do 5 razy dłuższe okresy wymiany oleju przy tej samej temperaturze pracy,
- zapewniają lepszą ochronę przed zużyciem,
- ułatwiają zimny rozruch przy tej samej nominalnej lepkości (ISO VG),

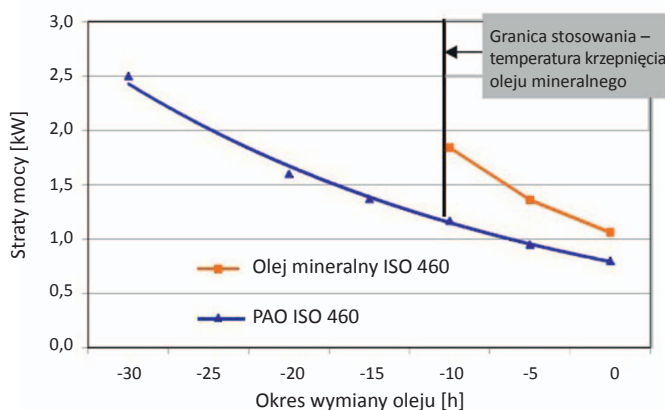


Rys. 6. Porównanie typowych okresów wymiany olejów różnych technologii [15]

- mogą nie wymagać stosowania chłodziw oleju z powodu ograniczeń temperatury pod pełnym obciążeniem,
- pozwalają na zmniejszenie kosztów energii ze względu na mniejsze straty mocy w skrzyni biegów, wynikające z redukcji oporów tarcia.

Przedłużony okres użytkowania syntetycznych środków smarowych umożliwia uniknięcie dłuższych przerw na wymianę oleju, co skutkuje zmniejszeniem czasu przestoju urządzenia oraz pozwala na oszczędność zużycia środków smarowych. W niektórych przypadkach dopuszczalne jest smarowanie na cały okres życia urządzenia (*lubrication for-life*).

Przykładowo, na rysunku 7 porównano możliwości wykorzystania oleju mineralnego i syntetycznego do skrzyni przekładniowej urządzenia pracującego w warunkach terenowych. W okresie zimowym temperatura otoczenia może spadać poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ , co stanowi granicę stosowania oleju mineralnego. W tej temperaturze urządzenie wypełnione olejem mineralnym zużywa na rozruch około 35% energii



Rys. 7. Porównanie strat mocy dla oleju mineralnego i syntetycznego przy rozruchu urządzenia w warunkach zimowych [13]

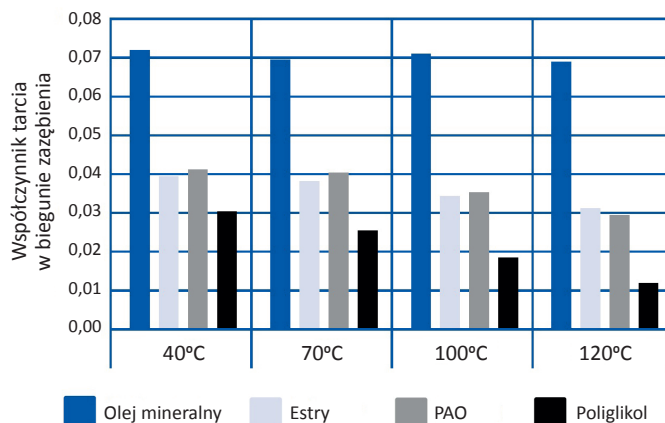
więcej, natomiast w temperaturze niższej od  $-10^{\circ}\text{C}$  lepkość oleju jest za wysoka, żeby umożliwić rozruch [13].

Nie mniej istotną zaletą olejów syntetycznych jest wpływ na zmniejszenie oporów tarcia. Na rysunku 8 przedstawiono różnice współczynnika tarcia dla olejów o różnej technologii, wykorzystywanych w urządzeniach dla przemysłu spożywczego. Mniejsze opory ruchu przy stosowaniu olejów syntetycznych przekładają się na znaczne oszczędności energii w porównaniu z olejem mineralnym [6].

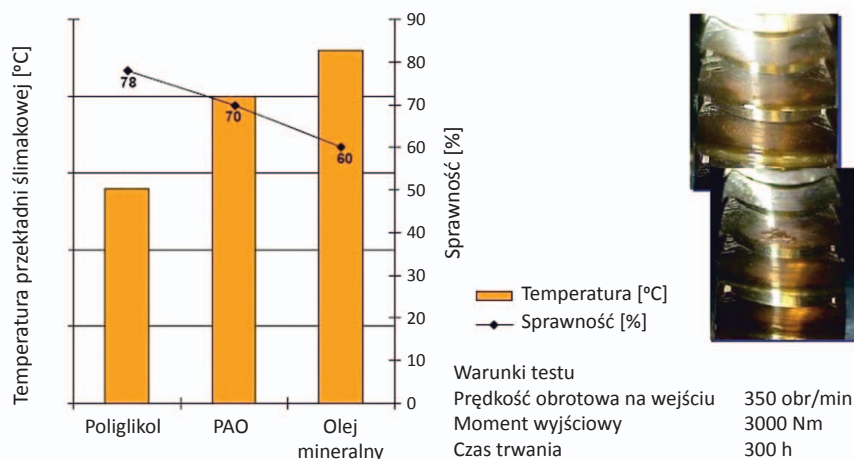
Pomimo że sprawność zestawu kół zębatych uzależniona jest od ich rodzaju, oleje syntetyczne ogólnie zapewniają większą sprawność przekładniom przemysłowym niż oleje mineralne. Przekładnie zębate z małym udziałem procentowym poślizgu, takie jak walcowe i stożkowe, wykazywać będą tylko niewielką poprawę sprawności, podczas gdy przekładnie z dużym udziałem poślizgu, takie jak ślimakowe i hipoidalne, mogą uzyskać poprawę sprawności nawet do 30%.

Badania przeprowadzone przez firmę Klueber na stanowisku badawczym z przekładnią ślimakową (rysunek 9) wykazały kilkunastoprocentową poprawę sprawności przekładni po zastosowaniu oleju syntetycznego. Wyjściowa sprawność przekładni napelnionej olejem mineralnym, wynosząca około 60%, wzrasta do 70% po napełnieniu olejem na bazie PAO i do 78% w przypadku oleju na bazie poliglikoli [15].

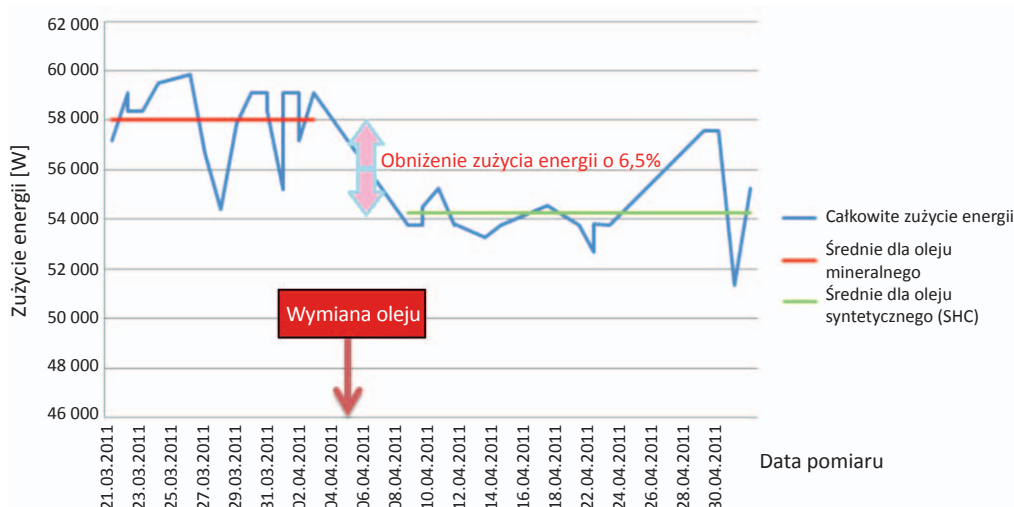
Firma Mobil przedstawiła wyniki oceny zużycia energii przez reduktor prasy do produkcji papieru. Po wymianie oleju mineralnego na syntetyczny zaobserwowano (rysunek 10) zmniejszenie zużycia energii elektrycznej, wynikające ze zmniejszenia mocy potrzebnej do napędu urządzenia z wartości 58 kW do 54 kW, co stanowi 6,5%, przy jednoczesnym średnim spadku temperatury pracy o  $8,4^{\circ}\text{C}$  [18]. Biorąc pod uwagę, że maszyna pracuje średnio przez 8000 godzin w roku, przy obecnych realiach cenowych w Polsce oszczędności można oszacować na poziomie kilkunastu tysięcy złotych rocznie. Zmiana rodzaju oleju pozwoliła zatem poza oszczędnością energii, przeliczalną na zmniejszenie emi-



Rys. 8. Porównanie współczynnika tarcia w przekładni zębatej urządzenia dla przemysłu spożywczego [6]



Rys. 9. Wyniki pomiarów temperatury i sprawności przekładni ślimakowej o przełożeniu 1:39 na stanowisku badawczym Klueber [15]



Rys. 10. Zmniejszenie zużycia energii przez reduktor prasy papierniczej po zmianie oleju mineralnego na syntetyczny [18]

sji  $\text{CO}_2$ , także – poprzez obniżenie temperatury pracy – na przedłużenie żywotności oleju i trwałości smarowanego urządzenia.

## Podsumowanie

Wprowadzane w wielu krajach lub stale zaostrzane normy emisji CO<sub>2</sub> wymuszają coraz większe zainteresowanie przemysłu oszczędnością zużycia energii. Dla wytwórców pojazdów, a także dla użytkowników urządzeń przemysłowych atrakcyjną drogą do zmniejszenia zużycia paliwa lub energii elektrycznej jest wykorzystanie nowej generacji energooszczędnych środków smarowych. Rozwiązanie takie stanowi stosunkowo prostą i niedrogą do wprowadzenia opcję w porównaniu ze zmianami konstrukcji urządzeń.

Trendy rozwoju przekładni, zmierzające w kierunku zmniejszania rozmiarów, podnoszenia wymagań jakościowych i zaostrzania warunków eksploatacji, stwarzają nowe wyzwania w dziedzinie środków smarowych. Wysoka temperatura i duże obciążenia oraz substancje zanieczyszczające, takie jak woda i produkty degradacji oleju, mogą zakłócić pracę systemu nawet przy regularnej obsłudze. Stosowane coraz częściej w zaawansowanych technicznie urządzeniach oleje smarujące o wydłużonej trwałości muszą spełniać dodatkowo coraz ostrzejsze wymagania ze strony ochrony środowiska, co wpływa na szybsze wyczerpywanie się dodatków uszlachetniających. Mniejsze wymiarowo skrzynie biegów są wypełnione mniejszymi ilościami oleju (i dodatków), co przy rosnących obciążeniach

powoduje wzrost temperatury pracy i przyspieszone utlenianie oleju. W tej sytuacji jednym z istotniejszych zadań w inżynierii smarowania jest poszukiwanie rozwiązań podnoszących sprawność układu napędowego w powiązaniu z opracowywaniem nowych, energooszczędnych syntetycznych olejów przekładniowych. W skrzyniach przekładniowych dąży się do zmniejszenia lepkości oleju i strat tarcia na współpracujących powierzchniach. Efektem tych przedsięwzięć jest obniżenie temperatur pracy skrzyń przekładniowych i poprawa sprawności, co przekłada się na zmniejszenie ilości traconej energii. Odpowiedni dobór oleju pozwala zatem, poza oszczędnością energii, przeliczalną na zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>, także – przez obniżenie temperatury pracy – na przedłużenie żywotności oleju i trwałości smarowanego urządzenia. Wprawdzie początkowy koszt zastosowania syntetycznych środków smarowych będzie wyższy niż w przypadku użycia olejów mineralnych, to jednak w efekcie uzyskuje się zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych i przedłużoną żywotność skrzyni biegów lub maszyny, co przyczynia się do bardziej niezawodnego procesu produkcyjnego. Zredukowane zużycie energii wywiera bezpośredni wpływ na emisję gazów cieplarnianych i pomaga chronić środowisko.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2016, nr 12, s. 1137–1143, DOI: 10.18668/NG.2016.12.18

Artykuł nadesłano do Redakcji 24.10.2016 r. Zatwierdzono do druku 23.11.2016 r.

## Literatura

- [1] Abdelaziz E.A., Saidur R., Mekhilef S.: *A review on energy saving strategies in industrial sector*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011, vol. 15, s. 150–168.
- [2] Bartz W.: *Kraftstoffeinsparung durch entsprechende Motoren- und Getriebeöle*. Mineralöltechnik 1997, nr 10, s. 2–23.
- [3] Bartz W., Wienecke D.: *Automobile Transmission Gears as Tribological Systems*. Tribology Transactions 2001, vol. 44, s. 484–488.
- [4] Blain D., Galiano-Roth A., Russo R., Harrington K.: *Energy Efficient Industrial Gear Lubricants*. Gear Solutions 2013, June, s. 49–55; <http://www.gearsolutions.com/article/detail/6313/energy-efficient-industrial-gear-lubricants> (dostęp: lipiec 2016).
- [5] Cooper T.: *Balancing Durability and Efficiency for Proper Industrial Gear Oil Selection*. Lube Magazine 2008, vol. 85, s. 16–17.
- [6] Fuchs Lubritech GmbH: *Energy & cost savings by using synthetic food grade lubricants*. <http://www.brcglobalstandards.com/Portals/0/library/files/partnerconnection/CASSIDA%20Energy%20Savings.pdf> (dostęp: sierpień 2016).
- [7] Guerzoni F.: *Improving Energy efficiency through optimized lubricants*. Utilities Manager, February 2008; <http://www.maintenancetechnology.com/2008/02/utilities-manager-improving-energy-efficiency-through-optimized-lubricants/> (dostęp: sierpień 2016).
- [8] Joachim F.J., Börner J., Kurz N.: *How to minimize power losses in transmissions, axles and steering systems*. Gear Technology 2012, no. 9, s. 58–66.
- [9] Klüber Lubrication: *Geared up for success. Useful information on oil lubrication of gears*, s. 12–13. [http://www.klueber.com/ecomaXL/files/Geared\\_up\\_for\\_success.pdf](http://www.klueber.com/ecomaXL/files/Geared_up_for_success.pdf) (dostęp: lipiec 2016).
- [10] Lubrizol: *Working to develop more efficient lubricants*. <https://www.lubrizol.com> (dostęp: lipiec 2016).
- [11] Oleksiak S.: *Ocena odporności na ścinanie samochodowych olejów przekładniowych*. Nafta-Gaz 2014, nr 5, s. 313–319.
- [12] Oleksiak S.: *Olej silnikowy a zużycie paliwa*. Raport Instytutu Nafty i Gazu – PIB „Rynek Polskiej Nafty i Gazu” 2015, s. 76–85.
- [13] Reid-Peters S.: *Why synthetics work: background on energy efficiency benefits*. [http://www.thewp-group.co.uk/iqs/dbitemid.515/sfa.view/wpgroup\\_news.html](http://www.thewp-group.co.uk/iqs/dbitemid.515/sfa.view/wpgroup_news.html) (dostęp: sierpień 2016) – used with permission from Exxon Mobil Corporation.
- [14] Rogoś E.: *Zmiana właściwości smarnych olejów przemysłowych w wyniku uzdatniania*. Nafta-Gaz 2016, nr 2, s. 102–107, DOI: 10.18668/NG.2016.02.04.
- [15] Siebert H.: *Oil Lubrication*. <https://www.teicrete.gr/users/kutrulislak/45/oil%20lubrication.doc> (dostęp: sierpień 2016).
- [16] Sjöberg S., Sosa M., Andersson M., Olofsson U.: *Analysis of efficiency of spur ground gears and the influence of running-in*. Tribology International 2016, vol. 93, s. 172–181.
- [17] Wienecke D., Kluge R.: *Einfluß der Art und Zusammensetzung von Schmierölen auf die Verlustleistung in PKW-Schaltgetrieben*. Tribologie und Schmierungstechnik 1999, nr 2, s. 4–10.
- [18] Wilkinson C.: *New Mobil SHC 632, energy efficient, synthetic gearbox oil*. <http://www.wp-industrial.co.uk/res/MOBIL%20GEARBOX%20SAVINGS%20%20SMURFIT.pdf> (dostęp: sierpień 2016).



Dr inż. Stanisław OLEKSIĄK  
 Adiunkt, kierownik Zakładu Oceny Właściwości Eksploatacyjnych.  
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
 ul. Lubicz 25 A  
 31-503 Kraków  
 E-mail: [stanislaw.oleksiak@inig.pl](mailto:stanislaw.oleksiak@inig.pl)