

6. PALIWA, OLEJE, SMARY

6.1. Wiadomości wstępne

W Polsce ok. 60% energii zużywanej w produkcji rolnej uzyskuje się z paliw silnikowych. Dlatego znajomość właściwości paliw silnikowych, olejów i smarów, a także działania silników spalinowych, prawidłowego agregatowania maszyn z ciągnikami ma wielkie znaczenie, umożliwia bowiem oszczędniejszą gospodarkę energią w produkcji rolnej.

Paliwa silnikowe i smary uzyskuje się głównie w wyniku obróbki termicznej i chemicznej ropy naftowej. Do podstawowych produktów przeróbki ropy naftowej należą: benzyna, nafta, olej napędowy, olej opałowy, oleje smarowe (silnikowe i przekładniowe) i hydrauliczne, smary, parafiny i inne.

Złoża ropy naftowej znajdują się w wielu rejonach świata i na różnej głębokości. Obecnie złoża łatwe do eksploatacji są na wyczerpaniu, dlatego warunki pozyskiwania ropy naftowej są coraz trudniejsze (np. z dna Morza Północnego). Wielkość wydobycia ropy naftowej w wybranych latach przedstawiono w tabeli 6.1.

Rozwój gospodarki światowej wywołał gwałtowny wzrost zapotrzebowania na nośniki energii, zwłaszcza na paliwa ropopochodne – najwygodniejsze w użyciu. W latach 70. XX wieku wystąpił kryzys energetyczny, którego następstwem był gwałtowny wzrost ceny ropy naftowej do ok. 44 USD za baryłkę (1 baryłka = ok. 139 l) w 1974 roku (w 1973 roku 4 USD/baryłkę). Uświadomiono sobie wówczas, że dostępne źródła energii są ograniczone, co przyczyniło się do intensywnego rozwoju badań nad technologiami materiało- i energooszczędnych. Oszczędniejsza gospodarka energią sprawiła, iż już w 1976 roku nastąpiło zauważalne zmniejszenie zużycia energii. W najbogatszych krajach Europy globalne zużycie energii spadło o ok. 20%, pomimo znacznego wzrostu produkcji. Dzięki temu następował stopniowy spadek cen ropy naftowej do ok. 35 USD. Nie zmienia to jednak faktu, iż w zależności od sytuacji politycznej na świecie i tempa rozwoju gospodarki, ceny ropy naftowej gwałtownie

Tabela 6.1. Zmiany wielkości rocznego wydobycia ropy naftowej w latach 1970-2009 na świecie

Wydobycie ropy naftowej	
Rok	mln ton
1970	2 275
1980	2 975
1990	3 014
1995	3 070
2000	3 350
2009	3 600

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS

Tabela 6.2. Skoki cenowe ropy naftowej w różnych okresach historycznych

Okres	Wydarzenie	USD/baryłka
1973	Raport Rzymski o ograniczonych zasobach	4
1974		ok. 44
1978	Rewolucja w Iranie, początek wzrostu cen	ok. 35
1980	Początek wojny Irak-Iran	ok. 70
1982-1986	Stabilizacja dostaw i stopniowy spadek ceny do	ok. 22
2000		35
2007	Początek recesji w gospodarce ogólnoswiatowej	ok. 95

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS

się zmieniają, ale wciąż kształtują się na nieporównywalnie wyższym poziomie niż w 1973 roku. W latach 2010-2011 i na początku 2012 roku, ceny te wynosiły od 90 do 120 dolarów za baryłkę.

W tabeli 6.2 zestawiono charakterystyczne okresy gwałtownych zmian cen ropy naftowej. Historycznie ceny ropy wahały się od 2,5 USD (tj. 18 USD w cenach bieżących) w 1948 roku do 147 USD w lipcu 2008 roku (cena chwilowa).

Oszczędne gospodarowanie energią, znajomość zasad prawidłowej eksploatacji urządzeń energetycznych (silników spalinowych i pojazdów) poprawia wynik ekonomiczny wszelkich działań produkcyjnych. Dotyczy to również w pełnym zakresie rolnictwa.

6.2. Paliwa silnikowe

6.2.1. Benzyna

Benzyna to ciecz przezroczysta i bezbarwna, o gęstości $r = 0,7-0,75 \text{ g/cm}^3$. Uzyskuje się ją podczas destylacji ropy naftowej w temperaturze 35-200°C. Wartość opałowa benzyny wynosi ok. 42 MJ/kg. Pary benzyny tworzą z powietrzem mieszaninę wybuchową, dlatego należy zachować szczególną ostrożność przy magazynowaniu i podczas przeładunku tego paliwa.

Skład frakcyjny paliwa informuje, w jakiej temperaturze określona jego ilość ulegnie odparowaniu. Temperatura, w której w silniku odparowuje 10% paliwa (określająca warunki występujące podczas uruchamiania zimnego silnika) wynosi 70-80°C. W temperaturze 80-140°C powinno odparować 50% paliwa – odpowiada to warunkom pracy rozgrzanego silnika.

Czysta benzyna nie nadaje się do zasilania silników spalinowych ze względu na bardzo małą odporność na spalanie detonacyjne. Odporność paliwa na tego rodzaju spalanie określa **liczba oktanowa** (LO). Liczbę oktanową wyznacza się doświadczalnie na specjalnych silnikach badawczych, przez porównywanie odporności na spalanie detonacyjne danego paliwa z odpornością mieszaniny heptanu z izooktanem. Dla

Tabela 6.3. Charakterystyka przykładowych benzyn

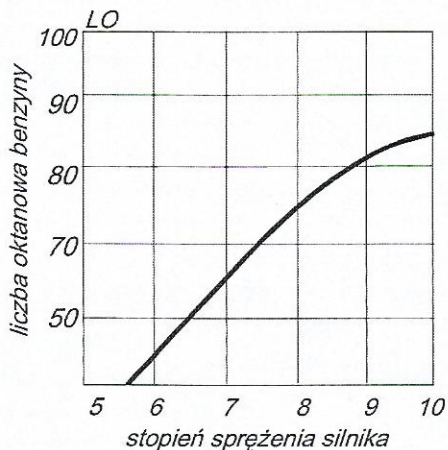
Parametr	Jednostka	Benzyna		
		Eurosuper 95	Super Plus 98	VERVA
Liczba oktanowa (metoda badawcza)	LOB	95	98	98
Liczba oktanowa (metoda motorowa)	LOM	85	88	88
Gęstość w temp. 15°C	kg/m ³	720-775	720-775	720-775
Zawartość siarki	mg/kg	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zawartość węglowodorów aromatycznych	% (V/V)	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Łączna zawartość tlenu	% (V/V)	≤ 2,7	≤ 2,7	-
Zawartość alkoholu:				
– metylowego				≤ 3,0
– etylowego				≤ 5,0
– izopropylowego	% (V/V)	-	-	≤ 10,0
– izobutyłowego				≤ 10,0
– tertbutylowego				≤ 7,0
Etery	% (V/V)	-	-	≤ 15,0
Inne związki organiczne	% (V/V)			≤ 10,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS

heptanu przyjęto LO = 0, a dla izooktanu LO = 100. Procentowy udział izooktanu w mieszaninie o takiej samej odporności na spalanie stukowe jak odporność badanego paliwa, to liczba oktanowa tego paliwa.

Są dwie metody wyznaczania liczby oktanowej, a ich wyniki różnią się. **Metoda motorowa (M)** polega na wykonaniu pomiarów przy prędkości obrotowej 900 obr/min z podgrzewaniem mieszanki, natomiast **metoda badawcza (R)** na wykonaniu pomiarów przy prędkości obrotowej 600 obr/min bez podgrzewania mieszanki. Liczba oktanowa benzyny wyznaczona metodą badawczą jest wyższa o ok. 10 jednostek od liczby oktanowej wyznaczonej metodą motorową.

Benzyne handlową o odpowiedniej liczbie oktanowej uzyskuje się przez dodawanie różnych dodatków zwiększających odporność benzyny na spalanie detonacyjne, jak np. eter y i alkohole. Przykładowo benzyna bezołowiowa 95 zawiera do 15% eterów i do 15% alkoholu etylowego (udział objętościowy v/v). Do silników o większym stopniu sprężania stosuje się paliwo o większej liczbie oktanowej (rys. 6.1). W tabeli 6.3 podano charakterystykę właściwości benzyn krajowych.



Rysunek 6.1. Zależność liczby oktanowej benzyn od stopnia sprężania silnika

Źródło: Skrobaccki, Chochowski 1993

6.2.2. Oleje napędowe

Olej napędowy to paliwo cięższe niż benzyna ($r = 0,8-0,88 \text{ g/cm}^3$), uzyskiwane podczas destylacji ropy naftowej w temperaturze 230-350°C. Wartość opałowa oleju napędowego wynosi 41,6 MJ/kg. Temperatura parowania oleju napędowego jest wyższa niż benzyny. Trudniej tworzy więc on mieszaninę wybuchową, lecz jest materiałem łatwopalnym. Dlatego zgodnie z obowiązującymi przepisami przeciwpożarowymi, olej napędowy i benzyna są zaliczane do tej samej grupy zagrożenia. Utrudnia to znacznie magazynowanie tego paliwa w gospodarstwach rolnych.

Tabela 6.4. Charakterystyka właściwości olejów napędowych

Parametr	Jedn.	Olej napędowy		
		Eurodiesel Ultra	VERVA ON	BIO 100
Liczba cetanowa	–	51,0	55,0	51,0
Indeks cetanowy	–	46,0	46,0	46,0
Gęstość w 15°C	kg/m ³	820-845	820-845	860-900
Temperatura zablokowania zimnego filtra	°C	0 -10 -20 -30	0 -10 -20 -26	0* -10** -20***
Temperatura zapłonu	°C	62	62	101
Lepkość kinematyczna	mm ² /s	2,0-4,5	bd	3,5-5,0
Zawartość siarki	mg/kg	≤ 10,0	≤ 10,0	≤ 10,0
Zawartość estrów etylowych kwasów tłuszczowych (RME) %	m/m	-	-	96,5

Oznaczenia: * lato, ** jesień, wiosna, *** 16.11-28.02 (zima)

Źródło: opracowanie własne

Podstawowe parametry oleju napędowego to: liczba cetanowa, zawartość siarki (niepożądana) oraz temperatura krzepnięcia. **Liczba cetanowa (LC)** jest miarą skłonności paliwa do samozapłonu i określa się ją przez porównanie z paliwem wzorcowym, stanowiącym mieszaninę cetanu i α -metylonaftalenu. Dla cetanu przyjęto $LC = 100$, a dla α -metylonaftalenu $LC = 0$. Ze względów eksploatacyjnych parametrem ważniejszym niż temperatura krzepnięcia jest **temperatura blokowania filtru**. W tej temperaturze olej znajduje się jeszcze w stanie ciekłym, ale już następuje wytrącanie się z niego parafin. Powoduje to niedrożność filtrów paliwa i silnik gaśnie.

W tabeli 6.4 zestawiono parametry olejów napędowych sprzedawanych w Polsce.

6.2.3. Paliwa zastępcze (paliwa silnikowe z odnawialnych źródeł energii)

Rozwój produkcji, wzrost ludności i globalnej konsumpcji powoduje wzrost zużycia energii. W związku z ograniczoną podażą ropy naftowej (tab. 6.1) rozwija się podaż innych nośników energii, w tym nośników energii ze źródeł odnawialnych. Wzrost cen na światowym rynku ropy naftowej, a także z uwagi na ochronę środowiska spowodowały wzrost zainteresowania możliwością stosowania w silnikach spalinowych takich paliw, jak: oleje roślinne, etanol oraz gaz. **Oleje roślinne mogą być stosowane zamiast oleju napędowego, tzn. jako paliwo do silników ZS, a etanol i gaz zamiast benzyny – do silników ZI.** Istotnym zagadnieniem w podejmowaniu decyzji o rozwijaniu rynku paliw silnikowych wytworzonych z odnawialnych źródeł energii, jest analiza ekonomiczna i ocena rzeczywistych kosztów produkcji. Częstym błędem popełnianym w dyskusjach nad opłacalnością stosowania „paliw odnawialnych”, jest porównywanie kosztu jednostkowego netto ich wytworzenia z ceną detaliczną lub hurtową paliw ropopochodnych, obarczonych podatkiem państwowym. W tabeli 6.5 zestawiono wartości wskaźnika ceny brutto do ceny netto (cena FOB) dla wybranych krajów.

Badania silnika ZS ze wstępną komorą spalania zasilanego **olejem roślinnym** wykazały, że jego sprawność może być większa lub mniejsza (zależnie od rodzaju zastosowanego oleju) od sprawności tego samego silnika zasilanego olejem napędowym (tab. 6.6). Natomiast badania silnika ZS z wtryskiem bezpośrednim, wykazały obniżenie jego sprawności w przypadku zastąpienia oleju napędowego olejem roślinnym. Wiąże się to zapewne z pogorszeniem rozprzestrzeniania się cząstek paliwa w komorze spalania podczas wtrysku, spowodowanym dużo większą lepkością olejów roślinnych oraz wyższą temperaturą ich zapłonu w porównaniu z odpowiednimi parametrami oleju napędowego (tab. 6.7).

Tabela 6.5. Wartość wskaźnika ceny brutto do netto ropy naftowej w 2008 r.

Kraj	Wskaźnik [%]
USA	140
Kanada	170
Wielka Brytania	300
Niemcy	250
Francja	230
Włochy	230
Japonia	200

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6.6. Sprawność silnika ZS ze wstępną komorą spalania przy zasilaniu różnymi paliwami

Paliwo – olej	Sprawność [%]
Sojowy	42,51
Słonecznikowy	42,44
Napędowy	40,00
Oliwkowy	39,28
Kokosowy	38,12
Z Orzechów Ziarnistych	37,92
Palmowy	35,40

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6.7. Charakterystyczne właściwości olejów roślinnym

Parametry	Olej		
	rzepakowy	słonecznikowy	napędowy
Gęstość [g/cm ³]	0,91-0,917	0,92-0,927	0,815-0,855
Temperatura zapłonu [°C]	317	316	>55
Temperatura krzepnięcia [°C]	(-2)-0	(-18)-(-16)	(-12)-0
Lepkość kinematyczna w temperaturze 20°C [10 ⁻⁶ m ² /s]	97,7	65,8	2,8
Wartość opałowa [MJ/kg]	40,56	39,81	45,0

Źródło: opracowanie własne

Wyniki badań silników spalinowych zasilanych olejem rzepakowym i olejem słonecznikowym wykazały techniczne możliwości zastosowania obu tych olejów zamiast oleju napędowego. W praktyce stosowanie olejów roślinnych jako paliw silnikowych, ograniczone jest kosztami ich pozyskiwania oraz powstawaniem osadów, będących ubocznymi produktami spalania.

W krajach Europy Środkowej, ze względu na warunki klimatyczne sprzyjające uprawie rzepaku, występuje duże zainteresowanie możliwościami zastosowania oleju rzepakowego jako paliwa. Przełom w tej dziedzinie nastąpił z chwilą opracowania technologii obróbki chemicznej oleju rzepakowego i uzyskania estru metylowego kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, nazywanego potocznie paliwem rzepakowym. Porównanie właściwości fizykochemicznych **paliwa rzepakowego** z właściwościami wzorcowego oleju napędowego podano w tabeli 6.8. Z 1 tony oleju rzepakowego uzyskuje się ok. 1 tony paliwa rzepakowego.

Etanol można produkować z wielu produktów roślinnych (tab. 6.9). Przeprowadzone w USA (1979 r.) badania wykazały nieopłacalność tej produkcji, ponieważ koszt pozyskania 1 litra etanolu wyniósł 0,33 USD. Rachunek ekonomiczny ulega jednak ciągłym zmianom i można się spodziewać, że za kilka lat ceny paliw silnikowych pochodnych ropy naftowej będą wyższe od cen paliw pochodzenia roślinnego, ponieważ już obecnie są bardzo zbliżone.

Tabela 6.8. Charakterystyka właściwości paliwa rzepakowego (biodiesel)

Parametr	Jedn.	Bio-diesel	Euro-diesel
Liczba cetanowa	–	51	51,0
Gęstość w 15°C	kg/m ³	860-900	820-860
Temperatura zablokowania zimnego filtra	lato [°C] zima [°C]	-20	-25-0*
Temperatura zapłonu	°C	101	62
Lepkość kinematyczna w 40°C	mm ² /s	3,50-5,00	2,5
Zawartość siarki	mg/kg	≤10	≤10,0

* w zależności od odmiany

Źródło: materiały prasowe RAFINERIA TRZEBNICA

Tabela 6.9. Wydajność materiałów roślinnych stosowanych do produkcji etanolu

Materiał	Etanol [dm ³ /t]
Żyto	299,0
Pszenica	314,2
Jęczmień	299,0
Owies	246,0
Ziemniaki	87,0
Buraki cukrowe	93,3
Melasa z buraków	242,2

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6.10. Wybrane parametry paliw alternatywnych w porównaniu z odpowiednimi parametrami etyliny 94

Paliwo	Gęstość		Wartość opałowa	
	kg/cm ³	wskaźnik porównawczy	MJ/kg	wskaźnik porównawczy
Eurosuper 95	750	1,00	43,9	1,00
Metanol	785	1,05	20,0	0,45
Etanol	817	1,09	29,8	0,68
Paliwo rzepakowe	880	1,17	37,1	0,84
LPG	540	0,72	46,0	1,05

Źródło: opracowanie własne

0,25% przy stosowaniu LPG (1,6% przy benzynie) i węglowodorów C_nH_m do 50 ppm (520 ppm przy benzynie). Wyniki te dotyczą pracy silnika na biegu jałowym, a więc podczas największej emisji tych składników. Zużycie paliwa LPG jest większe niż benzyny i dla różnych prędkości jazdy badanego pojazdu kształtuje się odpowiednio (benzyna/LPG):

- 10,8/13,0 przy prędkości 120 km/h,
- 8,0/8,6 przy prędkości 90 km/h,
- 6,6/7,2 przy prędkości 70 km/h,
- 11,8/14,1 l/h przy jeździe miejskiej.

Trwają także badania nad wykorzystaniem do zasilania silników ZI gazu powstającego podczas suchej destylacji drewna. Rozwiązanie takie jest w pełni uzasadnione, szczególnie w przypadku silników stacjonarnych użytkowanych w przedsiębiorstwach leśnych, dla których zrębki drewna stanowią materiał odpadowy, a więc tani.

W tabeli 6.10 zestawiono przykładowe parametry wybranych paliw silnikowych.

6.3. Oleje i smary

6.3.1. Oleje silnikowe

Oleje do smarowania silników spalinowych, zwane olejami silnikowymi, to oleje mineralne, uzyskiwane w procesie rafinacji ropy naftowej. Produkowane obecnie oleje silnikowe zawierają dodatki uszlachetniające, przedłużające ich trwałość i polepszające właściwości użytkowe.

Trwałość oleju to okres użytkowania aż do momentu, gdy jego właściwości ulegną zasadniczym zmianom. W czasie użytkowania oleju do miski olejowej dostają się produkty spalania (tlenki węgla i siarki), woda, zanieczyszczenia mechaniczne i chemiczne. Zadaniem dodatków uszlachetniających oleje jest neutralizowanie kwasów, zapobieganie korozji, rozpuszczanie laków, utrzymywanie zanieczyszczeń w stanie rozproszonym.

Istotną cechą oleju jest **lepkość**. Lepkość decyduje o wartości oporów tarcia wewnątrz warstwy smarowej oraz o przyleganiu oleju do części silnika. Olej o zbyt małej lepkości jest wyciskany z łożysk, w wyniku czego w łożysku występuje tarcie

Emisję toksycznych składników można także ograniczyć zastępując benzynę mieszaniną propan-butan LPG (LPG – *liquefied petroleum gas*, czyli paliwo gazowe w stanie ciekłym). Paliwo z powodzeniem jest stosowane w wielu samochodach osobowych. Badania porównawcze samochodu Polonez Caro z silnikiem ZI o pojemności 1500 cm³ wykazały istotną poprawę czystości spalin w przypadku zastosowania paliwa LPG.

Spadła emisja tlenku węgla do

półsuche. Rozróżnia się lepkość dynamiczną i kinematyczną. **Lepkością dynamiczną** nazywamy siłę potrzebną do przesunięcia wierzchniej warstwy oleju o powierzchni 1 m² po warstwie o grubości 1 m ze stałą prędkością 1 m/s. Jednostką lepkości dynamicznej jest paskalosekunda (Pa·s = N·s/m²). **Lepkość kinematyczna** to stosunek lepkości dynamicznej do gęstości oleju, a jej jednostką jest m²/s.

W zależności od lepkości oleje silnikowe dzieli się na klasy (Norma SAE 300a). Rozróżnia się oleje silnikowe zimowe (np. 5W, 10W, 15W, 20W, 25W), oleje letnie (np. 20, 30, 40, 50) oraz wielosezonowe (np. 10W-30, 20W-30, 15W-40, 20W-40).

Lepkość olejów zimowych określa się w temperaturze -17,8 °C, a olejów letnich w temperaturze 98,9 °C. Oleje wielosezonowe muszą mieć w niskiej temperaturze lepkość nie większą, a w wysokiej temperaturze nie mniejszą niż podana w tabeli 6.11. Oleje dzieli się również na

Tabela 6.11. Klasyfikacja lepkości olejów silnikowych według SAE300a

Klasa lepkości	Lepkość kinematyczna [mm ² /s] w temperaturze			
	-17,8 [°C]		98,9 [°C]	
	min	max	min	max
SAE5W	–	1300	–	–
SAE10W	1300	2600	–	–
SAE20W	2600	10 500	–	–
SAE20	–	–	5,7	9,6
SAE30	–	–	9,6	12,9
SAE40	–	–	12,9	16,8
SAE5W-20	–	1300	5,7	–
SAE10W-20	–	200	5,7	–
SAE10W-30	–	2600	9,6	–
SAE20W-30	–	10 500	9,6	–
SAE20W-40	–	10 500	12,9	–

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6.12. Klasy jakości olejów wg SAE I-183

Klasa jakości	Zastosowanie oleju
SA	silniki ZI i ZS pracujące w lekkich warunkach.
SB	silniki ZI pracujące z niewielkim obciążeniem, wymagające stosowania olejów z niewielką zawartością dodatków antykorozyjnych i przeciwutleniających.
SC	silniki ZI pracujące w warunkach typowych dla samochodów osobowych i ciężarowych, wymagające olejów nie wykazujących skłonności do tworzenia osadów, z dodatkami myjącymi, antyszlamowymi, ograniczającymi utlenianie i korozję elementów.
SD	silniki ZI pracujące w warunkach typowych (jw.); oleje te charakteryzują się mniejszą niż oleje SC skłonnością do tworzenia osadów oraz zapewniają lepszą ochronę przed zużyciem i korozją; zawierają kompletny zestaw dodatków uszlachetniających.
SE	nowoczesne silniki ZI; oleje te mogą być stosowane do tych samych silników, do których stosuje się oleje SC i SD; zapewniają lepszą ochronę przed utlenianiem, tworzeniem osadów i korozją.
CA	silniki ZS pracujące w warunkach lekkich i średnich obciążeń, zasilane paliwem o małej zawartości siarki.
CB	silniki ZS pracujące w warunkach lekkich i średnich obciążeń, zasilane paliwem niższej jakości, o zawartości siarki ok. 1%.
CC	silniki ZS lekko doładowane, pracujące w umiarkowanych i ciężkich warunkach; oleje te zawierają dodatki antyszlamowe i antykorozyjne.
CD	szybkoobrotowe silniki ZS o dużej mocy, z doładowaniem; oleje te zawierają kompletny zestaw dodatków uszlachetniających.

klasy jakości (norma SAE J-183), przy czym wyróżnia się oleje S (z jęz. ang. *service*) przeznaczone do silników ZI oraz oleje C (z jęz. ang. *commercial*) przeznaczone do silników ZS. W tabeli 6.12 podano klasy jakości w każdej grupie olejów.

W Europie stosowana jest klasyfikacja jakościowa ACEA (Association des Constructeurs Europeens de l'Automobile, powstała w 1991 r.). Klasyfikacja wyróżnia 4 podstawowe grupy olejów silnikowych (wg stanu na 1 stycznia 2005 r.):

- A – oleje do silników benzynowych w samochodach osobowych,
- B – oleje do silników Diesla małej pojemności w samochodach osobowych i dostawczych,
- C – oleje do silników Diesla z filtrem cząstek stałych w samochodach osobowych,
- E – oleje dla pojazdów użytkowych z silnikiem Diesla.

W każdej grupie wyróżnione są podgrupy określające dokładniej warunki pracy:

- A1 – kategoria olejów silnikowych energooszczędnych ze szczególnie niską lepkością (HTHS < 3,5 mPa·s); preferowane klasy lepkości: XW-30 i XW-20,
- A2 – kategoria olejów konwencjonalnych i lekkiego biegu,
- A3 – kategoria olejów konwencjonalnych i lekkiego biegu o wyższych wymaganiach niż A2; przewyższa ACEA A2 w odniesieniu do NOACK (straty przy odparowaniu), czystości tłoka i odporności na utlenianie,
- A5 – kategoria olejów konwencjonalnych i lekkiego biegu; odpowiada ACEA A3, jednakże z obniżoną lepkością HTHS; w silniku pomiarowym w porównaniu do oleju referencyjnego 15W/40 musi zostać wykazana oszczędność paliwa > 2,5%,
- B1 – kategoria energooszczędnych olejów silnikowych ze szczególnie niską lepkością HTHS (odpowiednio A1),
- B2 – kategoria olejów silnikowych konwencjonalnych i lekkiego biegu,
- B3 – kategoria olejów silnikowych konwencjonalnych i lekkiego biegu; przewyższa ACEA B2 w odniesieniu do ścierania krzywek, czystości tłoka i stabilności lepkościowej przy zanieczyszczeniu sadzą,
- B4 – oleje do silników Diesla z bezpośrednim wtryskiem paliwa (TDI),
- B5 – odpowiada ACEA B4, jednakże z obniżoną lepkością HTHS; w silniku pomiarowym w porównaniu do oleju referencyjnego 15W-40 musi zostać wykazana oszczędność paliwa > 2,5%,
- C1 – oleje do silników Diesla w samochodach osobowych z filtrem cząstek stałych; zawartość popiołów siarczanowych maksymalnie 0,5%; z obniżonym HTHS (Ford),
- C2 – oleje do silników Diesla w samochodach osobowych z filtrem cząstek stałych; zawartość popiołów siarczanowych maksymalnie 0,8%. Z HTHS > 2,9 mPa·s (PEUGEOT),
- C3 – oleje do silników Diesla w samochodach osobowych z filtrem cząstek stałych; zawartość popiołów siarczanowych maks. 0,8%; z HTHS > 3,5 mPa·s (Daimler Chrysler i BMW),
- E4 – przeznaczony na najdłuższe okresy między wymianami oleju, odpowiedni do silników spełniających Euro III,
- E6 – do silników z AGR bez filtra cząstek stałych i silników z SCR; zalecany do silników z filtrem cząstek stałych w połączeniu z paliwem o niskiej zawartości siarki; zawartość popiołów siarczanowych < 1% (wagowo),
- E7 – do silników bez filtra cząstek stałych, większości silników z AGR i większości silników SCR; zawartość popiołów siarczanowych maks. 2% (wagowo).

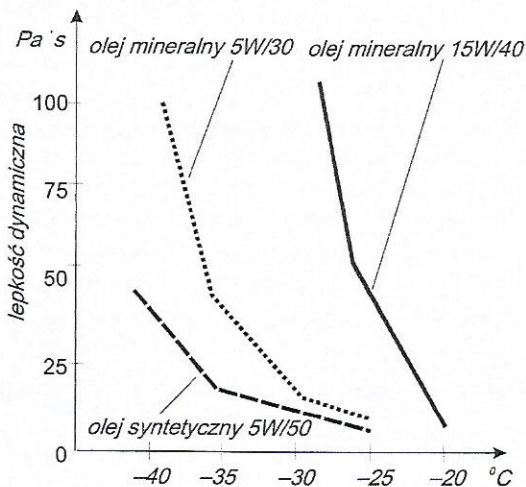
Dodatki uszlachetniające można podzielić na: poprawiające właściwości fizyczne oleju, dyspergująco-detergentowe, przeciwutleniające i antykorozyjne, zwiększające właściwości smarne i odporność na duże naciski oraz dodatki zmniejszające skłonność oleju do pienienia.

W przypadku olejów wielosezonowych stosuje się tzw. dodatki lepkościowe. Dodatki dyspergujące utrzymują zanieczyszczenia oleju w stanie rozproszenia, dzięki czemu nie osiadają one na powierzchniach roboczych układu tłok-cylinder.

Dodatki przeciwutleniające adsorbując tlen hamują procesy utleniania oleju. Dodatki antykorozyjne hamują procesy korozji, tworząc na powierzchni metali warstwę chroniącą przed bezpośrednim działaniem tlenu i kwasów występujących w oleju oraz zapobiegają katalicznemu utlenianiu oleju przez metale.

Dodatki poprawiające właściwości smarne zwiększają wytrzymałość filmu olejowego na rozrywanie przy jego granicznej grubości. Dodatki zwiększające odporność na maksymalne naciski zapobiegają zespawaniu powierzchni metalowych w przypadku przerwania filmu olejowego.

Właściwości oleju zależą też od technologii jego produkcji. Tradycyjne oleje to oleje mineralne, pochodzące z bezpośredniej przeróbki ropy naftowej. Postęp technologiczny, jaki dokonał się w przemyśle chemicznym, umożliwił produkcję olejów w procesach syntezy chemicznej. Zmiana technologii produkcji spowodowała istotną zmianę właściwości olejów. Na rysunku 6.2 przedstawiono wykresy lepkości dynamicznej oleju syntetycznego i dwóch olejów mineralnych. Istotną cechą olejów syntetycznych jest wysoki wskaźnik lepkości i niska temperatura krzepnięcia (ok. -50°C). Wysoki wskaźnik lepkości zapewnia dobrą płynność oleju w niskiej temperaturze i właściwe smarowanie w temperaturze wysokiej. W porównaniu z olejami mineralnymi oleje syntetyczne są odporniejsze na starzenie, mają lepsze właściwości myjąco-dyspergujące oraz lepsze właściwości przeciwzużyciowe i przeciwkorozyjne. Upowszechnienie stosowania olejów syntetycznych, o znacznie lepszych cechach użytkowych, spowodowało konieczność opracowania mieszanej klasyfikacji jakości. Przykładowo olej produkowany przez Rafinerię Gdańską o nazwie LOTOS ma oznaczenie jakościowe SG/CD. W ten sposób producent informuje o możliwości stosowania oleju zarówno do silników ZI jak i do ZS o dużych wymaganiach (doładowanie i trudne warunki eksploatacji). Oleje syntetyczne są 3-5-krotnie droższe od olejów mineralnych. Dlatego stosowanie olejów syntetycznych jest racjonalne w przypadku nowoczesnych silników, odpornych na przeciążenia i wyposażonych w takie urządzenia, jak rozrząd wielozaworowy, hydrauliczna regulacja luzu zaworowego lub turbosprężarka doładująca.



Rysunek 6.2. Lepkość dynamiczna olejów mineralnych i syntetycznych w temperaturze ujemnej
Źródło: materiały prasowe RAFINERIA GDANSKA

Tabela 6.13. Charakterystyka właściwości olejów silnikowych

Parametr	Jedn.	Oleje silnikowe				
		Selektol Special SD	Oil Lubro SF/CC	Platinum Synthetics M/CF	Superol FCD	Lotos Diesel CG-4/SJ
Klasa lepkości	-	20W-40	20W-50	5W-40	15W-40	15W-40
Lepkość kinematyczna dla $t = 100^{\circ}\text{C}$	mm/s	15,0	19,9	14,5	14,3	13,5-16,3
Lepkość strukturalna CCS _t = 100°C	mPa s	1750	3050	bd	bd	bd
Wskaźnik lepkości	-	135	145	174	132	130
Temperatura płynięcia	°C	-32	-30	-42	-27	-27
Temperatura zapłonu	°C	238	235	230	230	215
Liczba zasadowa TBN	mg KOH/g	5,0	7,0	11,4	12,0	bd
Popiół siarczanowy	%	0,46	0,77	1,25	1,4	bd

bd – brak danych

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 6.13 podano przykładowo zaszeregowanie olejów silnikowych do odpowiednich klas lepkości i jakości. W oznaczeniu oleju powinna się znajdować informacja o klasie jakości i klasie lepkości; np. oznaczenie:

- **Selektol Special, SD, SAE 20W 140** zawiera następujące informacje:
 - *Selektol Special*: nazwa oleju,
 - *SD*: klasa jakości,
 - *SAE 20W/40*: klasa lepkości, olej wielosezonowy.

Podczas pracy olej silnikowy starzeje się, tzn. zmienia swoje właściwości w wyniku procesów utleniania oraz pod wpływem zanieczyszczeń. Procesy utleniania powodują powstawanie: kwasów, laktonów, laktydów, żywic, asfaltenów itp. Zanieczyszczenia dostające się do oleju to przede wszystkim produkty niecałkowitego spalania (sadza, paliwo, popiół, kwaśne produkty spalania) oraz woda, kurz, cząstki metali. Zmiany właściwości oleju można ocenić na podstawie zmian lepkości, wzrostu liczby kwasowej, wzrostu skłonności do koksowania, zwiększenia zawartości zanieczyszczeń chemicznych i mechanicznych. Występujące w oleju zanieczyszczenia nie zależą od jego jakości, lecz od warunków eksploatacji.

Zanieczyszczenia wykazujące tendencję do wytrącania się noszą nazwę osadów. Do osadów zalicza się nagar, laki i szlam. **Nagar** to sypki popiół skleiony związkami żywicznymi i węglowymi; powstaje przede wszystkim w następstwie niecałkowitego spalania paliwa podczas pracy na bogatej mieszance lub w przypadku niesprawnych wtryskiwaczy. **Laki** to twarde osady nierozpuszczalne w oleju; tworzą się z produktów utleniania i produktów żywicznych przedostających się z komory spalania. **Szlam** to mieszanina oleju, substancji węglowych (sadza, kopec), wody i innych materiałów. Najwięcej szlamu powstaje, gdy silnik pracuje w niskiej temperaturze. Tworzy się on przede wszystkim w silnikach gaźnikowych. Szlam powoduje blokowanie filtrów i kanałów olejowych.

Duży wpływ na zmianę lepkości oleju ma paliwo przedostające się do miski olejowej. Zjawisko to występuje częściej w silnikach gaźnikowych w skutek pracy

na zbyt bogatej mieszance lub w zbyt niskiej temperaturze, ponieważ nie odparowują wówczas cięższe frakcje paliwa. Woda w silniku spalinowym powstaje w procesie spalania oraz przedostaje się do jego wnętrza z otoczenia podczas suwu dolotu. Z nagrzanego silnika przy dobrej wentylacji skrzyni korbowej para wodna jest prawie całkowicie usuwana na zewnątrz.

Ogólnie można stwierdzić, że główne czynniki eksploatacyjne wpływające na szybkość starzenia się oleju to: temperatura panująca w układzie chłodzenia, temperatura oleju, efektywność wentylacji skrzyni korbowej, skład mieszanki paliwowej, stan wtryskiwaczy oraz filtrów oleju i powietrza, jakość oleju i jakość paliwa, stan techniczny silnika, a także stopień wykorzystania mocy silnika.

6.3.2. Oleje przekładniowe

Przekładnie zębate pracują pod zmiennym obciążeniem, przy dużych naciskach jednostkowych (1000-2000 MPa) i przy prędkości obwodowej wynoszącej 2-10 m/s. Pod względem smarowania warunki pracy przekładni są bardzo niekorzystne, ponieważ olej jest wyciskany z przestrzeni między powierzchniami zębów i przy dużych obciążeniach jednostkowych może wystąpić tarcie suche. Przekładnie stosowane w ciągnikach są smarowane metodą zanurzeniową, tzn. dolne koła zębate przekładni są częściowo zanurzone w oleju i za ich pośrednictwem olej jest rozprowadzany po kołach współpracujących.

Tabela 6.14. Charakterystyka właściwości olejów przekładniowych

Parametr	Jedn.	Oleje przekładniowe			
		Hipol 6	Agro GL-4	Hipol Semisynthetic GL-5	Boxol 26
Klasa lepkości	–	80W	80W-90	75W-90	
Lepkość kinematyczna $t = 100^{\circ}\text{C}$	mm /s	9,95	16,3	16,4	42,1
Wskaźnik lepkości	–	98	104	145	150
Temperatura płynięcia	$^{\circ}\text{C}$	-34	-27	-46	-42
Temperatura zapłonu	$^{\circ}\text{C}$	237	235	190	

Źródło: opracowanie własne

W Polsce są stosowane oleje przekładniowe PL (letni) i PZ (zimowy), przeznaczone do przekładni lekko obciążonych oraz oleje Hipol odpowiednie do przekładni pracujących przy średnich i dużych obciążeniach (tab. 6.14).

W ciągnikach olej przekładniowy jest także stosowany w podnośniku hydraulicznym i w związku z tym powinien się charakteryzować mniejszą lepkością niż normalny olej przekładniowy oraz większą odpornością na pienienie. Olej przekładniowo-hydrauliczny przeznaczony do ciągników rolniczych jest dostępny na rynku krajowym pod nazwą Agrol.

6.3.3. Oleje hydrauliczne

Nowoczesne oleje hydrauliczne oprócz układów hydraulicznych mają zastosowanie w mechanizmach wspomagających układ kierowniczy, hydromechanicznych i mechanicznych skrzyniach przekładniowych pojazdów oraz w maszynach rolniczych. W tabeli 6.15 zestawiono przykładowe parametry oleju Agro HL.

Olej Agro HL otrzymywany jest na bazie oleju mineralnego oraz pakietu dodatków, w skład którego wchodzi dodatki podwyższające właściwości lepkościowo-temperaturowe, smarne, przeciwpienne, przeciwkorozyjne i przeciwutleniające. Olej stosuje się do: układów hydraulicznych pracujących w ciężkich warunkach, mechanizmów wspomagających układ kierowniczy w pojazdach samochodowych, hydromechanicznych skrzyń biegów, mechanicznych skrzyń biegów, niektórych układów hydrokinetycznych.

Tabela 6.15. Przykładowe parametry oleju hydraulicznego uniwersalnego

Prametr	Jedn.	Agro HL
Klasa lepkości	–	
Lepkość kinematyczna $t = 100^{\circ}\text{C}$	mm/s	42,1
Wskaźnik lepkości	-	150
Temperatura płynięcia	C	-42
Odporność na pienienie, objętość piany po 5 min przedmuchiwania powietrzem $t = 25/95/25^{\circ}\text{C}$	ml	10/80/10

Źródło: opracowanie własne

6.4. Smary plastyczne

Smary to zagęszczone oleje mineralne o konsystencji półpłynnej lub stałej w temperaturze normalnej, służące do smarowania mechanizmów trudnodostępnych lub takich, których smarowanie olejem nie zdaje egzaminu. Konsystencja smaru zależy od zawartości zagęszczacza. Rozróżnia się smary twarde, plastyczne (zwane też stałymi) i ciekłe. Szerokie zastosowanie znalazły smary plastyczne.

Smary plastyczne w określonym przedziale temperatury zachowują nadany im wcześniej kształt. Dzięki dobrym właściwościom przylegania można je nakładać na powierzchnie pionowe, na elementy pracujące w wodzie, można też nimi smarować łożyska. Smary plastyczne to koloidalna zawiesina zagęszczacza w oleju. Do zagęszczania stosuje się: mydła, stałe węglowodory, bentonity, zagęszczacze syntetyczne. Smarów plastycznych używa się w ciągnikach i maszynach rolniczych. Rozróżnia się smary maszynowe, do łożysk tocznych oraz podwoziowe.

Smary maszynowe stosuje się do zabezpieczania powierzchni łożysk ślizgowych przed zbyt szybkim zużyciem. Do zagęszczania tych smarów używa się mydeł wapniowych i sodowych. Smary maszynowe (np. GREASEN EP-26) stosuje się do łożysk pracujących w temperaturze od -23 do $+140^{\circ}\text{C}$. Smar grafitowy zawiera do 10% grafitu i smaruje się nim mechanizmy wolnoobrotowe i silnie obciążone powierzchnie trące (np. łańcuch napędu w roztrząsaczu obornika, resory samochodowe, otwarte przekładnie zębate).

Smary do łożysk tocznych są produkowane na bazie mydeł wapniowych, sodowych, wapniowo-sodowych i litowych. W pojazdach i maszynach rolniczych używa się głównie smarów GREASEN LT-4S, w których zagęszczaczem jest mydło litowo-wapniowe. Smary te są odporne na działanie wody i mogą pracować w temperaturze od -30 do $+120^{\circ}\text{C}$.

Smar podwoziowy (GREASEN STP) jest wytwarzany na bazie oleju mineralnego (do którego jest dodawany wapń) o lepkości kinematycznej $35-60 \text{ mm}^2/\text{s}$ w temperaturze 50°C . Dzięki miękkiej konsystencji smar ten można podawać do punktów smarowania za pomocą smarownicy. Smar podwoziowy przeznaczony jest wyłącznie do okresowego smarowania podwozi pojazdów, sworzni, przegubów i prowadnic w zakresie temperatur od -20 do $+60^{\circ}\text{C}$.