

Politechnika Lubelska

Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów

i Napędów Lotniczych



Instrukcja laboratoryjna

Pomiar lepkości cieczy

Pomiar lepkości cieczy

I. Cel ćwiczenia

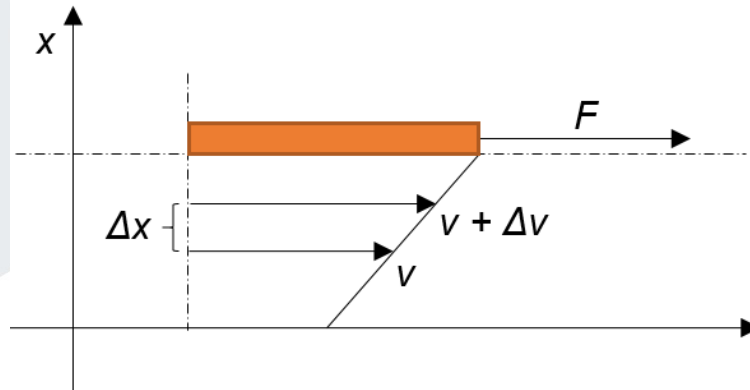
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z pomiarem lepkości cieczy oraz oznaczenie lepkości oleju w stopniach Englera ($^{\circ}\text{E}$).

II. Pojęcie współczynnika lepkości

Jeżeli w naczyniu z cieczą umieścić płytkę o powierzchni S i działać na nią siłą F styczną do powierzchni (Rys. 1), to poszczególne warstwy cieczy będą się przemieszczać i zajdzie przy tym zależność:

$$F = S \cdot \eta \frac{\Delta v}{\Delta x} \quad (1)$$

Gdzie η - współczynnik proporcjonalności.



Rys. 1. Rozkład prędkości v w cieczy

Dla warstw położonych w nieskończenie małej odległości:

$$F = S \cdot \eta \frac{dv}{dx} \quad (2)$$

Naprężenia styczne τ wyrażają się wzorem:

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (3)$$

Podstawiając zależność (3) do wzoru (2), otrzymujemy tzw. **prawo tarcia Newtona**:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dx} \quad (3a)$$

Współczynnik proporcjonalności η (wym. eta) jest **dynamicznym współczynnikiem lepkości**. Jego jednostką w układzie SI jest:

$$\frac{kg}{m \cdot s} = Pa \cdot s$$

Kinematyczny współczynnik lepkości ν (wym. ni) określane jest zależnością:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (4)$$

Gdzie ρ - gęstość cieczy.

Jego jednostką w układzie SI jest:

$$\frac{m^2}{s}$$

Inną jednostką stosowaną w praktyce jest Stokes (St):

$$1 \text{ St} = 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

Ponadto lepkość można wyrażać w jednostkach umownych, najczęściej stosowany w Polsce jest stopień Englera ($^{\circ}E$).

III. Pomiar lepkości wiskozymetrem Englera

3.1. Zasada pomiaru

Określenia lepkości w stopniach Englera ($^{\circ}E$) dokonuje się przez pomiar czasu wypływu t cieczy badanej oraz czasu wypływu t_w cieczy wzorcowej (woda destylowana) o temperaturze $20^{\circ}C$ przez kapilarę wiskozymetru Englera.

Wartość lepkości w stopniach Englera (°E) wyraża się wzorem:

$$E = \frac{t}{t_w} \quad (5)$$

3.2. Budowa wiskozymetru Englera

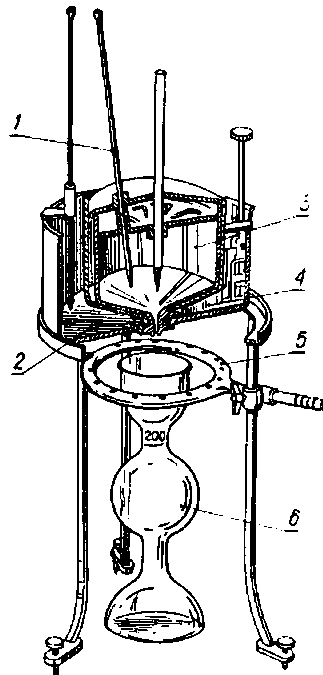
Wiskozymetr składa się z płaszczu wodnego i naczynia pomiarowego przykrytego pokrywą o podwójnej ścianie dla uzyskania lepszej izolacji.

Naczynie pomiarowe, do którego wlewa się badaną ciecz jest wewnątrz połączane. Trzy znaki na wewnętrznej ścianie wskazują wymagany poziom cieczy.

Po odkręceniu nakrętki i wyciągnięciu drewnianej zatyczki ciecz wypływa przez rurkę do kolby pomiarowej ustawionej pod przyrządem.

Ciecz w płaszczu wodnym w trakcie podgrzewania mieszana jest mieszadłem poruszonym gałką. Grzałka do podgrzewania kąpeli wodnej znajduje się w dolnej części naczynia zewnętrznego.

Ciecz mierzona ogrzewa się od kąpeli wodnej a temperatura cieczy mierzona jest termometrem przechodzącym przez pokrywę. Do kontrolowania temperatury kąpeli wodnej służy termometr. Zasilanie grzałki prądem elektrycznym odbywa się za pośrednictwem bezstopniowego regulatora napięcia podłączonego do wiskozymetru.



Rys. 2. Lepkościomierz Englera: 1 - termometr, 2 - łaźnia wodna, 3 - naczynie pomiarowe, 4 - mieszadło, 5 - palnik gazowy, 6 - kolba [1]

3.3. Przeprowadzenie pomiaru

Po zestawieniu urządzenia badaną ciecz wlewa się do naczynia pomiarowego (wewnętrznego), zaś wodę destylowaną do naczynia zewnętrznego.

Pod otwór wylotowy podstawia się kolbę pomiarową (200 ml) oraz zdejmuje się nakrętkę zabezpieczającą wylot.

Ilość cieczy mierzonej ma być taka, by przykrywała trzy znaki – odpowiada to ilości 240 ml. Nadmiar cieczy należy usunąć przez wyciągnięcie zatyczki. Do pomiaru powinno pozostać tyle cieczy, by wypełniała ona rurę wylotową, u spodu rurki zwiśla kropla cieczy, a w naczyniu poziom pokrywał się z trzema znakami na obwodzie.

Jeśli ciecz pokrywa znaki w nierównym stopniu, to należy wypoziomować urządzenie przy pomocy dwóch śrub w podstawie. Następnie zakłada się pokrywę i instaluje termometry.

Do tak przygotowanego urządzenia doprowadza się napięcie grzania przez załączenie wyłącznika głównego regulatora do pozycji „ON”.

Regulatorem napięcia ustala się napięcie grzania w zależności od wymaganej temperatury kontrolowanej na obu termometrach.

Mieszanie cieczy w kąpeli wodnej odbywa się przez poruszanie mieszadłem.

Ciecz mierzona miesza się przez ostrożne obracanie pokrywą, wówczas termometr spełnia rolę mieszadła.

Po osiągnięciu temperatury w kąpeli ok. 0,2-0,5°C wyższej od wymaganej dla przeprowadzenia pomiaru doprowadza się do żądanej temperatury ciecz pomiarową.

Z chwilą, kiedy po wyłączeniu grzania temperatura w obu naczyniach ustali się na żądanym poziomie (np. 50°C) można przystąpić do pomiaru czasu wypływu.

W tym celu przygotowany uprzednio sekundomierz wprowadzamy w ruch równocześnie wyciągając zatyczkę. Ponieważ pomiar odnosi się do ilości cieczy 200 ml, a w naczyniu znajduje się 240 ml toteż czas wypływu mierzy się do osiągnięcia przez ciecz poziomu oznaczonego kreską w kolbie pomiarowej, co odpowiada ilości cieczy równej 200 ml.

Powyższy pomiar należy przeprowadzać co najmniej trzykrotnie i do obliczenia przyjąć średnią arytmetyczną.

Stała wodna wiskozymetru t_w wyznaczana jest w sposób podany wyżej z tym, że cieczą mierzoną jest w tym wypadku woda destylowana o temperaturze 20°C. Stała wodna wykorzystywanego wiskozymetru wynosi 50-52 s.

3.4. Zakres stosowania pomiaru lepkości wiskozymetrem Englera.

Tego typu pomiar stosowany jest powszechnie tam, gdzie znajomość lepkości różnych produktów naftowych jest niezbędna do oceny ich przydatności.

Ze względu na szereg niedoskonałości technicznych (zależność od wprawy obsługującego, zbyt krótka rurka, niepewność określenia temperatury) przyrząd ten nie może służyć do badań wzorcowych.

IV. Pomiar lepkości wiskozymetrem Hopplera

4.1. Zasada pomiaru

Metoda pomiaru opiera się na prawie Stokesa, które mówi: na kulkę o promieniu r poruszającą się w cieczy o współczynniku lepkości η z prędkością v tak, że ruch cieczy względem kulki jest laminarny, działa siła oporu F , wyrażająca się wzorem:

$$F = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (6)$$

Jeśli ruch odbywa się pod wpływem siły ciężkości (swobodne opadanie kulki), to po upływie pewnego czasu trzy siły działające na opadającą kulkę (siła ciężkości Q , siła oporu ośrodka F , siła wyporu cieczy Q_c) znajdują się ze sobą w równowadze:

$$Q - Q_c - F = 0 \quad (7)$$

$$Q = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g \quad (8)$$

$$Q_c = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_c g \quad (9)$$

Gdzie ρ - gęstość kulki, ρ_c - gęstość cieczy.

Wyliczona z powyższych zależności prędkość opadania kulki wyniesie:

$$v = \frac{2}{9}gr^2(\rho - \rho_c)\frac{1}{\eta} \quad (10)$$

Jeśli potrafimy zmierzyć wartość prędkości, to lepkość wyznaczyć można z zależności:

$$\eta = \frac{2}{9}gr^2(\rho - \rho_c)\frac{1}{v} \quad (11)$$

Prędkość mierzy się przez pomiar czasu opadania kulki na znanym odcinku. W ten sposób mierzoną lepkość wyrazić można następującym wzorem:

$$\eta = t \cdot k \cdot (\rho - \rho_c) \quad (12)$$

Gdzie t - czas opadania kulki na określonym odcinku wiskozymetru, najczęściej 100 mm (s), k - stała określana przez producenta dla poszczególnych kulek na drodze doświadczalnej przy użyciu wzorcowych cieczy ($\text{mPa} \cdot \text{cm}^3/\text{g}$), ρ - gęstość kulki (g/cm^3), ρ_c - gęstość cieczy (g/cm^3).

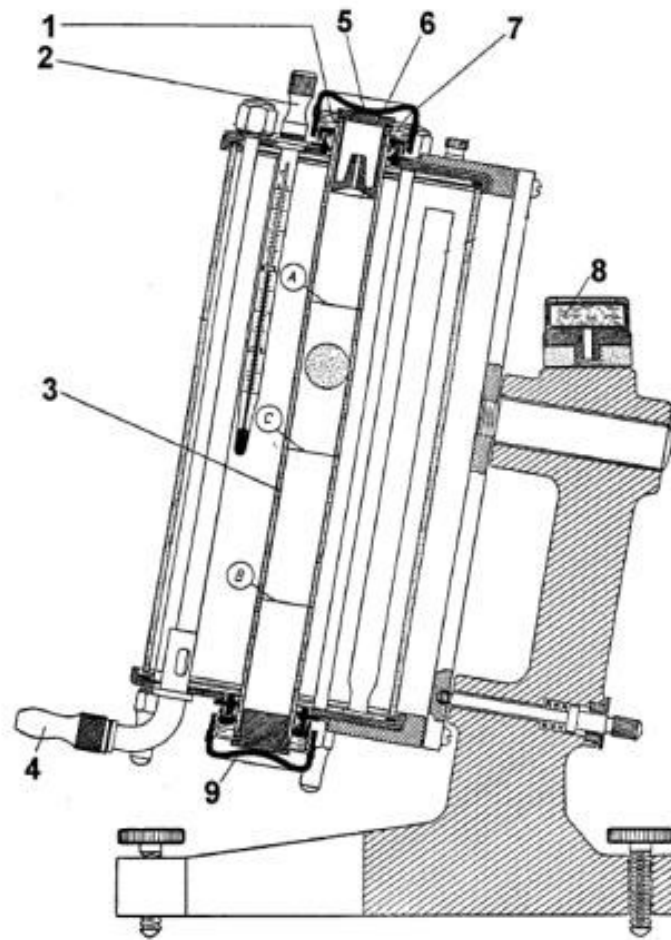
4.2. Budowa wiskozymetru Hopplera

Wiskozymetr umieszczony jest na podstawie ustawionej na trzech śrubach dla regulowania poziomu według poziomicy. Zamocowanie wiskozymetru do podstawy jest obrotowe i umożliwia usytuowanie go w pozycji pomiarowej (zabezpieczonej przez zatrzask) lub w pozycji odwrotnej - dla wrzucenia kulki lub w pozycji napełniania płaszczu wodnego.

Rura opadowa, gdzie wlewa się badaną ciecz, aby mierzyć prędkość opadania w niej kulki jest odchylona pod kątem 10° od pionu dla dokładniejszej obserwacji kulki w cieczach nieprzeźroczystych. Rura opadowa zabezpieczona jest przed wylewaniem się cieczy przy pomocy dwóch korków: dolnego i górnego, uszczelek i osłon metalowych. Korek górny posiada kapilarny otwór, który ma za zadanie odpowietrzenie rury opadowej w czasie pomiaru (nakrętka metalowa zamka powinna być wtedy zlurowana).

W płaszczu wodnym otaczającym rurę opadową znajdują się dwa króćce, które mogą być wykorzystane do przepływu czynnika stabilizującego temperaturę, do napełniania i opróżniania płaszczu z wody, do podłączenia (krótszy króciec) pompki powietrznej, gdy stabilizacja temperatury odbywa się przy pomocy grzejnika umieszczonego wewnątrz płaszczu.

W tym ostatnim przypadku regulacja temperatury odbywa się przez okresowe włączanie i wyłączenie ogrzewania przy równoczesnym mieszaniu cieczy pompą powietrzną. Temperatura kąpieli jest kontrolowana na termometrze, którego sposób zamocowania w płaszczu gwarantuje szczelność naczynia.



Rys. 3. Lepkościomierz Hopplera: 1 - uszczelka, 2 - termometr, 3 - rurka pomiarowa, 4 - króciec cieczy termostatującej, 5 - nakrętka, 6 - górny element rurki pomiarowej, 7 - pierścień, 8 - poziomica, 9 - dolny element rurki pomiarowej [2]

Ponadto płaszcz wodny zaopatrzonej jest w otworek odpowietrzający, który w czasie obracania przyrządu do pozycji odwrotnej zabezpiecza się specjalną śrubą i uszczelką. W czasie podgrzewania i mieszania cieczy odpowietrzenie powinno być czynne.

Ustalenie temperatury cieczy mierzonej uzyskuje się przez utrzymanie na żądanym poziomie temperatury cieczy w płaszczu przez ok. 10-15 minut.

Do wiskozymetru dołączony jest komplet 6 kulek, z których każda posiada inną gęstość i inną stałą.

Po identyfikacji tych kulek służy pierścień metalowy. Kulka nr 1 nie przechodzi przez otwór pierścienia, natomiast kolejne kulki przechodzą z coraz większym luzem. Dane kulek zestawiono w Tab. 1.

Tab. 1. Dane kulek do wiskozymetru Hopplera

Nr kulki	Średnica (mm)	Masa (g)	Gęstość (g/cm ³)	Współczynnik k (mPa·cm ³ /g)
1	15,817	4,610	2,2252	0,00980
2	15,609	4,426	2,2230	0,09999
3	15,562	16,004	8,1306	0,1392
4	15,206	14,190	7,7081	0,6795
5	14,004	11,018	7,6623	6,7525
6	11,004	5,430	7,7828	34,985

4.3. Przeprowadzenie pomiaru

Przed przystąpieniem do pomiaru należy dokładnie oczyścić i osuszyć kulki oraz wnętrze przyrządu. Szczególnie czułe na zanieczyszczenia mechaniczne są kulki szklane.

Po zestawieniu przyrządu zgodnie z rysunkiem przystępuje się do napełniania płaszcza cieczą termostatyczną (woda, gliceryna lub alkohol, zależnie od wymaganej temperatury). Napełniać można przez otwór termometru lub w pozycji odwrotnej przez krótszy króciec odpływowy. Następnie podłącza się odłączone dla napełniania płaszcza elementy (termometr lub pompkę powietrzną). Napełnianie rury odbywa się w pozycji odwrotnej cieczą podgrzaną do temperatury ok. 10°C wyższej od temperatury pomiaru. Rurę napełnia się początkowo ok. 25 mm poniżej kreski, następnie ostrożnie przy pomocy pincety wrzuca się kulkę (dobór kulki odbywa się na drodze prób lub przy znanym rodzaju cieczy według zaleceń producenta wiskozymetru), a gdy znajdzie się ona na dnie rury wciska się ją w górny korek przy pomocy szklanej półeczki. W ten sposób usunięte zostaną spod kulki szkodliwe przy pomiarze pęcherze powietrza, a sama kulka będzie spoczywała w wycięciu korka aż do momentu rozpoczęcia pomiaru.

Następnie rurę napełnia się cieczą i zakręca korki.

Kompletnie zestawiony i napełniony przyrząd ustawia się w pozycji pomiarowej i rozpoczyna się podgrzewanie do żądanej temperatury. Osiągnięcie wymaganej temperatury uzyskuje się przez równoczesne mieszanie oraz włączanie i wyłączanie grzejnika.

W czasie podgrzewania śruba odpowietrzająca powinna być wykręcona. Po uzyskaniu w płaszczu żądanej temperatury utrzymuje się ją przez ok. 10-15 minut

dla ustalenia temperatury cieczy w rurze. Po tym czasie można rozpocząć pomiar.

Przygotowuje się sekundomierz i wprowadza kulkę w ruch przez zluźnienie zamka górnego tak, by otwór kapilary korka uzyskał kontakt z otoczeniem.

Gdy kulka zacznie opadać należy obserwować jej ruch na jasnym oświetlonym tle przytrzymując na linii kreski z tyłu rury czarny kartonik (nieco powyżej przy kulkach szklanych, nieco poniżej metalowych). W momencie przechodzenia jej dolnej krawędzi przez obserwowaną granicę puszcza się w ruch sekundomierz. Zatrzymanie sekundomierza następuje w momencie przechodzenia dolnej krawędzi kuli przez kreskę dolną odcinka pomiarowego.

Pomiar taki powinien być przeprowadzony co najmniej trzykrotnie, a do wyliczeń należy brać średnią arytmetyczną z czasów opadania.

4.4. Wyznaczenie lepkości dynamicznej

Na podstawie wykonanych wcześniej pomiarów lepkość dynamiczną oblicza się następująco:

$$\eta = t \cdot k \cdot F \cdot (\rho - \rho_c) \quad (13)$$

Gdzie t - czas opadania kulki (s), k - stała określana przez producenta dla poszczególnych kulek na drodze doświadczalnej przy użyciu wzorcowych cieczy ($\text{mPa} \cdot \text{cm}^3/\text{g}$), F - stała kątowna (-), ρ - gęstość kulki (g/cm^3), ρ_c - gęstość cieczy (g/cm^3).

V. Zakres ćwiczenia

W ramach ćwiczenia należy:

- Określić lepkość wskazanego oleju za pomocą wiskozymetru Hopplera w temperaturach określonej przez prowadzącego.
- Określić charakterystykę oleju $\eta(T)$, dokonując pomiaru lepkości wiskozymetrem Englera według punktu 3 dla temperatur określonych przez prowadzącego.

VI. Sprawozdanie

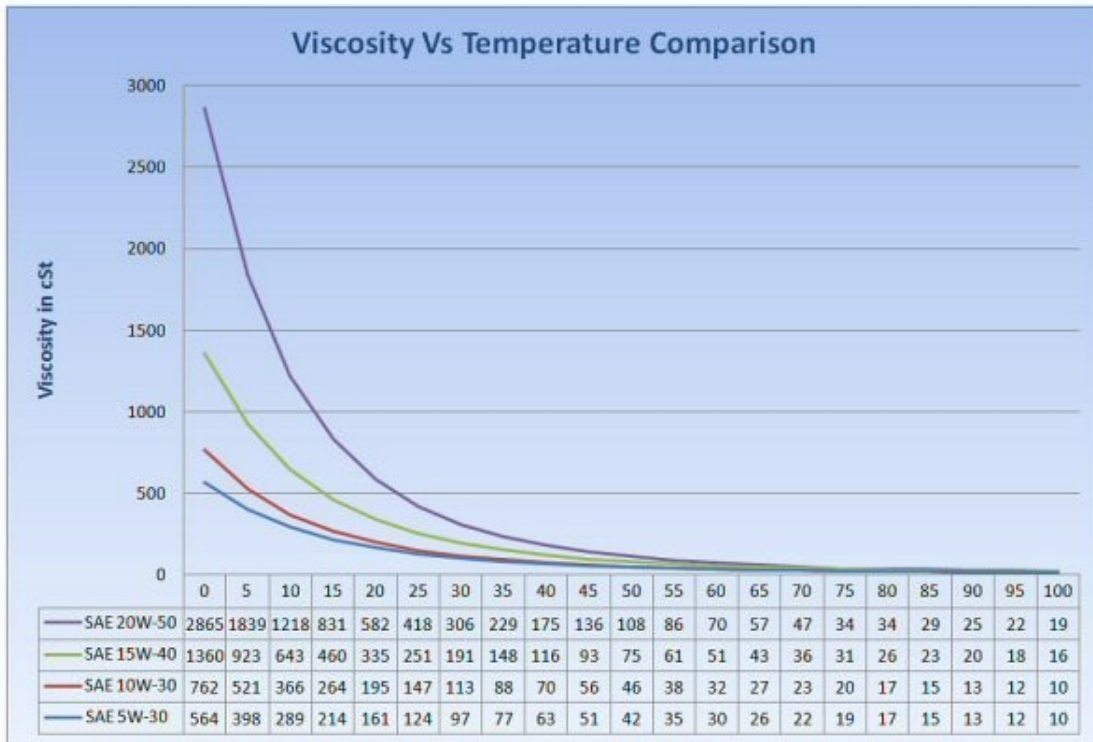
Sprawozdanie powinno zawierać krótki opis przeprowadzonego ćwiczenia, tabelaryczne zestawienie uzyskanych wyników pomiaru lepkości, a także wykres zależności $\eta(T)$.

VII. Oleje przekładniowe

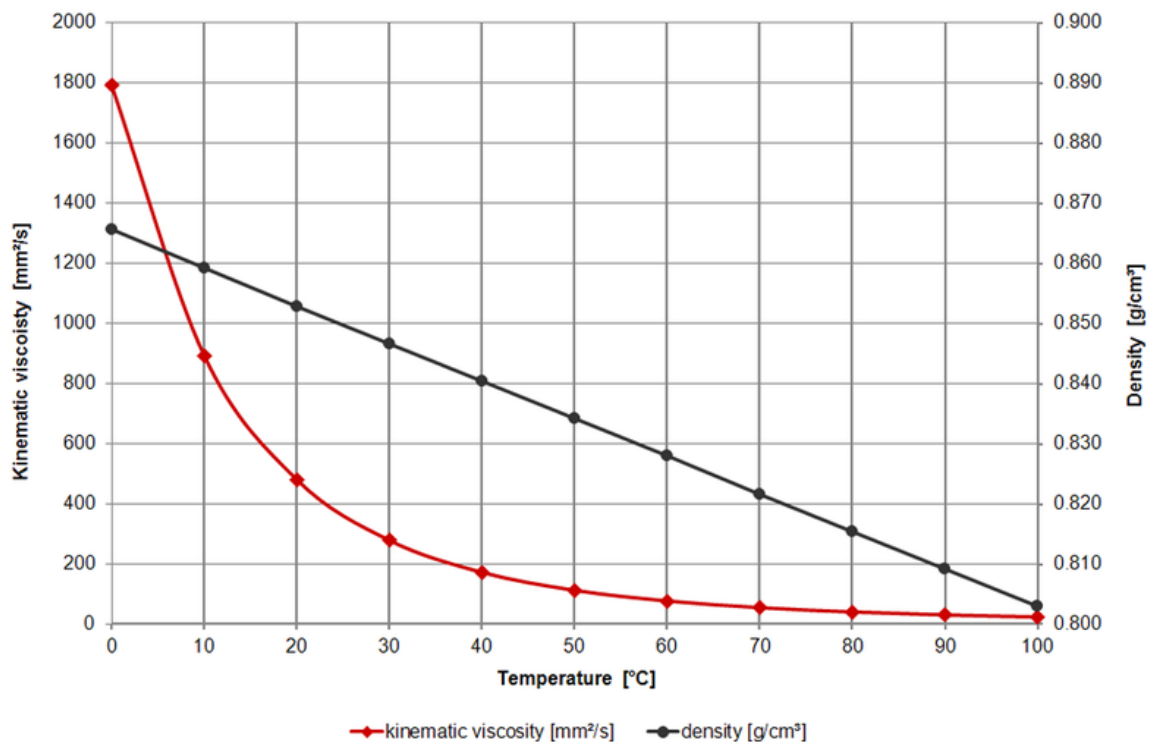
Stopień lepkości olejów przekładniowych określony jest w standardzie lepkościowym J 306 opracowanym przez SAE. Amerykański standard jakościowy określony przez API rozróżnia 6 klas olejów przekładniowych.

Tab. 2. Lepkości olejów przekładniowych określona przez SAE [3]

Klasa SAE	Minimalna lepkość w temperaturze 100°C (cSt)	Maksymalna lepkość w temperaturze 100°C (cSt)
70W	4,1	-
75W	4,1	-
80W	7	-
85W	11	-
80	7	<11,0
85	11	<13,5
90	13,5	<18,5
110	18,5	<24,0
140	24	<32,5
190	32,5	<41,0
250	41	-



Rys. 4. Lepkość kinematyczna w funkcji temperatury dla różnych olejów przekładniowych [3]



Rys. 5. Gęstość i lepkość kinematyczna w funkcji temperatury dla oleju przekładniowego SAE 75W-140 [4]

VIII. Bibliografia

- [1] <http://www.tribologia.eu/ptt/try/tr06.htm>
- [2] Mioduska J., Aranowski R., *Chemia Węglowodorów, Laboratorium - Instrukcja do ćwiczeń*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2014.
- [3] http://www.kewengineering.co.uk/Auto_oils/oil_viscosity_explained.htm
- [4] <http://www.viscopedia.com/viscosity-tables/substances/gear-oil/>
- [5] <https://commercial.lubrizoladditives360.com/sae-j306-explained/>
- [6] <https://forumsmarowe.pl/oznaczenia-olejow/>

