

Instrukcja ćwiczenia nr 15

Temat: Regulacja lepkości paliwa

1. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest poznanie zasad budowy układów automatyki lepkości paliwa na statkach, metodami pomiaru lepkości oraz poznanie budowy czujników lepkości paliwa z zastosowaniem do układów regulacji automatycznej

2. Wprowadzenie:

Lepkość, tarcie wewnętrzne lub wiskoza jest właściwością płynów, cieczy i gazów charakteryzującą ich wewnętrzny opór przeciw płynięciu. Ponieważ jest to właściwość ujawniająca się przy ruchu (przepływie) płynów, mówi się także o niej jako o wewnętrznym tarciu płynu powstającym na skutek oddziaływania międzycząsteczkowego.

Najłatwiej opisać lepkość dla laminarnego modelu przepływu. Przepływ laminarny to przepływ zachodzący przy małych prędkościach w postaci warstw nie mieszających się ze sobą. Lepkość płynu charakteryzuje jego zdolność do przekazywania pędu pomiędzy sąsiadującymi ze sobą warstwami, poruszającymi się z różnymi prędkościami. Zjawisko to zachodzi dzięki pojawieniu się na granicy dwóch warstw naprężeń ścinających. Zakładając hipotetycznie, że siła wprawiająca płyn w ruch została przyłożona tylko do jednej, konkretnej warstwy, lepkość objawi się w ten sposób, że sąsiadująca warstwa zacznie się także poruszać, jednak z mniejszą prędkością. Ta warstwa "pociągnie" za sobą następną i tak dalej, aż do ostatniej warstwy nieruchomej i stykającej się ze ścianką. Można w tym momencie wprowadzić pojęcia związane z definicją lepkości. Pierwsze z nich to "naprężenie ścinające" opisywane jako siła działająca stycznie do granicy dwóch warstw, przypadająca na jednostkę powierzchni tych warstw. Drugie to "szybkość ścinania", określana jako różnica prędkości dwóch warstw podzielona przez odległość tych warstw. Zależność pomiędzy naprężeniem ścinającym, szybkością ścinania, a lepkością płynu opisuje tzw. prawo Newtona:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma}$$

gdzie:

τ - naprężenie ścinające

μ – lepkość dynamiczna

γ - szybkość ścinania

Tak zdefiniowana lepkość jest nazywana **lepkością absolutną**, bądź **lepkością dynamiczną**. Jej jednostką w układzie SI jest [Pa·s]:

$$[\mu] = Pa \cdot s = \frac{kg}{m \cdot s}$$

Często używany jest puaz [P] lub centypuaz [cP] - jednostka z układu CGS.

$$1 P = 1 \frac{dyn \cdot s}{cm^2} = 1 g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$$

$$1 cP = 10^{-2} P$$

$$1 Pa \cdot s = 10 P$$

Drugą miarą lepkości jest tzw. **lepkość kinematyczna**. Jest to wielkość będąca ilorazem lepkości dynamicznej i gęstości płynu, a stosowanymi jednostkami są [m²/s] w układzie SI oraz centystokes [cSt] w układzie CGS.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

gdzie:

ν - lepkość kinematyczna

μ - lepkość dynamiczna

ρ - gęstość płynu

Lepkość kinematyczną w układzie SI wyraża się w [m²·s⁻¹]. W układzie CGS jednostką lepkości kinematycznej jest stokes:

$$1 St = 1 cm^2 \cdot s^{-1} = 10^{-4} m^2 \cdot s^{-1}$$

$$1 cSt = 10^{-2} St$$

W okrętownictwie często stosuje się stopnie Englera [°E]. Jest to jednostka lepkości względnej cieczy. Lepkość w °E określa się wyznaczając stosunek czasu wypływu przez kapilarę ze znormalizowanego naczynia 200 cm³ badanej cieczy (w temp. pomiaru) do czasu wypływu z tego samego naczynia 200 cm³ wody destylowanej (o temp. 20°C).

Znając lepkość cieczy w stopniach Englera, można określić kinematyczny współczynnik lepkości (ν w St) ze wzoru doświadczalnego:

$$\nu = 0.0731 \cdot ^\circ E - \frac{0.0631}{^\circ E}$$

Przykładowo:

$$3^\circ E = 20 cSt$$

Dla konkretnego płynu lepkość ma określoną wartość w ustalonych warunkach tzn. w ustalonej temperaturze i przy ustalonym ciśnieniu. Lepkość płynu ulega zmianie wraz ze zmieniającymi się warunkami pomiaru.

W przypadku zmiany temperatury lepkość cieczy maleje wraz ze wzrostem temperatury, natomiast lepkość gazów rośnie. Różne zachowania obu mediów wynikają ze sposobu przekazywania pędu pomiędzy warstwami. W przypadku cieczy odległości między cząsteczkami są mniejsze, a ich wzajemne oddziaływanie silniejsze. Przekazywanie pędu pomiędzy warstwami odbywa się głównie poprzez oddziaływanie międzycząsteczkowe. Ze wzrostem temperatury maleje oddziaływanie między cząsteczkami, a co za tym idzie, maleje lepkość. Z kolei dla gazów przenoszenie pędu między warstwami odbywa się głównie poprzez zderzenia międzycząsteczkowe. Ze wzrostem temperatury rośnie ilość zderzeń, a zatem rośnie też lepkość.

Zmiany ciśnienia oddziałują na wszystkie płyny tak samo: wraz ze wzrostem ciśnienia lepkość cieczy i gazów rośnie.

Współczynniki lepkości wybranych substancji:

- Woda (0 °C) $1,79 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$
- Woda (25 °C) $0,89 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$
- Woda (100 °C) $0,28 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$
- Gliceryna (25 °C) $934 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$
- Alkohol etylowy (25 °C) $1,07 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$
- Rtęć (20 °C) $1,554 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$
- Fenol (20 °C) $11,6 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$

- Smoła (20 °C) $\approx 107\,000 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Krew (37 °C) $\approx 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Powietrze (0 °C) $17,08 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Wodór (0 °C) $8,35 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
- Wodór (827 °C) $21,37 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

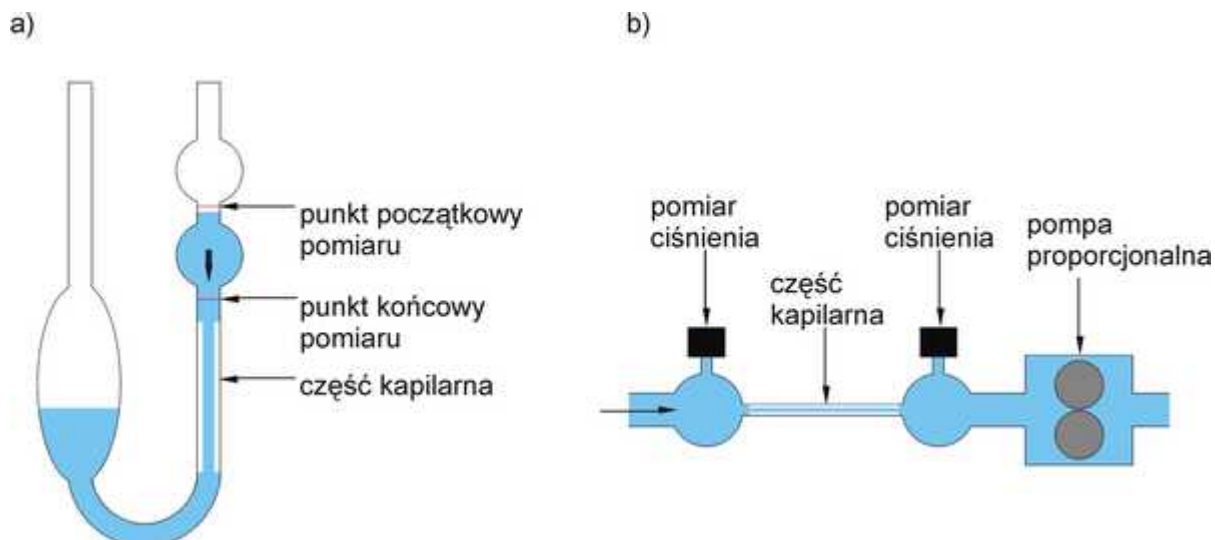
Metody pomiaru lepkości:

- **wypływowe**, działające na zasadzie pomiaru czasu laminarnego wypływu cieczy lepkiej z pojemnika o określonej objętości przez pionową rurkę włoskowatą i porównanie tego czasu z czasem wypływu tej samej objętości wody destylowanej (lepkościomierz Englera, rys.1 . Zmierzony czas opróżniania pozwala odczytać lepkość próbki w tablicach opracowanych przez producenta. Zaletą metody jest jej prostota i brak skomplikowanego oprzyrządowania. Wadą jest możliwość wykorzystania metody tylko w laboratorium, niedokładność i subiektywność a także błędy wprowadzane przez zmiany temperatury.



Rys. 1. Wiskozymetr Englera

- **kapilarne**, wiskozymetr kapilarny to w najprostszym przypadku to U-rurka szklana, rys.2, która w jednym z ramion posiada przewężenie o określonej długości (kapilarę) oraz umieszczony powyżej zbiorniczek o znanej objętości. Próbka płynu jest zasysana do zbiorniczka, a następnie mierzy się czas, w którym określona objętość płynu przepłynie ze zbiorniczka przez kapilarę. Lepkość kinematyczna próbki jest wyliczana w oparciu o równania charakterystyczne dla danej kapilary oraz zmierzony czas. Dla uniknięcia wpływu temperatury na wyznaczaną lepkość, U-rurkę zanurza się w kąpeli o stałej temperaturze. Podobnie jak poprzednia metoda, również ta jest stosowana tylko w laboratorium. Uciążliwe i czasochłonne jest czyszczenie układu, mierzyć można tylko czyste ciecze, a próbka musi mieć stosunkowo dużą objętość.



Rys. 2. Budowa lepkościomierza kapilarnego: a) klasyczna, b) automatyczna

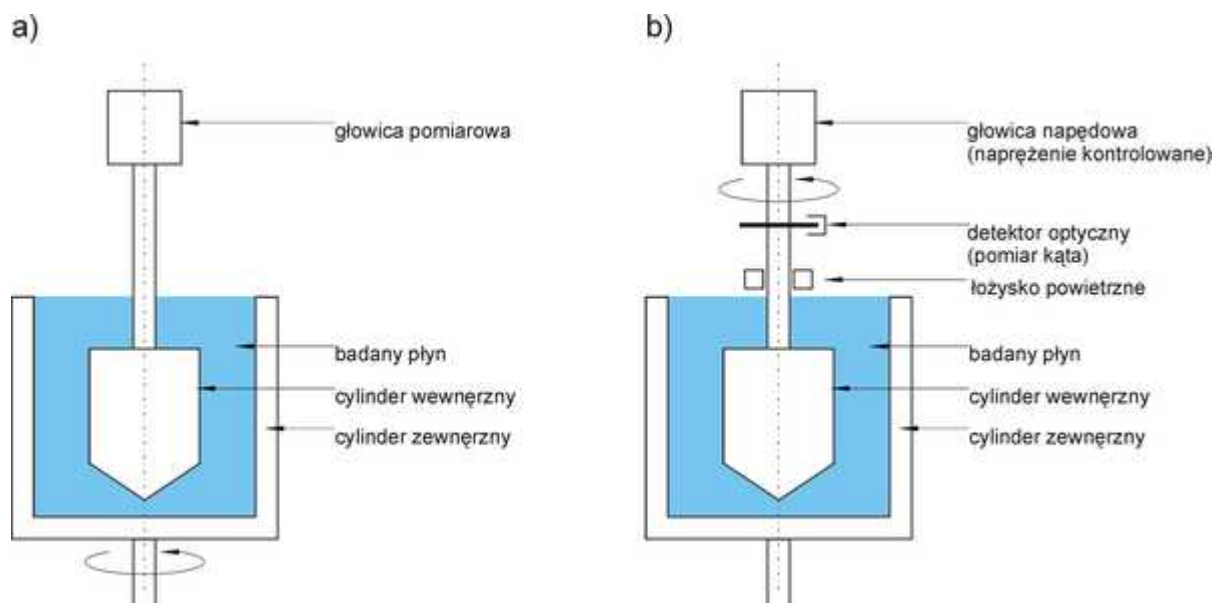
W wykonaniu przemysłowym zasada działania wiskozymetru jest oparta na pomiarze spadku ciśnienia na określonej długości przewodu o znanej średnicy i znanym laminarnym przepływie. Wartość tego spadku ciśnienia zależy (zgodnie z zależnością podaną przez Poiseuille'a) od lepkości płynu.

kulkowe, w których zasadniczym elementem jest szklany cylinder wypełniony badanym płynem, rys. 3. Cylinder stoi pionowo lub jest odchylony od pionu o określony kąt. Podstawą do wyznaczenia lepkości jest zmierzony czas, w którym kulka wrzucona do cylindra przebywa wyznaczoną drogę (opadając lub tocząc się po wewnętrznej powierzchni cylindra). Na podstawie równań określonych przez producenta wylicza się lepkość absolutną. Wadami tej metody są uzależnienie wyniku od operatora, wrażliwość na wibracje, czasochłonna obsługa i czyszczenie a także problem z pomiarami cieczy niebezpiecznych.



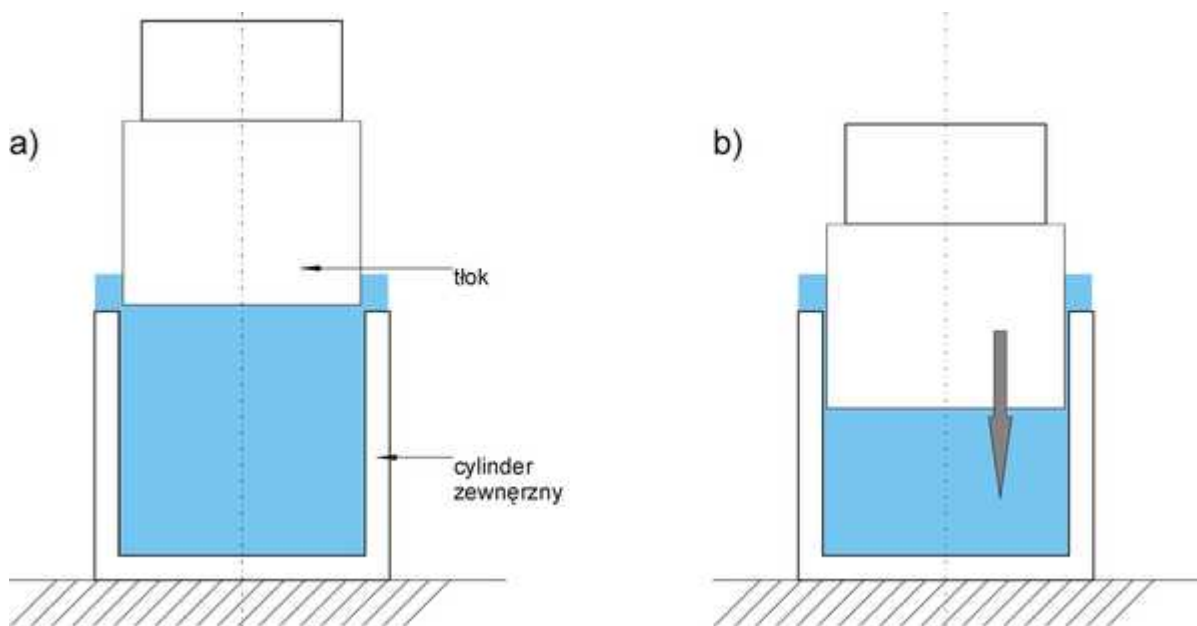
Rys. 3. Wiskozymetr Höpplera

- **rotacyjne**, działające na zasadzie pomiaru momentu oporu występującego przy obrocie jednego z dwóch współosiowych cylindrów, między którymi znajduje się warstwa cieczy lepkiej (lepkościomierz Couette'a, Hatscheka), bądź między obracającym się stożkiem a płaszczyzną, rys. 4. Mierząc wartość siły oporu cieczy znajdującej się w szczelinie między tymi cylindrami albo stożkiem i płaszczyzną, określa się wartość współczynnika lepkości. Urządzenie składa się z cylindra, którego prędkość obrotową można zadać, oraz nieruchomego walca umieszczonego wewnątrz cylindra. Czujnik siły na cylindrze pozwala mierzyć moment skręcający wywierany przez płyn - próbkę. Moment skręcający określa naprężenie ścinające, natomiast prędkość obrotowa cylindra - prędkość ścinania. Obie wartości pozwalają określić lepkość absolutną. Zaletą urządzeń tego typu jest możliwość pomiarów dla wielu płynów od asfaltu po farmaceutyki. Do wad zalicza się skomplikowaną obsługę, konieczność rekalkibracji oraz dużą objętość próbki niezbędną do pomiaru.



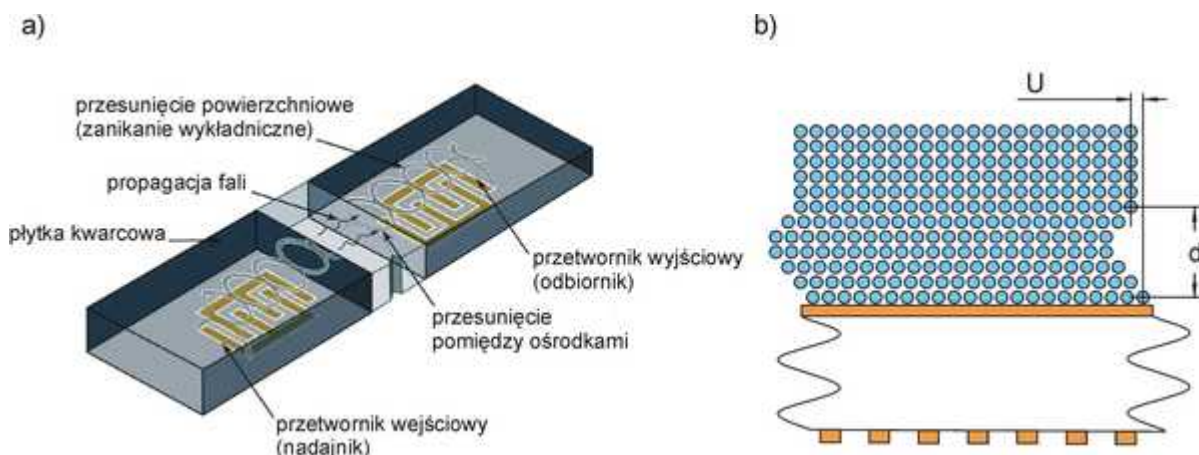
Rys. 4. Budowa lepkościomierza rotacyjnego, a) o regulowanej prędkości ścinania, b) naprężeniowy

- **łokowe**, w wiskozymetrach łokowych elementem ruchomym jest tłok, który pod wpływem stałej siły przesuwają się w próbce badanego płynu, rys. 5. Próbkę umieszczoną jest w cylindrze, a wielkością mierzoną jest czas, jaki jest potrzebny, aby tłok przebył w płynie wyznaczoną drogę. Im większa lepkość próbki, tym dłużej trwa ruch tłoka. Dla uzyskania dokładnych wyników pomiaru, próbka jest utrzymywana w stałej temperaturze. Zaletą rozwiązania jest zapewnienie przez cały czas dopływu świeżej próbki, samoczyszczenie przestrzeni pomiarowej oraz możliwość wykorzystania w pomiarach przemysłowych. Słabością jest wrażliwość na duże zanieczyszczenia oraz problem z pomiarami płynów bardzo lepkich.



Rys. 5. Zasada działania lepkościomierza tłokowego: a) faza napełniania cylindra zewnętrznego, tłok podniesiony, b) faza pomiaru, opuszczanie tłoka

- **akustyczne**, należące do nowej rodziny sensorów wykorzystujących technologię półprzewodnikową, rys. 6. Ich sposób działania polega na badaniu propagacji, odbicia i rozproszenia fali akustycznej w badanym płynie. Lepkościomierze akustyczne przewyższają wiele ograniczeń wcześniej wymienionych sposobów pomiaru lepkości i wprowadzają nowe możliwości pomiarowe. Charakteryzują się one bardzo małymi rozmiarami. Jest to charakterystyczne i stosowane podczas pomiaru lepkości oleju w silnikach samochodowych lub podczas pomiarów lepkości krwi w urządzeniach medycznych. Obecnie metoda ta jest sprawdzana w innych zastosowaniach przemysłowych, gdyż pozwala na znaczną redukcję kosztów wytworzenia przetwornika pomiarowego i jego implementacji.



Rys. 6. Zasada działania wiskozymetru akustycznego,
a) układ pomiarowy,
b) graficzna reprezentacja wielkości wykorzystywanych do określenia lepkości.

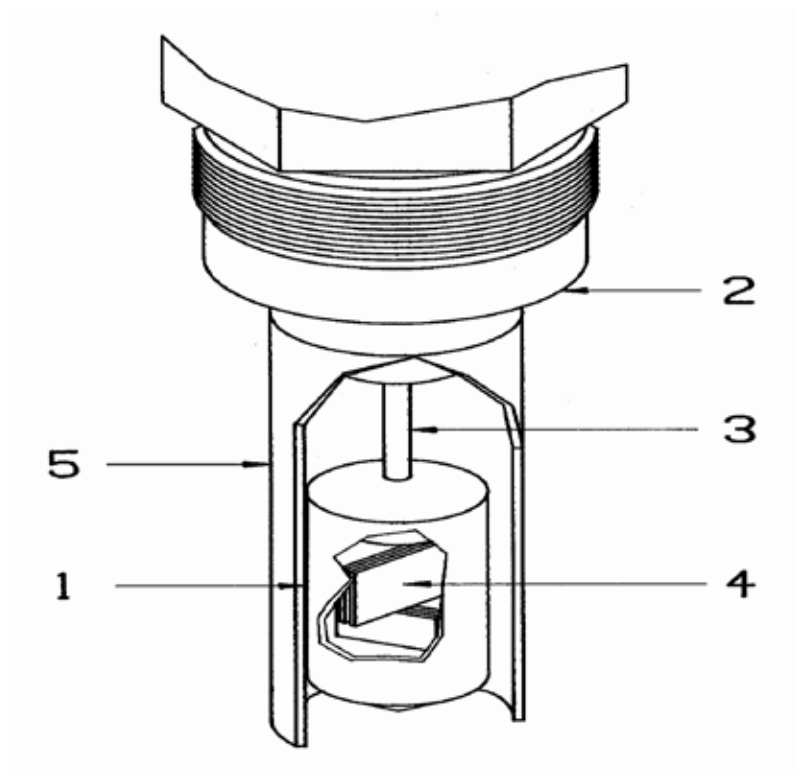
- **wibracyjne**, gdzie zasadniczym elementem tego typu wiskozymetrów jest element wibrujący zanurzany w badanym płynie. Urządzenie utrzymuje stałą częstotliwość rezonansową elementu wibrującego, a amplituda drgań zmienia się wraz ze zmianami lepkości. Stopień tłumienia drgań pozwala określić lepkość absolutną próbki. Zaletą urządzenia jest możliwość stosowania w warunkach przemysłowych, dla cieczy o dużej lepkości oraz cieczy zanieczyszczonych. Wadą jest wrażliwość na uszkodzenia mechaniczne oraz duży zakres pomiarowy, co powoduje małą dokładność przy pomiarach cieczy o niskiej lepkości. Wiskozymetry wibracyjne stosowane są w procesach przemysłowych – szczególnie w przemyśle petrochemicznym. Urządzenia tego typu pozwalają na pomiar lepkości zabrudzonych płynów oraz płynów o wysokiej lepkości (do 1McP). Obecnie w wielu zastosowaniach przemysłowych lepkościomierze tego typu są uważane za najefektywniejsze systemy do pomiaru lepkości każdego rodzaju płynu.

Wiskozymetry wibracyjne można kategoryzować na różne sposoby. Po pierwsze istnieje kilka ich podstawowych typów różniących się między sobą pomiarowym elementem oscylującym. W przypadku gdy jest to tzw. końcówka sferyczna, czyli sfera ze stali nierdzewnej oscylująca wokół osi biegunowej z precyzyjnie kontrolowaną amplitudą, lepkość wyznacza się przez pomiar mocy wymaganej do utrzymania stałej i określonej amplitudy oscylacji. Im wyższa lepkość, tym wyższy pobór mocy. Pomimo prostoty działania, wiskozymetr z końcówką sferyczną pozwala tylko na wyznaczenie lepkości dynamicznej.

W przypadku zanurzonej w płynie końcówki w kształcie pręta dynamiczna lepkość mierzona jest poprzez **badanie tłumienia rezonatora**. Jest on wzbudzony do swojej naturalnej częstotliwości poprzez wibracje skręcające. Źródło o stałej mocy wywołuje wibracje pręta, natomiast zmiany amplitudy są mierzone celu określenia lepkości. Podobnie jak w przypadku końcówki sferycznej, stosowanie pręta pozwala tylko na pomiar lepkości dynamicznej. Ponadto, w przypadku płynów o wysokiej lepkości, metoda ta może być podatna na zakłócenia.

Lepkościomierz firmy VAF Instruments

Metoda pomiaru oparta jest na wzbudzaniu drgań wahadła w cieczy mierzonej, rys.7. Sensor składa się z wahadła 1 połączonego z podstawą 2 poprzez rurkę skrętną 3. Dwa zestawy elementów piezoelektrycznych 4 umieszczone są wewnątrz wahadła. Jeden zestaw napędza wahadło, natomiast drugi zestaw odpowiada za pomiar rzeczywistego ruchu wahadła jako sprzężenie zwrotne. W ten sposób wahadło jest utrzymywane w ruchu wibracyjnym o częstotliwości rezonansowej. Pomiar różnicy faz pomiędzy dwoma sygnałami częstotliwościowymi wymuszenia i odpowiedzi przynosi wartość tłumienia, która jest proporcjonalna do pierwiastka z lepkości mierzonej cieczy. Osłona 5 jest umieszczona wokół wahadła, aby chronić ją przed uszkodzeniami mechanicznymi.



Rys. 7, czujnik lepkości EVT-20 firmy VAF Instruments. Budowa: 1-wachadło, 2-zamocowanie, 3- wahadło, 4- dwa komplety piezoelektryczne, 5-rurka skrętna

Przedstawiony czujnik lepkości jest stosowany przez firmę Alfa Laval do pomiaru lepkości paliw ciężkich na statkach handlowych.

Dane techniczne

Lepkość : 0 .. 50 mPa·s

Temperatura: 0 .. 200 °C

Pomiar Temperatury: PT 100 element

Czas odpowiedzi : mniej niż 1 minuta

Dokładność : 0.1 mPa·s

Temperatura paliwa : max. 180 °C

Material wykonania : stal nierdzewna 316

Zamocowanie : gwintowe M40 x 1,5

Klasa ochrony : IP 65

Długość połączenia : 5 m

Zasilanie : 17 VAC, 50/60 Hz

Zużycie energii : 17...25 Watt

Wyjście

Wiskoza : 4...20 mA, maximal load 400 Ohm

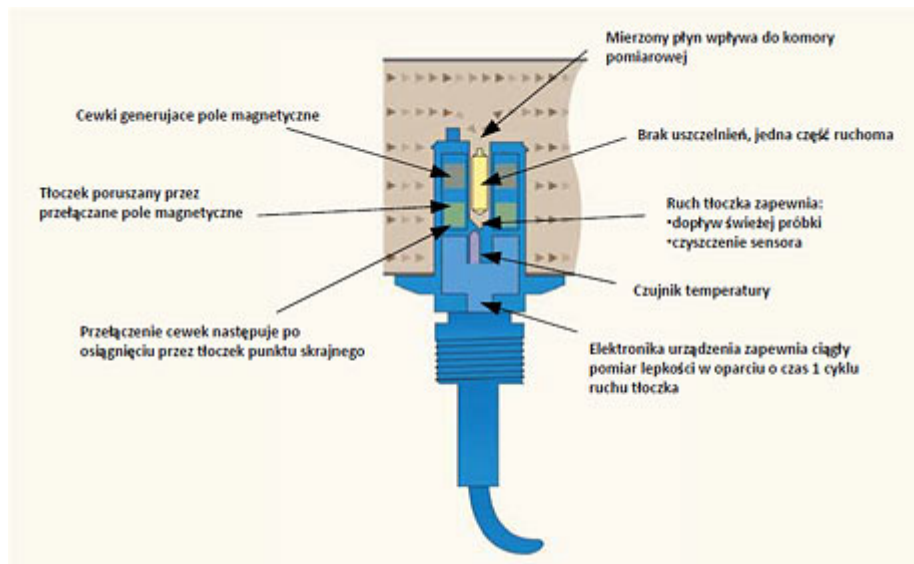
Temperatura : 4...20 mA, maximal load 400 Ohm

Temperatura otoczenia : -20... + 55 °C

Wilgotność : 0-95%

Lepkościomierz firmy CAMBRIDGE VISCOSITY.

Metoda pomiaru wykorzystywana przez firmę Cambridge Viscosity, rys. 8, w urządzeniach jest odmianą metody tłokowej. Komora pomiarowa jest wypełniona próbką mierzonego płynu. Wewnątrz komory umieszczony jest tłoczek wykonany z materiału ferromagnetycznego.



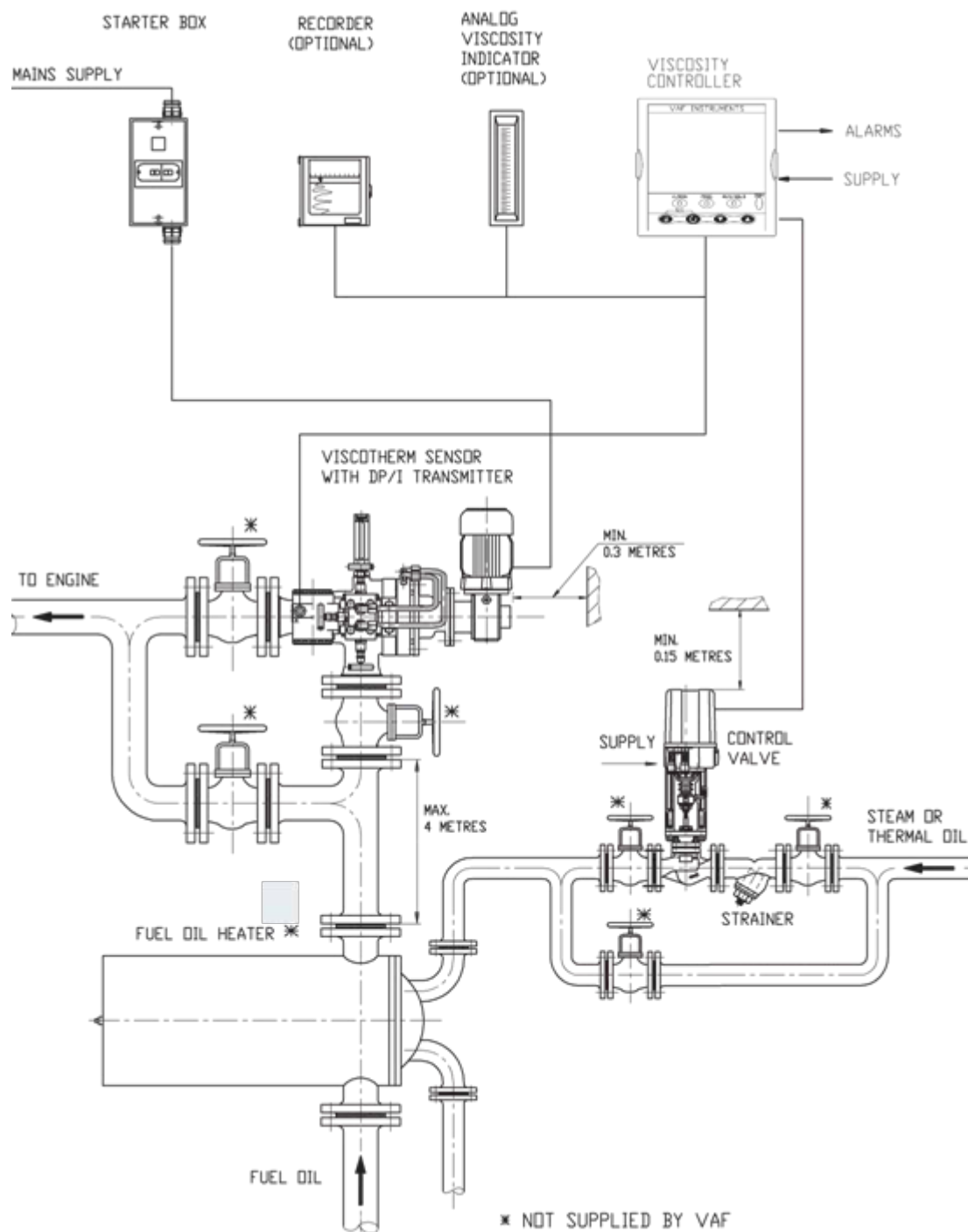
Rys. 8. Budowa lepkościomierza tłokowego ViscoPro 1600 firmy Cambridge Viscosity.

Wokół przeciwnych końców komory pomiarowej umieszczone są cewki elektromagnesów wytwarzające pole magnetyczne i wprawiające w ruch tłoczek. Pola magnetyczne wytwarzane przez cewki zmieniają się w taki sposób, że tłoczek wykonuje ruch oscylacyjny wewnątrz komory pomiarowej. Miarą lepkości mierzonego płynu jest czas potrzebny na wykonanie przez tłoczek jednego, pełnego cyklu ruchu, czyli dwukrotne przemieszczenie się wewnątrz komory. Im lepkość płynu jest większa, tym dłuższy czas jest potrzebny na przemieszczenie się tłoczka. Można zauważyć, że dzięki takiemu podejściu znoszą się wszelkie czynniki mogące zafałszowywać wyniki pomiaru (np. siła grawitacji działająca na tłoczek). Lepkość płynu jest zależna od jego temperatury. Utrzymywanie próbki w stałej temperaturze byłoby skomplikowane. Zamiast tego sensory CV wyposażono w czujniki temperatury, które na bieżąco kontrolują temperaturę mierzonego medium. Dzięki temu istnieje możliwość przeliczania lepkości aktualnej na lepkość w warunkach odniesienia TCV (Temperature Compensated Viscosity).

Okrętowe instalacje regulacji lepkości paliwa

Większość współcześnie używanych paliw w silowniach okrętowych to paliwa ciężkie, charakteryzujące się między innymi dużą lepkością w temperaturach otoczenia. Nadanie paliwu żądanej lepkości, wymaganej np. ze względu na transport, pompowanie, prawidłowe oczyszczanie w wirówce lub rozpylenie, uzyskuje się przez odpowiednie jego podgrzanie. Do tego celu służą węzownice parowe, zainstalowane w zbiornikach oraz podgrzewacze.

Istotne znaczenie dla prawidłowej pracy silnika ma lepkość wtryskiwanego paliwa, którą reguluje się z bardzo dużą dokładnością. Do tego celu służy automatyczny układ regulacji lepkości paliwa za pomocą podgrzewacza parowego, rys. 9. W podgrzewaczu tym paliwo ciężkie podgrzewa się do temperatury około 125°C w zależności od lepkości nominalnej.

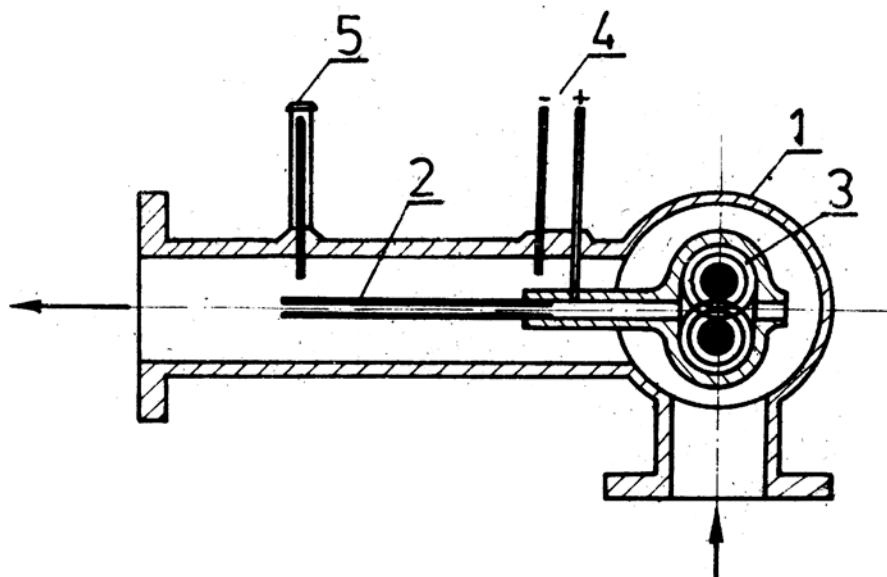


Rys. 9. Schemat instalacji regulacji lepkości paliwa.

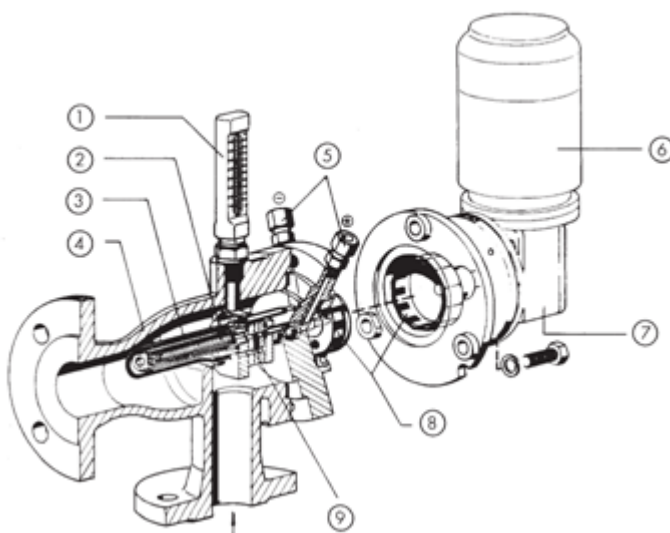
Regulację właściwej lepkości paliwa wtryskiwanego do silnika zapewnia wiskozymetr sterujący zaworem regulującym dopływ pary grzewczej do podgrzewacza paliwa.

Wiskozymetry stosowane w układzie regulacji lepkości paliwa ciężkiego działają na różnych zasadach. Rysunek 10 przedstawia zasadę działania wiskozymetru V-50EBX produkowanego przez TT Controls-Conoilow-VAF (Holandia). W obudowie 1 wiskozymetru zamontowana jest spiralnie zwinięta kapilara 2 eliminująca wpływ zmian ciśnienia tłoczonego paliwa i natężenia przepływu paliwa na dokładność wskazań przyrządu. Kapilara 2 wraz z zębatą pompą 3, napędzaną poprzez

przekładnię zębatą silnikiem elektrycznym, stanowią element pomiarowy wiskozymetru. Pompa zębata zapewnia stałe natężenie przepływu paliwa przez kapilarę. Ponieważ przepływ ten jest typu laminarnego, spadek ciśnienia na kapilarze jest wprost proporcjonalny do lepkości paliwa. Stanowi on sygnał sterujący otwarciem zaworu doprowadzającego parę do podgrzewacza paliwa.



Rys. 10. Zasada działania wiskozymetru z rurką kapilarną (TT Controls — Conoflow — VÅF) 1- obudowa; 2 - kapilara; 3 - pompa zębata; 4 - rurki pomiaru ciśnień; 5 -termometr.

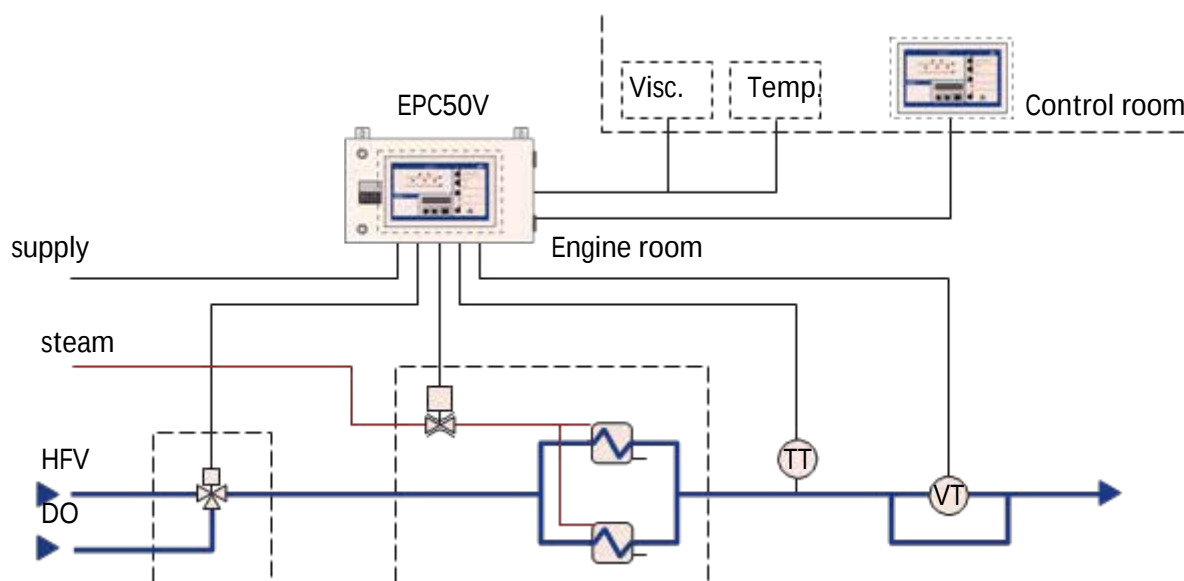


Rys. 11. Wiskozymetr z rurką kapilarną w przekroju rzeczywistym.



Rys. 12. Elementy automatyki regulacji lepkości paliwa. a) unowocześniona wersja wiskozymetru z rurką kapilarną i dołączonym przetwornikiem różnicy ciśnień na sygnał elektryczny, b) regulator elektroniczny, c) element wykonawczy – zawór parowy z elementem nastawczym

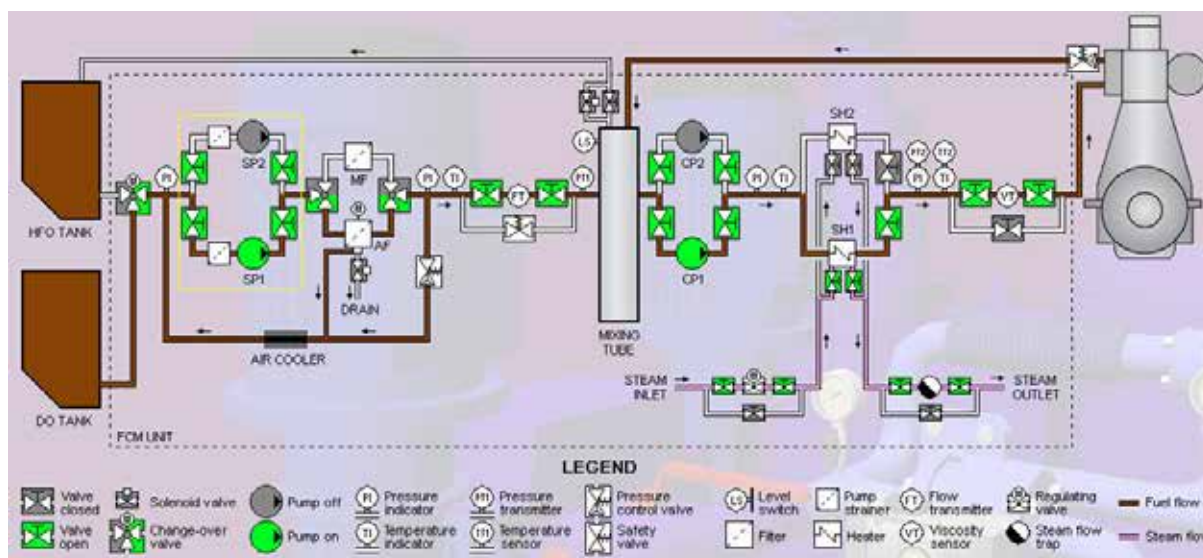
Przedstawione rozwiązanie wiskozymetru jest często spotykanym rozwiązaniem na statkach. Stosuje się również nowsze rozwiązania wiskozymetru wprowadzane przez firmę Alfa Laval, rys. 13, w których pomiar lepkości realizowany jest za pomocą umieszczonego w sondzie pomiarowej wibratora wytwarzającego drgania swobodne. Zmiana współczynnika tłumienia tych drgań jest proporcjonalna do pierwiastka ze współczynnika lepkości. Wielkość ta jest mierzona na drodze elektronicznej, a następnie przetwarzana w przetworniku elektropneumatycznym na sygnał pneumatyczny doprowadzany do pneumatycznego siłownika zaworu regulującego dopływ pary do podgrzewacza.



Rys. 13. Schemat układu regulacji lepkości paliwa firmy Alfa Laval ,Viscosief MKII system.

Stosowanie w silnikach paliw o podwyższonej lepkości stworzyło konieczność stosowania ciśnieniowych instalacji zasilania silników. Paliwa o dużych lepkościach wymagają wysokich temperatur podgrzewania przed silnikiem, osiągających wartość około 130°C. Konsekwencją tak wysokiego podgrzania paliwa jest występowanie pienienia się paliwa w rurociągu przelewów z pomp wtryskowych, jak również kawitacji po stronie ssącej pomp podających. Te zjawiska intensyfikuje obecność wody w paliwie oraz mała wysokość napływu paliwa do pomp podających, a więc niskie umieszczenie zbiorników rozchodowych. Pełne zabezpieczenie instalacji przed tymi niekorzystnymi zjawiskami uzyskuje się przez zastosowanie ciśnieniowej instalacji zasilania, której schemat przedstawia rysunek 14 z dodatkową pompą podającą niskiego ciśnienia, które są zasilane bezpośrednio ze zbiornika rozchodowego oleju ciężkiego, bądź też oleju napędowego. Zadaniem tych

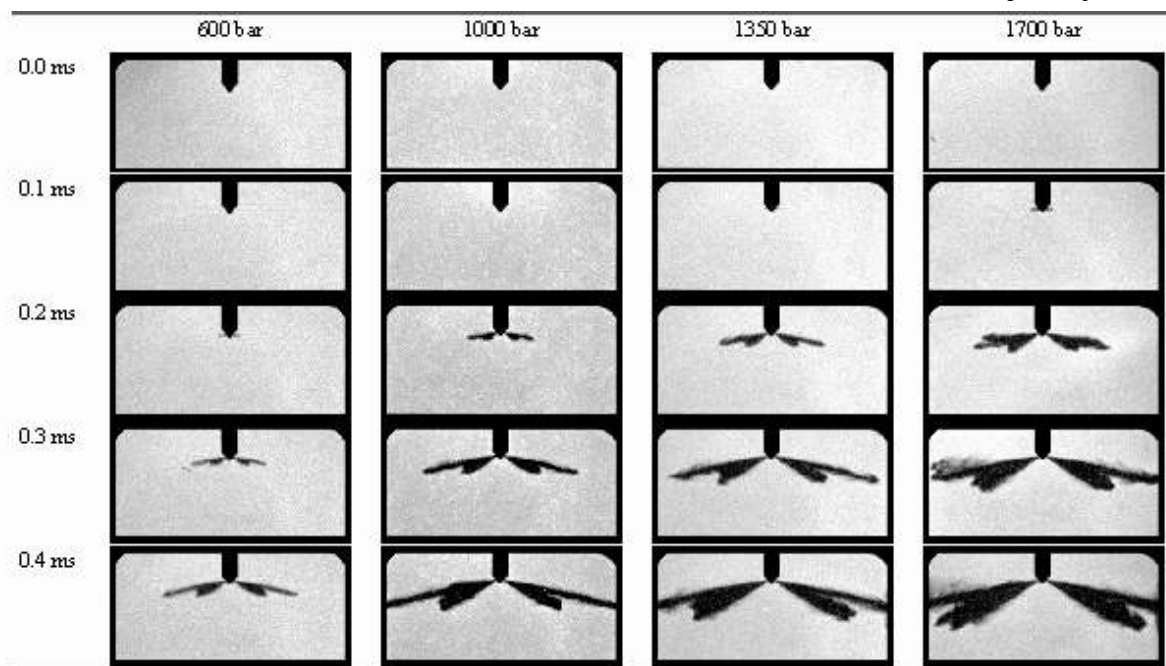
pomp jest podawanie paliwa o ciśnieniu około 0,4 MPa, do tzw. zbiornika buforowego, z którego paliwo jest zasysane przez pompy zasilające wysokiego ciśnienia. Pompy te zapewniają na dolocie do silnika ciśnienie 1,0 MPa, a w rurociągu przelewowym i w odgazowywaczu ciśnienie 0,8 MPa, co w pełni zabezpiecza instalację przed wyżej wspomnianymi niekorzystnymi zjawiskami. Zbiornik buforowy zapewnia natomiast jednolitą temperaturę paliwa zasysanego przez pompy podające, wysokiego ciśnienia. Ponieważ pompy podające wysokiego ciśnienia współpracują z pompami podającymi niskiego ciśnienia w układzie szeregowym, te ostatnie muszą mieć większą wydajność od pomp wysokiego ciśnienia i być zaopatrzone w ciągły przelew.



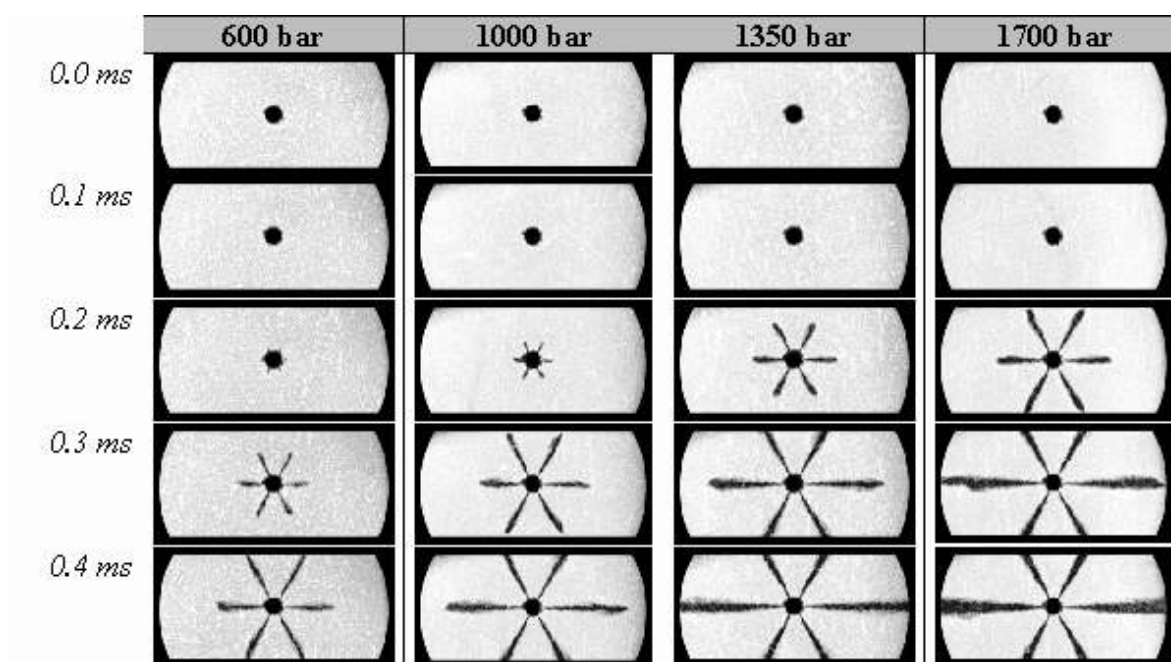
Rys. 14. Schemat ciśnieniowej instalacji paliwowej zasilania silnika głównego firmy Alfa Laval

Wpływ lepkości paliwa na proces spalania

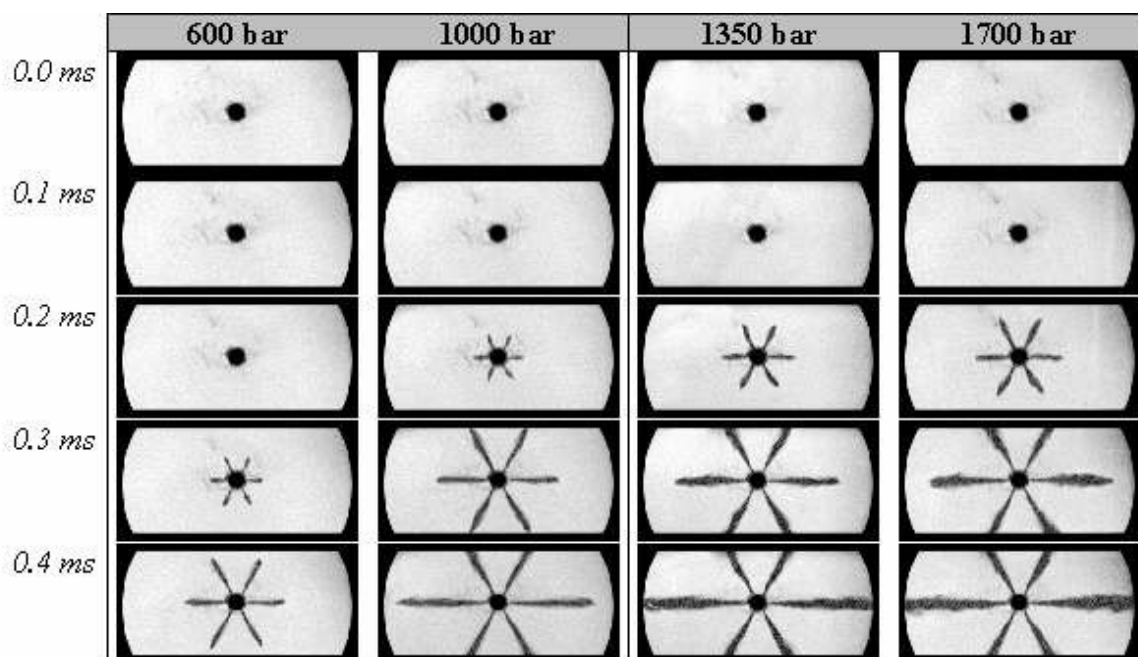
Od lepkości paliwa zależy stopień rozpylania paliwa i jakość jego spalania. Jeżeli jest ona zbyt duża, to podczas rozpylania tworzą się krople o dużych rozmiarach. Paliwa o zbyt małej lepkości także zaburzają proces tworzenia mieszanki. Podczas rozpylania tworzą się drobne kropelki, które szybko wytrącają prędkość. Strumień rozpylanego paliwa wypełnia wówczas tylko część komory spalania. Występuje lokalny nadmiar paliwa i niecałkowite spalanie w tej części komory, która jest blisko wtryskiwacza. Im wyższa jest lepkość paliwa tym trudniej przepływa ono przez filtry, przewody i inne elementy układu zasilania, co znajduje wyraz w zmniejszeniu mocy silnika. Zbyt niska lepkość paliwa również jest niepożądana, gdyż paliwo w silnikach z zapłonem samoczynnym spełnia rolę środka smarnego dla tłoczków pomp wtryskowych. Wskutek zbyt małej lepkości smarowanie tych elementów jest niedostateczne, co powoduje ich szybsze zużycie.



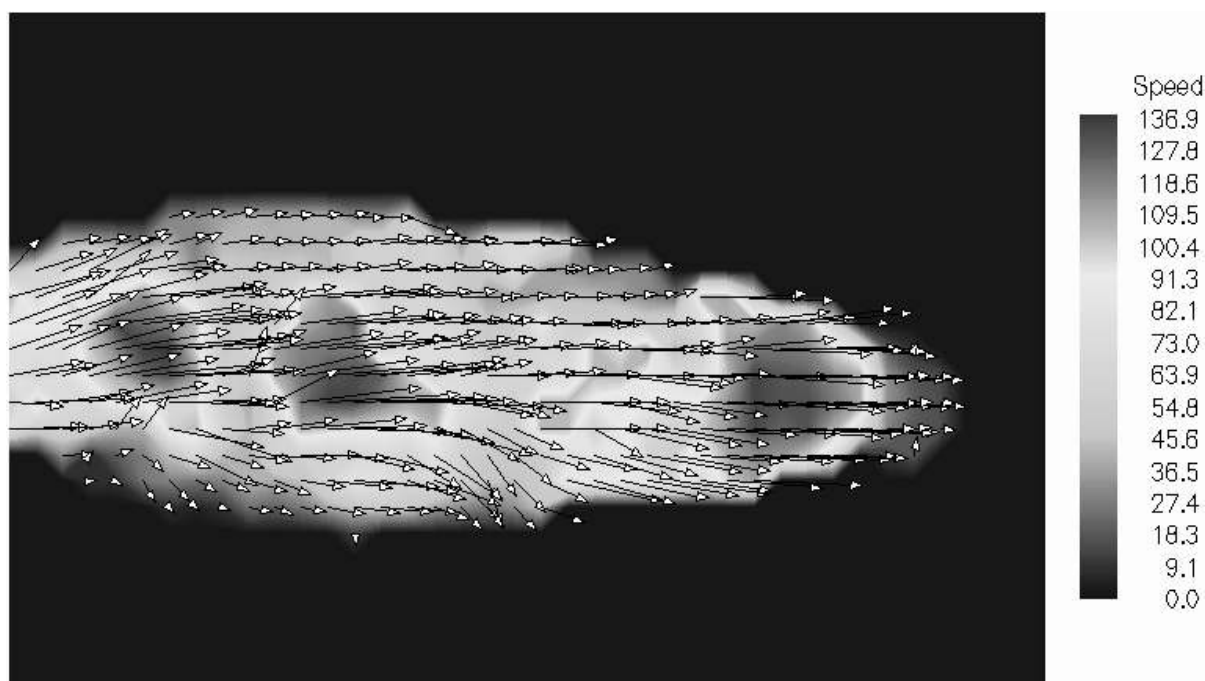
Rys. 15. Widok strugi paliwa w płaszczyźnie osi wtryskiwacza przy różnych ciśnieniach wtrysku.



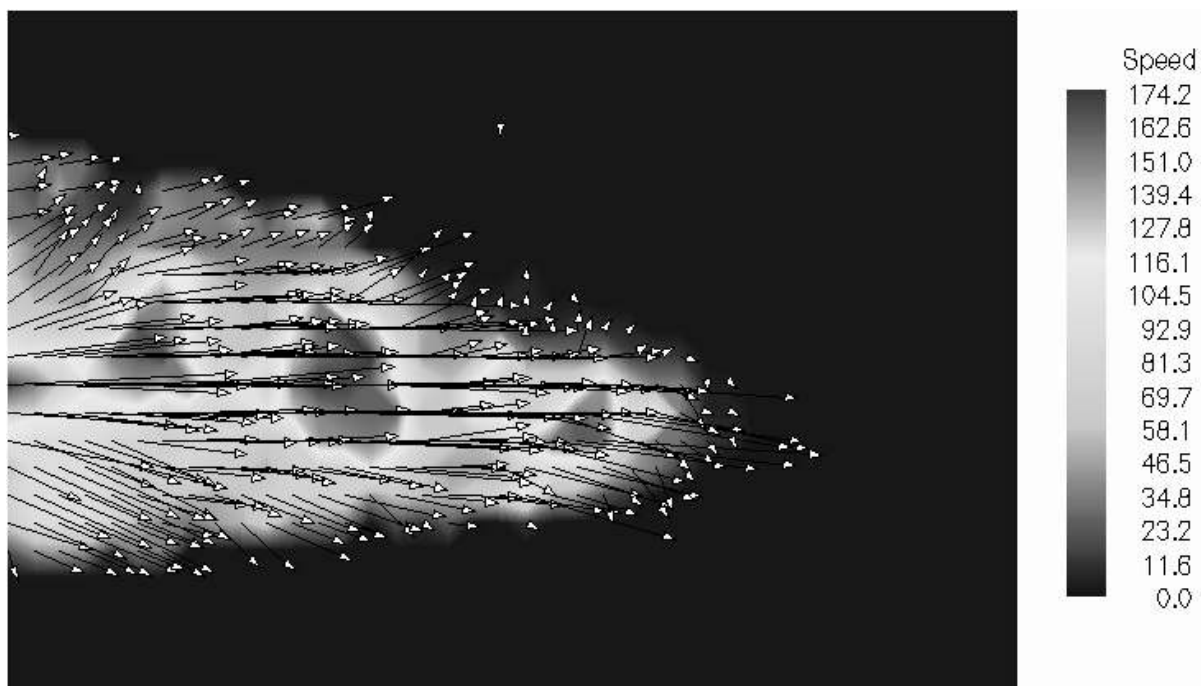
Rys. 16. Widok strugi paliwa w płaszczyźnie prostopadłej osi wtryskiwacza przy różnych ciśnieniach wtrysku (czas wtrysku 1,5 ms, viscosity 4.7cSt)



Rys. 17. Widok strugi paliwa w płaszczyźnie prostopadłej osi wtryskiwacza przy różnych ciśnieniach wtrysku (czas wtrysku 1,5 ms , viscosity 1.7cSt)



Rys. 18. Pole prędkości rozpylanego paliwa przy ciśnieniu wtrysku 70 MPa po czasie 0,36 ms od początku wtrysku.



Rys. 19. Pole prędkości rozpylonego paliwa przy ciśnieniu wtrysku 100 MPa po czasie 0,41 ms od początku wtrysku.

3. Stanowisko pomiarowe:

Stanowisko zbudowane jest na elementach rzeczywistych tj. wiskozymetr, regulator, podgrzewacz, przetworniki, sygnalizacja oraz elementy wykonawcze, rys 20. Instalacja jest typu niskociśnieniowego wypełniona olejem silnikowym. W tym układzie olej jest grzany elektrycznie. Stąd układ nie ma typowego zaworu regulacyjnego.



Rys. 20 Stanowisko laboratoryjne do pomiaru lepkości paliwa.

4. Przebieg ćwiczenia

Stanowisko laboratoryjne lepkości paliwa łączy prowadzący.

Według prowadzącego należy zapoznać się z:

- punktami pomiarowymi lepkości paliwa,
- elementami regulacji,
- punktami sterowania automatyki,
- punktami sygnalizacji alarmowej.

Według wskazówek prowadzącego należy wykonać:

- załączenie automatyki lepkości paliwa,
- załączenie trybu automatycznej regulacji lepkości paliwa,
- zmianę wartości zadanej układu regulacji,
- ocenę jakości regulacji lepkości paliwa,
- ocenę nastaw regulatora,
- załączenie trybu sterowania ręcznego lepkości paliwa,
- wyłączenie i załączenie wiskozymetru.

5. Sprawozdanie z ćwiczenia

W sprawozdaniu należy podać schemat połączeń układu pomiarowego z oznaczeniem elementów wg symboliki znormalizowanej wraz z krótkim opisem elementów.

6. Pytania kontrolne

Lepkość – definicje i jednostki.

Metody pomiaru lepkości – zasady pomiaru.

Zależność lepkości od temperatury

Znaczenie lepkości w praktyce.

Miejsce układu regulacji lepkości paliwa w instalacji przygotowania paliwa.

Automatyzacja procesu regulacji lepkości paliwa.

Przedstawić obiekt regulacji oraz elementy automatyki.

Przedstawić punkty sterowania układu automatyki.

Przedstawić punkty obserwacyjne poprawnej pracy układu automatyki.

Przedstawić czynności we właściwej kolejności przełączenia układu z trybu automatyki w tryb ręczny i odwrotnie.

Przedstawić czynności we właściwej kolejności do wykonania charakterystyki skokowej lepkości paliwa.

Umiejętność czytania schematów automatyki.

Literatura

1. S. Ciesielski, Z. Górski. Automatyzacja okrętowych maszyn i urządzeń pomocniczych. Gdynia, Trademar 2001.
2. C. Bocheński. Wpływ ciśnienia wtrysku i lepkości oleju napędowego na proces rozpylenia paliwa w silnikach z zapłonem samoczynnym.
3. Instrukcja wiskozymetru firmy Alfa Laval
4. Instrukcja wiskozymetru firmy Conoflow — VÅF
5. Materiały internetowe.