1. **Wstęp teoretyczny**

Tarcie wewnętrzne, inaczej tarcie lepkie, to tarcie występujące pomiędzy różnymi częściami tego samego ośrodka. Tarcie to występuje także podczas ruchu ciała stałego w cieczy i gazie, ponieważ warstwa płynu będąca w sąsiedztwie poruszającego się ciała porusza się wraz z nim, a tarcie powstaje właśnie miedzy tą warstwą a resztą płynu. Siły tarcia są styczne do warstw i przeciwdziałają ruchowi.

Tarcie lepkie zależy od prędkości ciała i jest równe zero, jeśli ciało jest w spoczynku. Przy małych prędkościach, siła tarcia działająca na ciało jest proporcjonalna do prędkości. Dla większych prędkości zależność ta przestaje być liniowa.

Współczynnik lepkości jest oznaczany literą a jego jednostką jest [Pa\*s]. Jest on wykorzystywany m.in. do obliczania sił lepkości.

Do omawianego przypadku stosuje się wzór:

CodeCogsEqn (9).gif

gdzie K – stała aparaturowa, ρk – gęstość kulki, ρ - gęstość płynu, t - czas opadania.

Współczynnik lepkości zależy w dużym stopniu od temperatury. Zależność tę można przedstawić za pomocą wzoru:

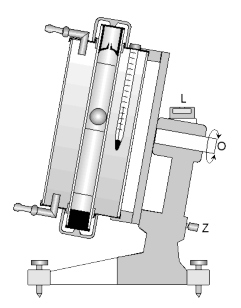
CodeCogsEqn (14).gif

gdzie k = 1.38 · 10−23 J/K – stała Boltzmanna, W – energia aktywacji przepływu lepkiego.

Energia aktywacji jest to bariera energetyczna, podawana często w przeliczeniu na 1 mol substancji, którą musi pokonać układ aby doszło do reakcji chemicznej lub fizycznej.

W danym doswiadczeniu kulka porusza się w wiskozymetrze Höpplera. Działają na nią: siła grawitacji, siła tarcia lepkiego oraz siła wyporu.

**II. Opis metody pomiarowej**



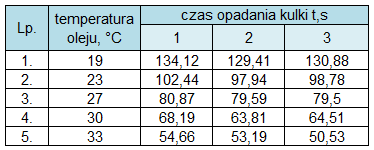
Schemat układu pomiarowego zaczerpnięty ze strony http://platforma.polsl.pl/rif/pluginfile.php/61/mod\_resource/content/4/A/2\_Dzial\_Cieplo\_i\_fizyka\_molekularna/P1-C1-InstrukcjaStrona.pdf

Stalowa kulka umieszczona jest w w rurze pomiarowej wypełnionej olejem parafinowym. Rura jest otoczona płaszczem wodnym do którego pompuje się wodę zagrzaną w ultratermostacie. Do pomiaru temperatury służy termometr rtęciowy. Do prawidłowego ustawienia przyrządu służą: libella L oraz śruby regulacyjne w podstawie. Płaszcz wodny razem z rurą pomiarową mogą się obracać wokół osi O, a zatrzask Z utrzymuje układ w pozycji pomiarowej. Ogrzewanie wody odbywa się za pomocą ultratermostatu z pompą.

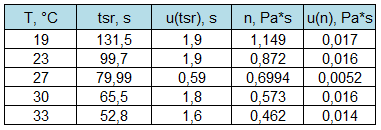
Pomiary polegały na pomiarze czasu opadania kulki w rurze pomiarowej. Pierwsze pomiary odbyły się dla temperatury zastanej, czyli dla 19°C. Za pomocą stopera cyfrowego odmierzono czas opadania kulki między skrajną i środkową rysą. Pomiar ten został przeprowadzony 3-krotnie. Wyniki zostały zanotowane. Następnie za pomocą ultratermostatu z pompą zwiększono temperaturę o 3°C. Odczekano 5 minut i ponownie 3 razy zmierzono czas opadania kulki. Analogiczne pomiary zostały przeprowadzone jeszcze dla 3 temperatur, każda zwiększana o 3°C od poprzedniej. W sumie wykonano pomiary dla 5 różnych temperatur.

**III. Wyniki pomiarów**

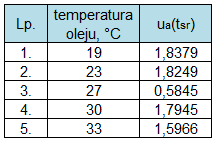
**Tabela nr 1**



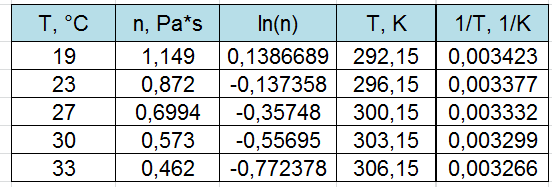
**Tabela nr 2**



**Tabela nr 3**

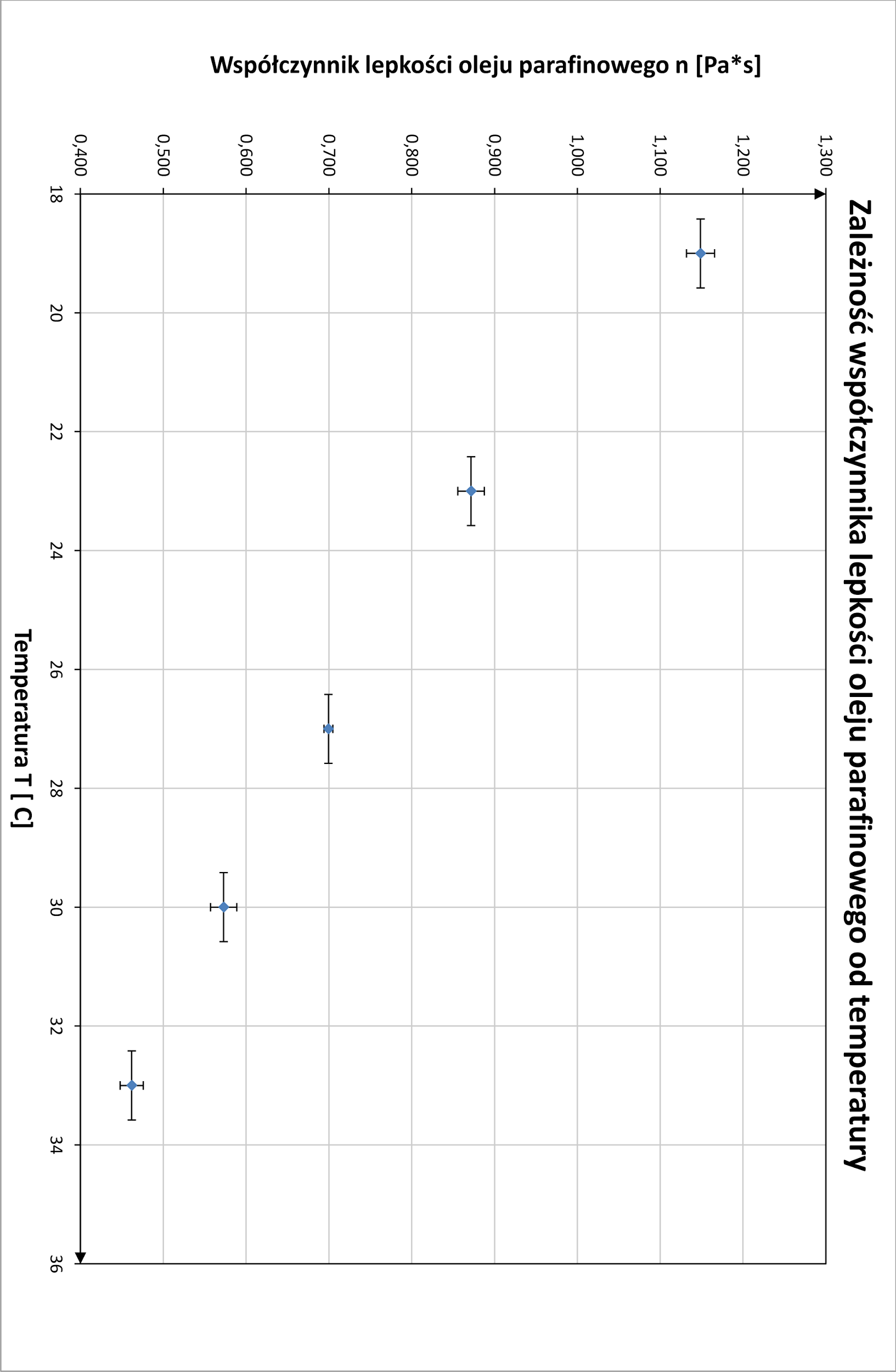


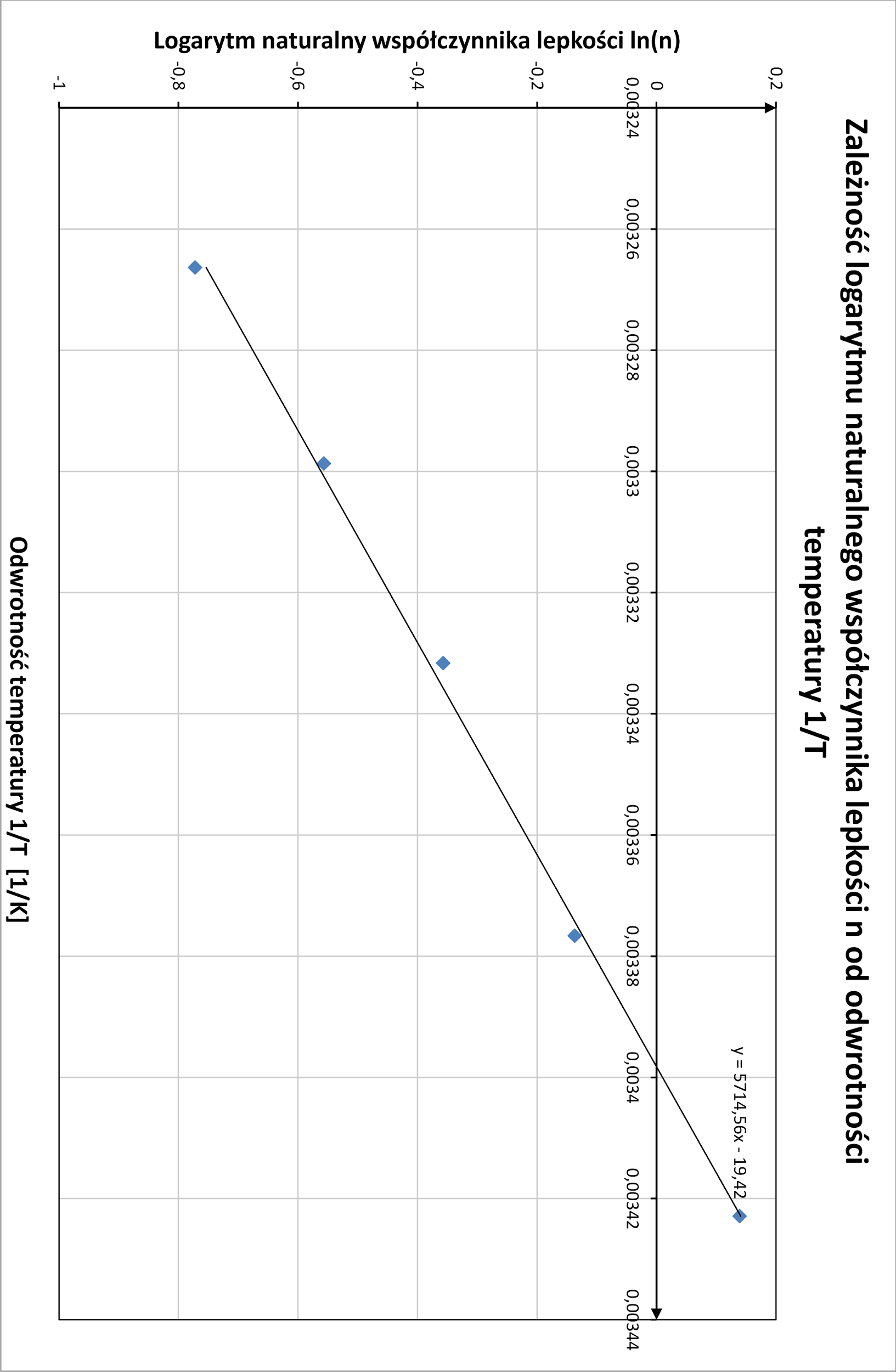
**Tabela nr 4**



**IV. Wykresy**

**Wykres nr 1**



**Wykres nr 2**

**V. Obliczenia**

W tabeli nr 1 zostały przedstawione wyniki pomiarów czasu spadania kulki wyrażone w sekundach.

Dla każdej temperatury cieczy obliczono średni czas opadania kulki.CodeCogsEqn.gif

Dla T=19°C:

Dla pozostałych pomiarów średnie czasy spadania kulki zostały obliczony w analogiczny sposób. Wyniki zostały zebrane w tabeli nr 2.

Następnie obliczono niepewność pomiarów typu . Dokładność użytego stopera cyfrowego wynosi 0,01s, jednakże uwzględniając błąd ludzki, jako dokładność pomiaru przyjęto 0,1s.

CodeCogsEqn (1).gif

Obliczono statystyczne niepewności typu dla każdej serii pomiarów czasu. Są one równe odchyleniu standardowemu danej serii pomiarów pomnożonemu przez 1,321, czyli współczynnik Studenta Fishera dla n=3 pomiarów i poziomowy ufności równemu 0,6826 (poziom ufności odchylenia standardowego).

Dla T=19°C:

CodeCogsEqn (2).gif

CodeCogsEqn (4).gif

CodeCogsEqn (5).gif

Pozostałe niepewności zostały obliczone w analogiczny sposób. Wyniki zostały zebrane w tabeli nr 3.

Następnie obliczono całkowite niepewności dla serii pomiarów czasów.

CodeCogsEqn (6).gif

Niepewność całkowita wyraża się wzorem:

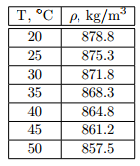
Dla T=19°C:

CodeCogsEqn (8).gif

Dla kolejnych serii pomiarów czasu niepewności całkowite zostały analogicznie obliczone. Ich wartości przybliżone do 2 miejsc znaczących zostały podane w tabeli nr 2.

Dla każdej temperatury obliczono współczynnik lepkości oleju parafinowego, stosując wzór empiryczny: CodeCogsEqn (9).gif,

gdzie *K* = 1.2018 · 10−6 m2/s2 – stała aparaturowa, *ρk* = 8150 kg/m3 – gęstość stalowej kulki, *ρ* - gęstość oleju parafinowego w różnych temperaturach:



Na podstawie danych w powyższej tabeli można zauważyć, że wzrost temperatury o 1°C powoduje zmniejszenie gęstości oleju parafinowego o 0,7 kg/m3.

Zatem:

dla T=19°C ρ=878,8+0,7=879,5 kg/m3

dla T=23°C ρ=878,8-3\*0,7=876,7 kg/m3

dla T=27°C ρ=875,3-2\*0,7=873,9 kg/m3

dla T=30°C ρ=871,8 kg/m3

dla T=33°C ρ=871,8-3\*0,7=869,7 kg/m3

Dla T=19°C: CodeCogsEqn (11).gif

Dla pozostałych temperatur współczynniki lepkości oleju parafinowego zostały przedstawione w tabeli nr 2.

Następnie, korzystając z prawa przenoszenia niepewności, obliczono niepewności wszystkich współczynników lepkości.

Niepewność współczynnika lepkości wyraża się wzorem:CodeCogsEqn (12).gif

CodeCogsEqn (13).gif

Dla T=19°C:

Pozostałe niepewności zostały przedstawione w tabeli nr 2.

Wszystkie wyniki zebrane w tabeli nr 2 są wynikami ostatecznymi.



Obliczono również niepewność pomiaru temperatury

Następnie sporządzono wykres zależności współczynnika lepkości oleju parafinowego od temperatury wraz z niepewnościami pomiarowymi. Wyniki przedstawiono na wykresie nr 1.

Obliczono również logarytm naturalny współczynnika lepkości oraz odwrotność temperatury wyrażonej w kelwinach. Dane zamieszczono w tabeli nr 4. Na podstawie tych danych sporządzono wykres nr 2.

Metodą regresji liniowej obliczono współczynniki prostej ln(n)=f(1/T) wraz z niepewnościami   
i wynoszą one:







Korzystając z równania oraz z wyliczonych współczynników

prostej można wyliczyć współczynniki A oraz W/k:













Następnie wyliczono energię aktywacji przepływu lepkiego W :





Następnie obliczono niepewność energii aktywacji przepływu lekkiego



Ostatecznie,





**VI. Wnioski**

Przeprowadzone doświadczenie pozwoliło udowodnić, że współczynnik lepkości oleju parafinowego maleje wraz ze wzrostem temperatury w sposób eksponencjalny. Zależność ta widoczna była już w trakcie pomiarów, gdyż wraz z ogrzewaniem oleju metalowa kulka opadała coraz szybciej, co było spowodowane zmniejszaniem się sił oporu ruchu w oleju. Na ewentualne błędy pomiarowe mogły mieć wpływ trudności z precyzyjnym odczytem temperatury oleju a także niedokładności przy pomiarze czasu, spowodowane opóźnieniem reakcji osoby mierzącej czas.