

Tytuł projektu; Innowacyjne urządzenie do wykonywania testów wydajnościowych naftowych otworów wiertniczych.

R_2/3/2017 - raport z przeprowadzonych eksperymentalnych badań systemu pomiaru stopnia zapełnienia.

Spis treści.

Działanie I - Modyfikacja i rekonstrukcja układu badawczego do pomiaru zawartości fazy gazowej i prędkości liniowej medium złożowego. Projekt układu do podgrzewania badanego medium. Wykonanie rachunku optymalizacyjnego w oparciu o bilanse cieplne dla zastosowanych urządzeń podgrzewających medium i systemu jego obiegu w układzie pomiarowym. Próby wstępne układu pomiarowego. – Str. 2

Działanie II - Modyfikacja i rekonstrukcja układu do pomiaru zawartości fazy i prędkości medium złożowego. Wykonanie obliczeń dotyczących strat przepływu w rurociągu. Modyfikacja odcinka pomiarowego celem zmiany sposobu podawania sprężonego powietrza do układu oraz miejsca położenia elektrod przyrządu do pomiaru fazy gazowej medium złożowego. – Str. 7

Działanie III - Przeprowadzenie badań przyrządu do pomiaru zawartości fazy gazowej w objętości ropy. Opracowanie i analiza charakterystyk pojemności elektrycznej oraz wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego powietrza. Wykonanie 800 zdjęć przepływu medium oraz ich analiza. - Str. 12

Działanie IV - Przeprowadzenie badań przyrządu do pomiaru zawartości fazy gazowej w objętości ropy. Opracowanie i analiza charakterystyk pojemności elektrycznej oraz wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego powietrza. - Str. 22

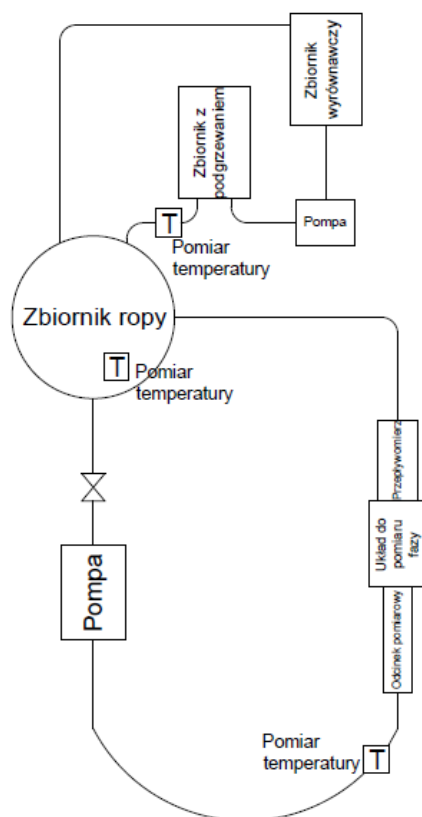
Działanie V - Przeprowadzenie badań porównawczych przyrządu do pomiaru zawartości fazy gazowej w objętości ropy przy użyciu Metanu jako gazu testowego. Przystosowanie układu pomiarowego do użycia w warunkach zagrożenia wybuchowego. Opracowanie i analiza charakterystyk pojemności elektrycznej oraz wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego metanu w funkcji zmiennej temperatury i zmiennego przepływu. - Str. 27

Działanie VI - Wykonanie serii pomiarów prędkości w symulowanych naturalnych warunkach występujących podczas próbnej eksploatacji na kopalni ropy i gazu ziemnego. Przeprowadzenie badań sprawdzających stabilność zera w przyrządzie do pomiaru zawartości fazy gazowej podczas tych symulowanych warunków. – Str. 35

Działanie I - Temat:

Modyfikacja i rekonstrukcja układu badawczego do pomiaru zawartości fazy gazowej i prędkości liniowej medium złożowego. Projekt układu do podgrzewania badanego medium. Wykonanie rachunku optymalizacyjnego w oparciu o bilanse cieplne dla zastosowanych urządzeń podgrzewających medium i systemu jego obiegu w układzie pomiarowym. Próby wstępne układu pomiarowego.

Ze względu na konieczność realizacji większych prędkości liniowych medium w rurociągu układ badawczy do pomiaru zawartości fazy gazowej i prędkości liniowej medium złożowego układ pomiarowy zmodyfikowano.



Rys. 1 Schemat zrekonstruowanego układu badawczego. Nad zbiornikiem zainstalowano wyciąg oparów ropy.

W układzie zastosowany jest zbiornik o pojemności 200l, w którym magazynowana jest ropa. Na wyjściu ze zbiornika znajduje się rurociąg 2 1/2" oraz zawór odcinający. Rurociąg tworzy obieg zamknięty. Za zaworem znajduje się pompa. Na wyjściu z pompy zastosowany jest rurociąg 2". Za pompą znajduje się prosty odcinek pomiarowy, na którym zostały zastosowane złączki do wpuszczania powietrza do przepływającego medium. Za odcinkiem do wpuszczania powietrza znajduje się układ do pomiaru zawartości fazy gazowej. Za układem do pomiaru fazy zamontowany jest przepływomierz. W układzie badawczym zastosowany jest układ do podgrzewania badanego medium. W układzie podgrzewającym pracuje zbiornik z grzałką o mocy 1500W i pojemności 12l, pompa obiegowa oraz zbiornik wyrównawczy o pojemności 6l. W układzie badawczym realizowane są 3 pomiary temperatury. Pierwszy pomiar znajduje się w układzie podgrzewającym

medium, drugi w zbiorniku magazynowym a trzeci na rurociągu przed odcinkiem pomiarowym. Nad zbiornikiem magazynowym zainstalowany jest wyciąg wentylacyjny.



Rys. 2 Zmontowany układ pomiarowy z układem grzewczym ropy

Przy projektowaniu układu grzewczego ropy określone zostały parametry projektowe potrzebne do obliczenia wymaganej mocy układu. Parametrami tymi są;

Masa ropy: 120 kg.
Różnica temperatur $\Delta T = 60^{\circ}\text{C}$
Ciepło właściwe ropy: 1885 J/kg*K
Średnica zewnętrzna węzownicy: 13 mm
Średnica wewnętrzna węzownicy: 11 mm

Obliczenie ciepła potrzebnego do ogrzania 120kg ropy o 60°C:

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

gdzie

ΔQ – dostarczone ciepło;

m – masa ciała;

ΔT – różnica temperatur.

Przekształcając równanie otrzymujemy:

$$\Delta Q = 3,77 \text{ kWh}$$

Obliczanie długości wężownicy potrzebnej do przekazania obliczonej ilości ciepła:

$$Q = \frac{2\pi L\lambda}{\ln(d_2/d_1)} \Delta T$$

gdzie

d_2 – średnica wężownicy po stronie zimnej

d_1 – średnica wężownicy po stronie ciepłej

λ – przewodność cieplna miedzi

L – długość wężownicy

Przekształcając równanie otrzymujemy:

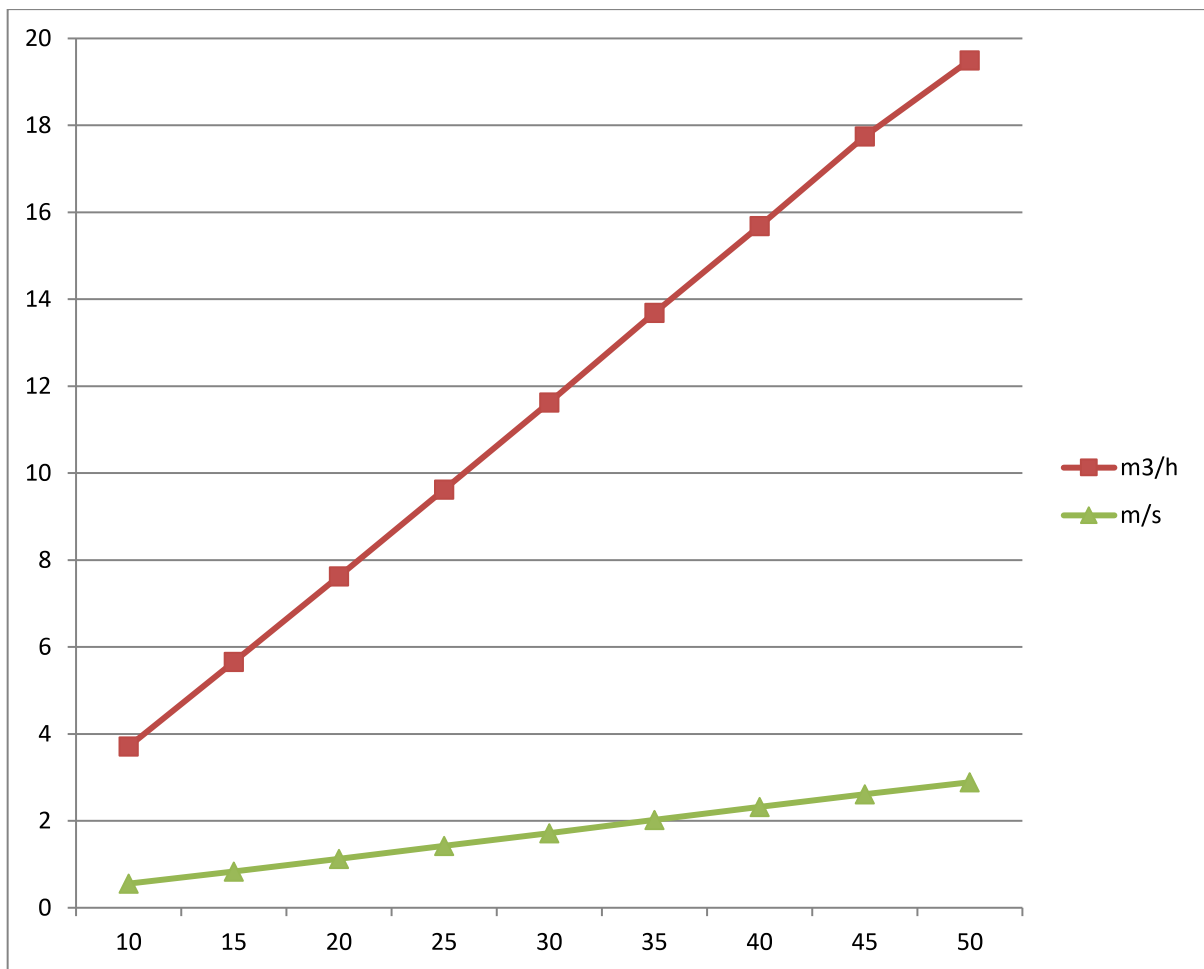
$$L = 15,04 \text{ m}$$

Podgrzewanie ropy odbywa się poprzez obieg płynu chłodniczego, który podgrzewany jest za pomocą zbiornika z grzałką o mocy 1500W.



Rys.3 Układ grzewczy ropy

Na przebudowanym układzie zostały przeprowadzone wstępne badania przepływu. Uzyskane wyniki są bardzo pozytywne. Poniżej przedstawiony jest wykres zależności liniowej prędkości przepływu oraz objętości przepływu od częstotliwości prądu z jaką pracowała pompa. Widać, że maksymalna uzyskana prędkość liniowa przepływu to $\sim 2,8$ m/s a objętość przepływu $\sim 19,5$ m³/h.



Rys. 4 Wykres zależności liniowej prędkości przepływu oraz objętości przepływu w zależności od częstotliwości napięcia zasilającego pompę.

Działanie II - Temat:

Modyfikacja i rekonstrukcja układu do pomiaru zawartości fazy i prędkości medium złożowego ze względu na zmniejszenie strat liniowych w całym układzie i uzyskania większego zakresu prędkości liniowej przepływu medium złożowego. Wykonanie obliczeń dotyczących strat przepływu w rurociągu. Modyfikacja odcinka pomiarowego celem zmiany sposobu podawania sprężonego powietrza do układu oraz miejsca położenia elektrod przyrządu do pomiaru fazy gazowej medium złożowego.

Celem modyfikacji jest optymalizacja rurociągu w układzie do pomiaru zawartości fazy i prędkości medium złożowego pod względem zmniejszenia strat liniowych w całym układzie i uzyskania większego zakresu prędkości liniowej przepływu medium złożowego. Aby to uzyskać zamodelowany został układ przepływu medium oraz wykonane zostały obliczenia, które pozwoliły stwierdzić jakie rozwiązanie jest najbardziej optymalne.

Obliczenia przy modyfikacji wykonano zgodnie z przytoczoną poniżej teorią obliczania strat ciśnienia w rurociągu.

Q_w — ciepło odbierane przez wodę chłodzącą w koszulkach cylindrowych,

Q_{skr} — ciepło oddawane w skraplaczu wodzie chłodzącej,

Q_0 — wydajność chłodnicza instalacji,

η_j — sprawność indykowana, bezwymiarowa (wymiarem powyższych wielkości jest kcal/h lub J/sek w układzie MKSA).

Chłodzenie cylindrów wpływa ponadto na podniesienie sprawności indykowanej η_j , co również korzystnie oddziałuje na obniżenie zużycia mocy napędowej. W układach dwustopniowych można chłodzić wodę wyłącznie cylindry wysokoprężne, gdyż temperatura pary w cylindrach niskoprężnych jest niższa od temperatury wody w okresie całego suwu sprężania. Zamiast wody można tutaj wtryskiwać do koszułek cieplej czynnik przez zawór rozprężny. Odprowadzający parę z koszułek cylindrowych przewodów ssawny podłącza się zwykle do chłodnicy międzystopniowej.

6.7.3.4. Regulacja wydajności

Jedną z metod regulacji wydajności sprężarki jest upust pary ze strony tłocznej na ssawną (p. pkt 6.6.5). Metoda ta podwyższa zużycie mocy napędowej sprężarki, wobec czego znajduje ona zastosowanie tylko wtedy, gdy zmniejszanie wydajności przez upust ma charakter sporadyczny. Znajduje ona także zastosowanie do małych instalacji chłodniczych, w których koszty ruchowe odgrywają rolę drugorzędą.

Rozwiązania układów regulacji wydajności dużych instalacji chłodniczych powinny iść w kierunku takich metod i urządzeń, które by ograniczyły zużycie mocy napędowej (p. dz. 3.19.).
Cel ten można osiągnąć przez podawanie części cylindrów sprężarki zdolności przetwarzania czynnika lub przez powiększenie ich przestrzeni skroślowej. W ostatnim przypadku zmniejszeniu ulega sprawność objętościowa sprężarki, natomiast sprawność indykowana prawie nie ulega zmianie. Dlatego też zużycie mocy napędowej jest wprost proporcjonalne do ilości czynnika krążącego w instalacji, lub — innymi słowy — do wydajności czynnej sprężarki. Stąd

$$*W = *Q_0 \cdot \eta_{red} \quad [6.7.3.-2]$$

gdzie η_{red} — stosunek wydajności rzeczywistej sprężarki do jej wydajności maksymalnej.

6.8. Przepływ płynów oraz opory przepływu

6.8.1. Podstawowe równanie dla przepływu idealnego (bez strat)

Zagadnienie poniższe było już omawiane w dziale 1.9.

Fragment instalacji pompowej przedstawiony jest na rys. 6-54. Rurociągi ograniczone są tutaj przekrojami 1 i 2. Do czynnika przepływającego przez rurociągi dopływa ciepło w ilości $Q = 2q$. Do napędu pompy doprowadza się z zewnątrz energię W . Przyjmuje się, że przepływ w instalacji rurowciągowej jest idealny, czyli — innymi słowy — bez strat powstających wskutek tarcia.

432

Bilans energetyczny dla przepływu idealnego zestawil po raz pierwszy Bernoulli w postaci

$$E_1 + Z_1 \cdot g + \frac{w_1^2}{2} = E_2 + Z_2 \cdot g + \frac{w_2^2}{2} + Q + P_1 v_1 - P_2 v_2 + W_0 \quad [6.8.1.-1]$$

Ponieważ $h = E + P \cdot v$, równanie poprzednie można skrócić do postaci

$$h_2 + Z_2 \cdot g + \frac{w_2^2}{2} = h_1 + Z_1 \cdot g + \frac{w_1^2}{2} + Q + W_0 \quad [6.8.1.-2]$$

gdzie:

h — entalpia, kcal/kg lub J/kg w układzie MKSA,

Z — wzniosł w stosunku do poziomu odniesienia przyjętego za zero, m,

g — przyspieszenie ziemskie, m/sek²,

w — prędkość przepływu płynu, m/sek,

Q — ciepło przenikające z otoczenia do płynu, kcal/kg lub J/kg w układzie MKSA,

W_0 — energia dostarczona z zewnątrz, kGm/kg lub Nm/kg = J/kg, w układzie MKSA,

Przy wykonywaniu obliczeń liczbowych za pomocą powyższego równania, wszystkie czony wyrażające się w jednostkach cieplnych należy pomnożyć przez $J \cdot g$.

gdzie:

J — mechaniczny równoważnik ciepła ($J = 427 \text{ kGm/kcal}$ lub $1 \text{ kgm/N} \cdot \text{sek}^2$ w układzie MKSA),

g — współczynnik przeliczeniowy, kGm/kG · sek² lub $1 \text{ kgm/N} \cdot \text{sek}^2$ w układzie MKSA.

Przykład 1. Zwierciadło cieczy zawarte w otwartym zbiorniku znajduje się na wysokości 0,9144 m ponad osią otworu wypływowego z tego zbiornika. Obliczyć prędkość wylotu cieczy przez ten otwór przy założeniu, że nie zachodzi wymiana ciepła z otoczeniem.

Podstawiając $w_1 = 0$ z równania [6.8.1.-2] obliczamy

$$w_2 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,9144} = 4,25 \text{ m/sek}$$

W obliczeniu tym przyjęto, że przyspieszenie ziemskie w danym miejscu na ziemi wynosi 9,81 m/sek².

Przykład 2. Przyjmujemy założenie, że cieczą w przykładzie 1 jest woda o temperaturze $+10^\circ\text{C}$. Woda ta kładzie 1 jest woda o temperaturze $+66^\circ\text{C}$. Prędkość przepływu wody przez ten otwór wynosi 1,2 m/sek. Obliczyć, ile ciepła miennik ciepła wynosi 1,2 m/sek. Obliczyć, ile ciepła należy doprowadzić w powyższym procesie nagrzewania wody.

Z równania [6.8.1.-1]

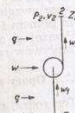
$$66 \cdot 427 \cdot 9,81 + \frac{1,2^2}{2} = 10 \cdot 427 \cdot 9,81 + \frac{4,25^2}{2} + Q \cdot 427 \cdot 9,81$$

skąd

$$Q = \frac{(66 - 10) + \frac{1,2^2 - 4,25^2}{2}}{427 \cdot 9,81} = 56 \text{ kcal/kg}$$

Jak wynika z powyższego przykładu liczbowego zmiana energii kinetycznej jest pomijalna.

23 — Automatische urrichtungen chłodnicze



Rys. 6-54. Schemat instalacji pompowej wyjaśniający znaczenie symboli użytych w tekście

433

Mając do czynienia z rurowciągami i przewodami o przekroju niekołowym, posługujemy się średnicą hydrauliczną

$$d_h = \frac{4 \cdot A}{U} \quad [6.8.1.-3]$$

gdzie:

A — pole przekroju poprzecznego, m²,

U — obwód zwilżony, m.

Gdy przekrój przewodu jest pierścieniowy, średnica hydrauliczna wynosi

$$d_h = d_o - d_i \quad [6.8.1.-4]$$

gdzie o, i — indeksy odnoszące się odpowiednio do średnicy wewnętrznej rury zewnętrznej oraz do średnicy zewnętrznej rury wewnętrznej.

Równanie przepływu można także wyrazić w postaci

$$P + P_{st} + \frac{\rho \cdot w^2}{2} + \rho Z \cdot g \quad [6.8.1.-5]$$

gdzie:

P_{st} — ciśnienie statyczne,

$\frac{\rho \cdot w^2}{2} = P_{dyn}$ — ciśnienie dynamiczne,

$\rho \cdot Z \cdot g$ — ciśnienie potencjalne (ciśnienie wysokości).

Wymiarami powyższych ciśnień są zazwyczaj: kG/m², mm Hg albo m H₂O lub N/m² w układzie MKSA.

6.8.2. Przepływ rzeczywisty

Przy rzeczywistym przepływie cieczy przez kanały lub rurowciągi, należy zawsze uwzględnić opory tarcia, jakie powstają pomiędzy przepływającym płynem i powierzchnią kanału lub rurowciągu przepływowego. Poniżej są omówione znane i stosowane powszechnie metody obliczeń przepływów rzeczywistych.

6.8.2.1. Opory przy przepływie przez przewody prostoosiowe

Ten rodzaj przepływu można podzielić na dwie części — w zależności od stanu skupienia płynu — mianowicie na przepływ cieczy i przepływ gazu (pary).

1. **Opory przy przepływie cieczy.** Opory hydrauliczne występujące przy przepływie cieczy oblicza się z równania

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^3 \quad [6.8.2.-1]$$

gdzie:

P — opór przepływu, kG/m² lub N/m² w układzie MKSA,

f — współczynnik oporu przepływu, bezwymiarowy,

L — długość rury, m,

d — średnica wewnętrzna rury, m,

ρ — gęstość płynu, kg/m³,

g — współczynnik przeliczeniowy, $g_c = 9,81 \text{ kgm/kG} \cdot \text{sek}^2$ lub $1 \text{ kgm/N} \cdot \text{sek}^2$ w układzie MKSA,

w — prędkość przepływu płynu, m/sek.

434

Współczynnik oporu przepływu jest funkcją liczby Reynoldsa, charakteryzującej dany przepływ, oraz zależy od chropowatości powierzchni wewnętrznej przewodu. Przy wartości liczby Reynoldsa poniżej $Re = 2300$, przepływ jest uspokojony (laminarny). Współczynnik oporu dla takiego przepływu oblicza się ze wzoru

$$f = \frac{64 \cdot \eta \cdot g_c}{d \cdot \rho \cdot w} \cdot \frac{1}{Re} \quad [6.8.2.-2]$$

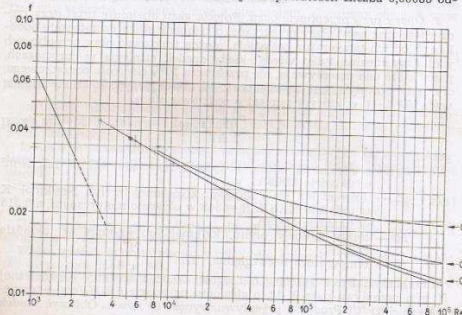
Wzór odnoszący się jedynie do przewodów o przekroju okrągłym ma postać

$$Re = \frac{d \cdot \rho \cdot w}{\eta \cdot g_c} \quad [6.8.2.-3]$$

gdzie η — lepkość dynamiczna przepływającego płynu, kG · sek/m² lub N · sek/m² w układzie MKSA.

Nie wymaga uzasadnienia, że Re , liczbowa równa jest $Re_n = d \cdot \rho \cdot w / \mu$, gdzie μ wyrażone jest w kg/m · sek lub kg/m · sek w układzie MKSA. Jeżeli wartość liczby Reynoldsa zawiera się w przedziale pomiędzy $Re = 2300$ i $Re = 3000$, to współczynnik oporu przepływu jest niepewny, wobec czego należy w praktyce unikać tego zakresu.

Przy wartości liczby Reynoldsa powyżej $Re = 3000$, przepływ jest burzliwy. Współczynniki oporu dla przepływów burzliwych odczytuje się z rys. 6-55. Po prawej stronie tego rysunku widoczne są trzy krzywe odnoszące się do powierzchni o różnej chropowatości. Liczba 0,00085 od-



Rys. 6-55. Wykres przedstawiający współczynnik oporu przepływu f w funkcji liczby Reynoldsa. Linia (prosta) z lewej strony odnosi się wyłącznie do przepływów uspokojonych w przewodach o przekroju okrągłym. Krzywe po prawej stronie odnoszą się do przepływów burzliwych w przewodach o różnych przekrojach. Dla przewodów o przekroju innym niż okrągły zawsze należy stosować średnicę hydrauliczną

435

nosi się do żeliwa, liczba 0,00015 — do żelaza kutego, a liczba 0,000005 — do rur ciągnionych bez szwu. Krzywe te odnoszą się do różnych przewodów bez względu na kształt ich przekroju — z tym jednak zastrzeżeniem, że dla przewodów o przekroju niekołowym stosuje się średnice hydrauliczną, obliczaną ze wzorów [6.8.1.-3] lub [6.8.1.-4].

Przykład 1. Ciekły amoniak przepływa przez rurociąg wykonany z rury ciągnionej bez szwu o średnicy wewnętrznej 32 mm i długości 30 mb. Czynnik ten dochłodzony jest do temperatury 21 °C. Zakłada się, że brak jest wymiany ciepła pomiędzy przepływającym czynnikiem i otoczeniem. Prędkość przepływu wynosi 0,9 m/sek. Obliczyć spadek ciśnienia w rurociągu.

Rozwiązanie: Z tablicy 7-48 $\rho = 1/v' = (1/1,643) \cdot 1000 = 610 \text{ kg/m}^3$; lepkość kinematyczna dla amoniaku z wykresu (Rys. 7.4.) wynosi $\nu = 0,36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sek}$

Liczba Reynoldsa wynosi

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{0,9 \cdot 0,032}{0,36 \cdot 10^{-6}} \approx 80\,000$$

Z rys. 6-55 odczytujemy współczynnik oporu przepływu $f = 0,0185$. Z równania [6.8.2.-1]

$$\Delta P = 0,0185 \cdot \frac{30}{0,032} \cdot \frac{610}{2 \cdot 9,81} \cdot 0,9^2 = 436 \text{ kG/m}^2$$

2. **Opory przy przepływie gazu.** Pojęcie gazu obejmuje tutaj gazy rzeczywiste oraz pary. Pary przegrzane, o temperaturach dostatecznie oddalonych od ich temperatur nasyceń, można traktować przy przepływach jako gazy idealne tylko wtedy, kiedy spadek ciśnienia w rurociągach, przez które one przepływają, nie przekracza 10% ciśnienia początkowego, oraz gdy przepływ jest izotermiczny. W takich przypadkach stosuje się wzór [6.8.2.-1], w którym zamiast ρ podstawia się ρ_m

$$\rho_m = \frac{P_1 + P_2}{2RT} \cdot M \quad [6.8.2.-4]$$

gdzie:

P_1 i P_2 — ciśnienie na wlocie i wylocie rurociągu, kG/m² lub N/m² w układzie MKSA,

R — uniwersalna stała gazowa, kGm/kmol °K lub Nm/kmol °K w układzie MKSA. $R = 848$ w układzie metrycznym, a 8,315 w układzie MKSA,

M — ciężar molowy gazu, kG/kmol lub kg/kmol w układzie MKSA,

T — temperatura bezwzględna, °K.

Przykład 2. Przez rurociąg o długości 25 m i średnicy wewnętrznej 50 mm przepływa para X-12, o ciśnieniu na wlocie 5,8 kG/cm² i temperaturze +80 °C. Prędkość przepływu wynosi 10 m/sek. Obliczyć spadek ciśnienia na podanej długości rurociągu.

Rozwiązanie: Przyjmujemy dla celów obliczeniowych, że spadek ciśnienia nie przekracza 10% jego wartości początkowej, czyli $0,1 \cdot 5,8 = 0,58 \text{ kG/cm}^2$. Obliczenia można zatem przeprowadzać na podstawie wzorów [6.8.2.-1] i [6.8.2.-4].

Szacując spadek ciśnienia na $\Delta P = 0,02 \cdot 5,8 = 0,116 \text{ kG/cm}^2$ obliczamy

$$\rho_m = \frac{58\,000 + 56\,000}{2 \cdot 848 \cdot (273 + 80)} \approx 120,9 = 23,7 \text{ kg/m}^3$$

Z wykresu (rys. 7-5) lepkość kinematyczna pary nasyconej X-12 przy ciśnieniu 5,8 kG/cm² ($t \approx 20$ °C) wynosi $0,37 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sek}$. Objętość właściwa pary na krzywej nasyceń oraz przy temperaturze 80 °C wynosi odpowiednio 0,032 oraz 0,041 (wykres M6). Wobec tego $\nu = 0,37 \cdot \frac{0,041}{0,032} \cdot 10^{-6} = 0,474 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sek}$, przy ciśnieniu 5,8 kG/cm² i temperaturze 80 °C.

Dane dotyczące zależności lepkości od ciśnienia są w wielu przypadkach sprzeczne. Nie ma to jednak istotnego znaczenia dla obliczenia liczby Reynoldsa w następujący sposób:

$$Re = \frac{0,05 \cdot 10}{0,474 \cdot 10^{-6}} = 1,055 \cdot 10^6$$

Z rys. 6-55 współczynnik oporu $f = 0,0166$, wobec tego

$$\Delta P = 0,0166 \cdot \frac{25}{0,05} \cdot \frac{23,7}{2 \cdot 9,81} \cdot 10^2 = 1000 \text{ kG/m}^2$$

Wynik ten jest bardzo zbliżony do założonego poprzednio 0,116 kG/cm², co odpowiada ciśnieniu 1160 kG/m². Zbędne jest zatem wprowadzanie poprawek.

W przypadku gdy mamy do czynienia z przepływem nieizotermicznym, tzn. gdy zachodzi wymiana ciepła z otoczeniem, stosujemy również wzór [6.8.2.-1], z tym jednak, że zamiast ρ należy podstawić

$$\rho_m = \frac{1}{2R} \left(\frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} \right) \cdot M \quad [6.8.2.-5]$$

6.8.2.2. Opory przy przepływie przez kolanka i łączniki

Instalacje rurociągowy wykonane są z prostych odcinków rur, połączonych ze sobą kolankami i łącznikami różnego rodzaju, często o odmiennych przekrojach.

Istnieją dwie zasadnicze metody obliczania oporów przepływu w instalacjach rurociągowych. Pierwszym z tych sposobów jest obliczenie według wzoru

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho}{2 \cdot g_c} \cdot w^2 \quad [6.8.2.-6]$$

Drugi sposób polega na wyrażaniu oporów miejscowych przepływu długością równoważną rurociągu.

Współczynnik oporów miejscowych ζ dla kolanek o kącie 90° określa się za pomocą tablicy 6-3.

Jeżeli kąt kolanka jest inny niż 90°, to należy stosować mnożnik korekcyjny C według wzoru:

$$\Delta P_m = C \cdot \Delta P_{90} \quad [6.8.2.-7]$$

gdzie C — mnożnik korekcyjny według tablicy 6-4.

Dla złączeń gwintowych długości równoważne L_u , oporów miejscowych oblicza się

$$L_u = C \cdot d$$

gdzie:

C — współczynnik według tablicy 6-3,

d — średnica wewnątrz rury zastępczej, m

Tablica 6-3

Współczynnik oporów miejscowych	
r/d	ζ
1,0	0,25
1,5	0,17
2,0	0,14
2,5	0,13

Tablica 6-4

Mnożnik korekcyjny			
α°	C	α°	C
15	0,18	75	0,84
30	0,34	120	1,27
45	0,52	150	1,50
60	0,68	180	1,68

Pozostałe typy połączeń rurociągowych, a przede wszystkim połączenia śrubowe kołnierzowe, kielichowe itp., nie przedstawiają w praktyce większych oporów przepływu i dlatego też nie są z reguły uwzględniane w obliczeniach.

Tablica 6-5

Współczynnik dla złązek		
Rodzaj złązki	Kąt	C
Kolanka	45°	15
Kolanka	90°	32
Kolanka zwrotne	180°	50
Trójniki	90°	60
Trójniki	90°	90

6.8.2.3. Opory przepływu przy zwiększeniach i zmniejszeniach przekroju

Jeżeli płyn przepływa przez przewód z prędkością w_1 i w pewnym momencie poddany zostaje nagłej zmianie prędkości do wartości $w_2 < w_1$, wskutek zwiększenia przekroju przepływu, to traci on część posiadanej energii kinetycznej. Stratę tę oblicza się z równania

$$F = \frac{(w_1 - w_2)^2}{2 \cdot g_c} \quad [6.8.2.-8]$$

gdzie F — strata energii, kGm/kg lub Nm/kg w układzie MKSA.

Tablica 6-6

Prędkość w_1/w_2	Współczynnik oporu ζ przy kawradzi	
	ostrej	zaokrąglonej
0,2	0,35	0,01
0,4	0,29	0,01
0,5	0,22	0,01
0,6	0,17	0,01
0,7	0,10	0
0,8	0,05	0

Jeżeli zwiększenie przekroju przepływu nie następuje nagle, lecz odbywa się stopniowo za pomocą wstawki o rozbieżnych ścianach i kącie wierzchołkowym α , to stratę oblicza się ze wzoru

$$F = 3,5 \left(\frac{\alpha}{2} \right)^{1,22} \frac{(w_1 - w_2)^2}{2 \cdot g_c} \quad [6.8.2.-9]$$

Wzór powyższy odnosi się do kąta $7,5^\circ < \alpha < 35^\circ$. Dla kątów mniejszych od $7,5^\circ$ strata wynosi ok. 15% wielkości obliczanej na podstawie równania [6.8.2.-8].

Stratę energii przy nagłym zmniejszeniu przekroju, kiedy w_2 zwiększa się do wartości $w_2 > w_1$, oblicza się na podstawie wzoru [6.8.2.-6], przyjmując do wzoru prędkość w_2 oraz określając współczynnik oporu ζ z tabl. 6-6. Stosując równanie [6.8.2.-6] należy opierać się na prędkości w_2 , tj. największej prędkości przepływu.

6.8.2.4. Opory przepływu powietrza przez chłodnice

Istnieją dwa zasadnicze typy chłodnic powietrza pod względem układu rur (p. pkt 6.12.1.). Obydwa takie układy przedstawione są na rys. 6-56, na którym układ przestrzenny przedstawiony jest w części górnej, a układ przestawny (szachownicowy) w części dolnej. Opory przepływu powietrza przez tego typu chłodnice oblicza się za pomocą wzoru

$$\Delta P = f \cdot n \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g_c} \cdot \rho \quad [6.8.2.-10]$$

gdzie:

ΔP — opór przepływu powietrza przez chłodnicę, kG/m² lub N/m² w układzie MKSA,

n — liczba rzędów rur, licząc w kierunku przepływu, szt.,

w — średnia prędkość przepływu w przekroju swobodnym pomiędzy rurami, m/sek,

$g_c = 9,81$ — współczynnik przeliczeniowy, kGm/kG · sek² lub 1 kGm/N · sek² w układzie MKSA,

ρ — gęstość powietrza, kg/m³.

Współczynnik oporu przepływu f oblicza się — zgodnie z zaleceniem Jacoba (1938) — opartym o wywody Grimsona (1937—38) podane w formie wzoru dla rur w układzie przestrzennym

$$f = \left[0,176 + \frac{0,32 x_L}{(x_T - 1)^m} \right] Re^{-0,15} \quad [6.8.2.-11]$$

oraz wzoru dla rur w układzie przestawnym (szachownicowym)

$$f = \left[0,92 + \frac{0,44}{(x_T - 1)^{0,68}} \right] Re^{-0,15} \quad [6.8.2.-12]$$

gdzie:

f — współczynnik oporu przepływu, bezwymiarowy,

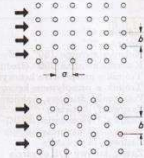
$x_L = a/d$ — stosunek podziałki rozstawu rur w kierunku podłużnym — do średnicy zewnętrznej rury (p. rys. 6-56),

$x_T = b/d$ — stosunek podziałki rozstawu rur w kierunku poprzecznym — do średnicy zewnętrznej rury (p. rys. 6-56),

$m = 0,43 + (1,13/x_L)$,

$Re = w \cdot d/\nu$ — liczba Reynoldsa,

ν — lepkość kinematyczna powietrza, m²/sek.



Rys. 6-56. Przekrój chłodnicy powietrza w układzie przestrzennym (góra) oraz przestawnym lub szachownicowym (dół)

Bez kolanek	Dane						Wynik		
	L - długość odcinka instalacji [m]	D - średnica wewnętrzna przewodu [m]	r - gęstość czynnika [kg/m ³]	V - prędkość przepływu [m/s]	v - współczynnik lepkości kinematycznej [m ² /s]	Re - liczba Reynoldsa	f - współczynnik oporów liniowych	ΔPL- jednostkowe straty liniowe ciśnienia na określonym odcinku [Pa/m]	ΔPL [bar]
Ekwiwalent łuku x2	0	0,025	870	7,707	0,00001	19268,35	0,00332	0	0
Długość łuku	1,1	0,025	870	7,707	0,00001	19268,35	0,00332	15105,90	1,51
Pompka <-> Przepływomierz	0,58	0,025	870	7,707	0,00001	19268,35	0,00332	7964,93	0,80
Przepływomierz	0,12	0,0125	870	30,829	0,00001	38536,72	0,00166	26366,67	3,45
Długość łuku	1,1	0,025	870	7,707	0,00001	19268,36	0,00332	15105,90	1,51
Odcinek pomiarowy	1	0,049	870	2,006	0,00001	9830,80	0,00651	930,53	0,093
Suma	3,9							65473,92	7,36

Z kolankami	Dane						Wynik		
	L - długość odcinka instalacji [m]	D - średnica wewnętrzna przewodu [m]	r - gęstość czynnika [kg/m ³]	V - prędkość przepływu [m/s]	v - współczynnik lepkości kinematycznej [m ² /s]	Re - liczba Reynoldsa	f - współczynnik oporów liniowych	ΔPL- jednostkowe straty liniowe ciśnienia na określonym odcinku [Pa/m]	ΔPL [bar]
Ekwiwalent kolanka x2	0,8	0,025	870	7,707	0,00001	19268,36	0,00332	10986,11	1,099
Ekwiwalent łuku x2	0	0,025	870	7,707	0,00001	19268,36	0,00332	0	0
Długość łuku	0,38	0,025	870	7,707	0,00001	19268,36	0,00332	5218,42	0,522
Pompka <-> Przepływomierz	0,93	0,025	870	7,707	0,00001	19268,36	0,00332	12771,35	1,277
Przepływomierz	0,12	0,0125	870	30,829	0,00001	38536,72	0,00166	26366,66	3,447
Długość łuku	0,38	0,025	870	7,707	0,00001	19268,36	0,00332	5218,40	0,522
Odcinek pomiarowy	1	0,049	870	2,006	0,00001	9830,80	0,00651	930,52	0,093
Suma	2,61							61491,45	6,149

227

l/min

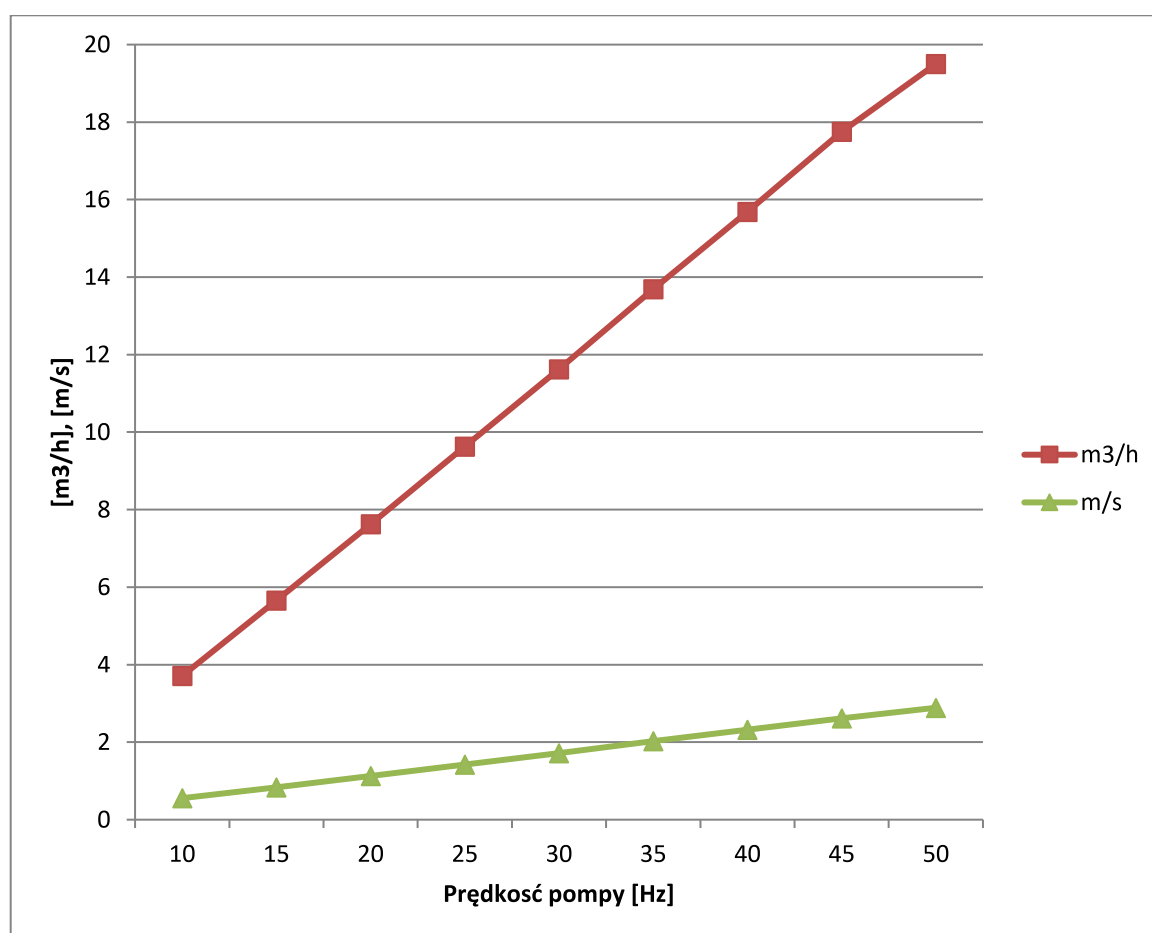
340

nominalnie

Powyższe dane pokazują, że suma strat ciśnienia w rurociągu wynosi 6,15 barów. Bardzo duża część tej straty stanowi przepływomierz turbinowy. Ze względu na ten fakt został on wyeliminowany z układu. Po analizie obliczeń zdecydowano się, aby układ do badań przepływu składał się z następujących elementów: zbiornik medium, zawór kulowy, odcinek prosty rurociągu, pompa, kolano 90 st., odcinek prosty rurociągu, łuk 180 st., odcinek pomiarowy prosty, kolano 90 st., prosty wlot do zbiornika.

Charakterystyka przepływu jaką udało się osiągnąć w układzie po modyfikacjach:

Hz	m ³ /h	m/s
10	3,71	0,555
15	5,656	0,837
20	7,625	1,128
25	9,625	1,421
30	11,625	1,717
35	13,687	2,025
40	15,687	2,318
45	17,75	2,612
50	19,5	2,888



Rys. 5 Charakterystyka przepływu

Działanie III – Temat:

Przeprowadzenie badań przyrządu do pomiaru zawartości fazy gazowej w objętości ropy. Opracowanie i analiza charakterystyk pojemności elektrycznej oraz wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego powietrza. Wykonanie 800 zdjęć przepływu medium oraz ich analiza.

Analizując wykresy pojemności można stwierdzić, że charakterystyki pojemności dla prędkości pompy 25 Hz, 35 Hz oraz 45 Hz powinny posiadać większe różnice pomiędzy sobą. Wraz ze wzrostem prędkości medium stosunek objętości powietrza do objętości medium powinien się zmniejszać a pojemność elektryczna zwiększać. Analizując zdjęcia przepływu medium widać, że przy prędkościach pompy powyżej 25 Hz układ niedostatecznie odgazowuje się przez co powietrze wprowadzone do układu wraca z powrotem zaburzając stosunek objętości podawanego powietrza do objętości przepływającego medium. Pokazuje to, że dla prędkości pompy 35 Hz i 45 Hz układ odgazowujący musi mieć większą powierzchnię.

Dwie pierwsze charakterystyki (największe elektrody pod kątem 0° i 45°) znacznie odbiegają od pozostałych charakterystyk. Punkt pomiarowy przy braku powietrza podawanego powinien być dla wszystkich prędkości taki sam. Rozstrzał tych wartości dowodzi, że układ hydrauliczny nie był dostatecznie ustabilizowany.

Po analizie charakterystyk można stwierdzić, że największą rozdzielczość pomiarowa uzyskać można przy największych elektrodach i ułożonych pod kątem 90° .

Tabela 1

Tabela pierwsza zawiera pomiary pojemności dla największych elektrod. Przenwa pomiędzy elektrodami wynosiła 2 mm. Pomiary wykonano dla trzech różnych wariantów położenia okładek (0°, 45°, 90°) oraz czterech różnych prędkości przepływu medium. Pomiary wykonano dla 7 różnych wielkości podawanego powietrza w zakresie 0 – 1,69 l/m. Do każdego pomiaru pojemności wykonano zdjęcie przepływającego medium. Numery zdjęć dla każdego pomiaru pojemności podane są obok danej wielkości. W ostatnim wierszu tabeli znajduje się temperatura medium w chwili pomiaru. Numery zdjęć w tabelach odpowiadają nazwom plików zdjęć. Aby odnaleźć zdjęcie konkretnego pomiaru należy wejść do folderu „2018-03-19 zdjęcia do pomiarów”, następnie do folderu „zjęcia przepływu”. W folderze tym znajdują się zdjęcia w dwóch rozszerzeniach (.jpg oraz .nef). Po wybraniu konkretnego formatu należy wybrać numer zdjęcia z tabeli.

Ułożenie elektrod		0°											
Prędkość pompy		15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s			25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s			35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s			45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s		
[l/min]		Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
0	10204945	5,8475	5,8475	59-61	10218901	5,8543	96-98	10219457	5,8546	120-122	10249701	5,8694	145
0,16	10184991	5,8378	5,8378	39-41	10204901	5,8475	99-101	10211293	5,8506	123-125	10246378	5,8677	146-148
0,36	10173008	5,8319	5,8319	42-44	10200560	5,8454	102-104	10201806	5,8460	126-128	10242677	5,8659	149-151
0,66	10164405	5,8277	5,8277	45-47	10193578	5,8420	105-107	10196664	5,8435	129-131	10236003	5,8627	152-154
1	10146574	5,8190	5,8190	48-50	10182315	5,8365	108-110	10189909	5,8402	132-134	10224677	5,8571	155-157
1,37	10136937	5,8143	5,8143	51-53	10183074	5,8368	111-113	10182485	5,8365	135-137	10216603	5,8532	158-160
1,69	10131068	5,8114	5,8114	54-56	10178677	5,8347	114-116	10182973	5,8368	140-142	10214598	5,8522	162-164
Temperatura		48,5											
Temperatura		50,9											
Ułożenie elektrod		45°											
Prędkość pompy		15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s			25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s			35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s			45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s		
[l/min]		Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
0	8866682	5,1941	5,1941	305	8705632	5,1154	342-344	8712424	5,1187	364	8704261	5,1148	386-388
0,16	8840570	5,1813	5,1813	306-308	8695681	5,1106	345-347	8698161	5,1118	365-369	8706378	5,1158	389-391
0,36	8817816	5,1702	5,1702	309-311	8688668	5,1071	348-350	8687354	5,1065	371-373	8691495	5,1085	392-394
0,66	8788238	5,1558	5,1558	312-314	8687859	5,1067	351-353	8679847	5,1028	374-376	8685354	5,1055	395-397
1	8761728	5,1428	5,1428	315-317	8677217	5,1016	354-356	8670265	5,0982	377-379	8674355	5,1002	398-400
1,37	8731452	5,1280	5,1280	318-320	8669072	5,0976	357-359	8662192	5,0942	380-382	8669181	5,0976	401-403
1,69	8718369	5,1216	5,1216	321-323	8662567	5,0944	360-362	8660819	5,0935	383-385	8665886	5,0960	404-406
Temperatura		51,4											
Temperatura		50,45											
Ułożenie elektrod		90°											
Prędkość pompy		15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s			25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s			35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s			45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s		
[l/min]		Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
0	8526366	5,0279	5,0279	422	8510935	5,0204	442	8511038	5,0204	462	8524997	5,0272	484
0,16	8455298	4,9932	4,9932	423-425	8497753	5,0139	443-445	8500983	5,0155	463-465	8514236	5,0220	485-487
0,36	8423747	4,9778	4,9778	426-428	8492828	5,0115	446-448	8494425	5,0123	466-468	8508924	5,0194	488-490
0,66	8377893	4,9554	4,9554	429-431	8482194	5,0063	449-451	8484288	5,0073	469-471	8496874	5,0135	491-493
1	8325987	4,9301	4,9301	432-434	8471953	5,0013	452-454	8477921	5,0042	472-474	8488638	5,0095	494-496
1,37	8307597	4,9211	4,9211	435-437	8465077	4,9980	456-458	8473004	5,0018	475-477	8474486	5,0026	497-499
1,69	8281888	4,9085	4,9085	438-440	8462946	4,9969	459-461	8470859	5,0008	478-480	8470225	5,0005	500-502
Temperatura		51,6											
Temperatura		52,6											
Temperatura		54,3											

Największe okładki (odstęp między 2 mm)

Tabela 2

Tabela druga zawiera pomiary pojemności dla średnich elektrod. Przenwa pomiędzy elektrodami wyniosła 26 mm. Pomiary wykonano dla trzech różnych wariantów położenia okładek (0°, 45°, 90°) oraz czterech różnych prędkości przepływu medium. Pomiary wykonano dla 7 różnych wielkości podawanego powietrza w zakresie 0 – 1,69 l/m. Do każdego pomiaru pojemności wykonano zdjęcia przepływającego medium. Numery zdjęć dla każdego pomiaru pojemności podane są obok danej wielkości. W ostatnim wierszu tabeli znajduje się temperatura medium w chwili pomiaru. Numery zdjęć w tabelach odpowiadają nazwom plików zdjęć. Aby odnaleźć zdjęcie konkretnego pomiaru należy wejść do folderu „2018-03-19 zdjęcia do pomiarów”, następnie do folderu „zdjęcia przepływu”. W folderze tym znajdują się zdjęcia w dwóch rozszerzeniach (.jpg oraz nef). Po wybraniu konkretnego formatu należy wybrać numer zdjęcia z tabeli.

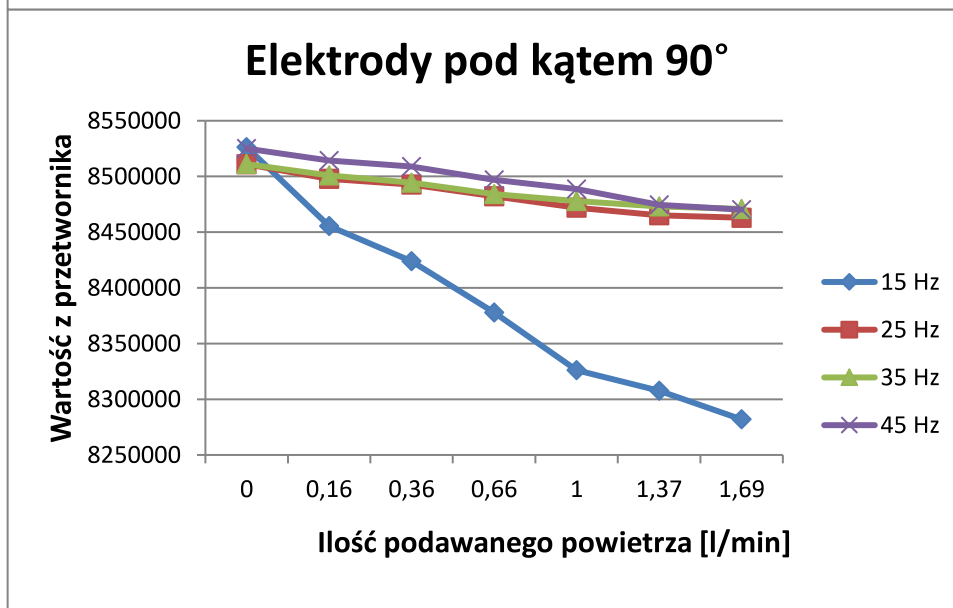
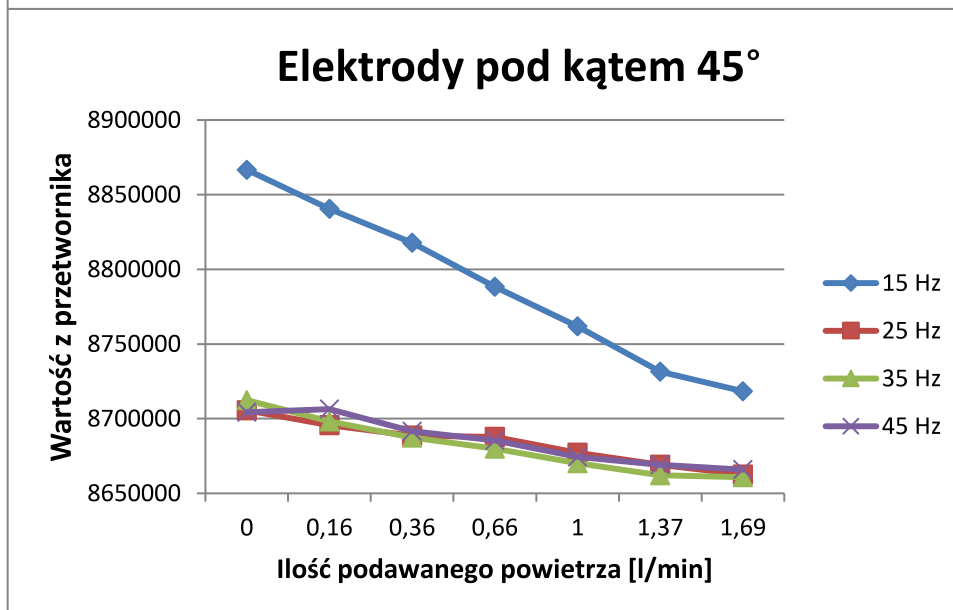
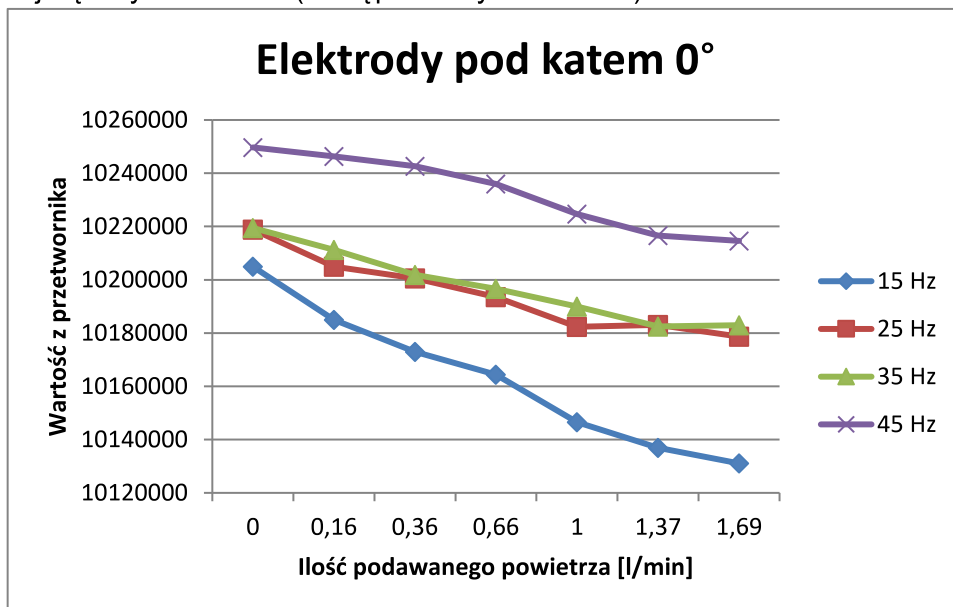
Ułożenie elektrod		0°															
		15 Hz				25 Hz				35 Hz				45 Hz			
Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia		
																45,2	
Ułożenie elektrod		45°															
Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s				45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s			
		Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	
Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia		
																49,5	
Ułożenie elektrod		90°															
Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s				45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s			
		Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	
Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia		
																49,4	
Ułożenie elektrod		45,2															
Ułożenie elektrod		49,4															
0	4279917	2,9544	511	4278706	2,9538	531	4284238	2,9565	553	4284121	2,9565	575	4284121	2,9565	575		
0,16	4263649	2,9465	513-515	4265399	2,9473	532-534	4275614	2,9523	557-559	4283006	2,9559	577-579	4283006	2,9559	577-579		
0,36	4254088	2,9418	516-518	4263065	2,9462	535-537	4268529	2,9489	560-562	4276494	2,9528	580-582	4276494	2,9528	580-582		
0,66	4240444	2,9352	519-521	4256970	2,9432	538-540	4263054	2,9462	563-565	4269842	2,9495	583-585	4269842	2,9495	583-585		
1	4223898	2,9271	522-524	4251665	2,9406	541-543	4256345	2,9429	566-568	4265571	2,9474	586-588	4265571	2,9474	586-588		
1,37	4210948	2,9208	525-527	4251874	2,9407	547-549	4255807	2,9427	569-571	4259888	2,9447	589-591	4259888	2,9447	589-591		
1,69	4205295	2,9180	528-530	4250525	2,9401	550-552	4253665	2,9416	572-574	4259812	2,9446	592-594	4259812	2,9446	592-594		
Temperatura		45,2															
Temperatura		45,1															
Temperatura		45															
Temperatura		49,3															
Ułożenie elektrod		45°															
Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s				45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s			
		Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	
0	4106323	2,8697	596	4109186	2,8711	616	4113306	2,8731	636	4111215	2,8721	657	4111215	2,8721	657		
0,16	4083998	2,8588	597-599	4100222	2,8667	617-619	4103842	2,8685	638-640	4105400	2,8692	658-660	4105400	2,8692	658-660		
0,36	4068900	2,8514	600-602	4094771	2,8640	620-622	4098882	2,8660	641-643	4102926	2,8680	661-663	4102926	2,8680	661-663		
0,66	4051537	2,8429	603-605	4090116	2,8618	623-625	4094388	2,8638	644-646	4094432	2,8639	664-666	4094432	2,8639	664-666		
1	4037899	2,8363	606-608	4085528	2,8595	626-628	4087640	2,8605	647-649	4090804	2,8621	667-669	4090804	2,8621	667-669		
1,37	4025037	2,8300	609-611	4080591	2,8571	629-631	4082999	2,8583	650-652	4084494	2,8590	670-672	4084494	2,8590	670-672		
1,69	4021012	2,8280	612-614	4075453	2,8546	632-634	4080956	2,8573	653-655	4084595	2,8591	673-675	4084595	2,8591	673-675		
Temperatura		49,5															
Temperatura		51,1															
Temperatura		51,2															
Temperatura		52,1															
Ułożenie elektrod		90°															
Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s				45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s			
		Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	
0	3945792	2,7913	679	3958935	2,7977	699	3965939	2,8011	718	3967597	2,8019	737	3967597	2,8019	737		
0,16	3929300	2,7832	680-682	3951103	2,7939	700-702	3956503	2,7965	719-721	3961458	2,7989	738-740	3961458	2,7989	738-740		
0,36	3915405	2,7764	683-685	3948143	2,7924	703-705	3949647	2,7932	722-724	3958388	2,7974	741-743	3958388	2,7974	741-743		
0,66	3896022	2,7670	686-688	3944296	2,7906	706-708	3946754	2,7918	725-727	3950801	2,7937	744-746	3950801	2,7937	744-746		
1	3887674	2,7629	689-691	3932537	2,7848	709-711	3940567	2,7887	728-730	3944058	2,7904	747-749	3944058	2,7904	747-749		
1,37	3871857	2,7552	692-694	3932934	2,7850	712-714	3938530	2,7877	731-733	3940378	2,7886	750-752	3940378	2,7886	750-752		
1,69	3868368	2,7535	695-697	3932881	2,7850	715-717	3932704	2,7849	734-736	3939857	2,7884	753-755	3939857	2,7884	753-755		
Temperatura		47,2															
Temperatura		46,5															
Temperatura		48,5															

Tabela 3

Tabela zawiera pomiary pojemności dla najmniejszych elektrod. Przenwa pomiędzy elektrodami wynosiła 40 mm. Pomiary wykonano dla trzech różnych wariantów położenia okładek (0°, 45°, 90°) oraz czterech różnych prędkości przepływu medium. Pomiary wykonano dla 7 różnych wielkości podawanego powietrza w zakresie 0 – 1,69 l/m. Do każdego pomiaru pojemności wykonano zdjęcie przepływającego medium. Numery zdjęć dla każdego pomiaru pojemności podane są obok danej wielkości. W ostatnim wierszu tabeli znajduje się temperatura medium w chwili pomiaru. Numery zdjęć w tabelach odpowiadają nazwom plików zdjęć. Aby odnaleźć zdjęcie konkretnego pomiaru należy wejść do folderu „2018-03-19 zdjęcia do pomiarów”, następnie do folderu „zdjęcia przepływu”. W folderze tym znajdują się zdjęcia w dwóch rozszerzeniach (.jpg oraz nef). Po wybraniu konkretnego formatu należy wybrać numer zdjęcia z tabeli.

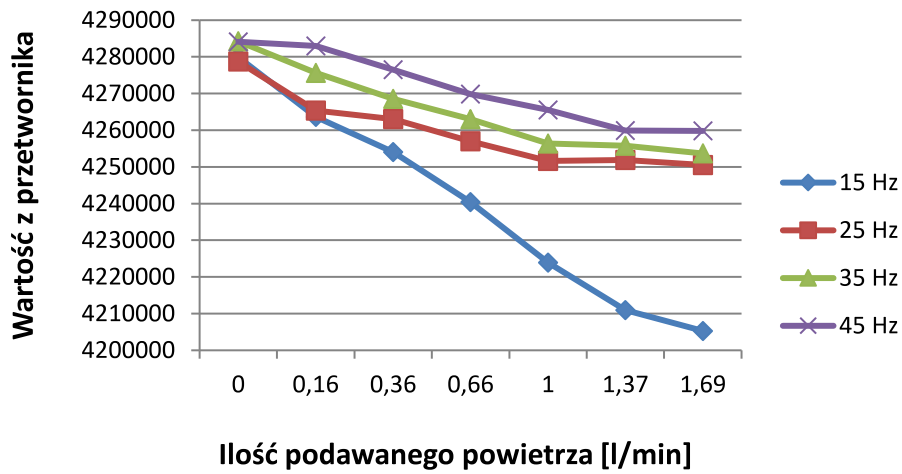
Najmniejsze okładki (odstęp między 40 mm)												
Ułożenie elektrod 0°												
Prędkość pompy	15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s			25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s			35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s			45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s		
	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
0	3192693	2,4236	759	3185409	2,4200	778	3179238	2,4170	798	3174655	2,4148	817
0,16	3174069	2,4145	760-762	3176093	2,4155	779-781	3175941	2,4154	799-801	3168410	2,4117	818-820
0,36	3158179	2,4067	763-765	3169337	2,4122	782-784	3170742	2,4128	802-804	3168828	2,4119	821-823
0,66	3143847	2,3997	766-768	3168862	2,4119	785-787	3166295	2,4107	805-807	3162398	2,4088	824-826
1	3121700	2,3889	769-771	3156479	2,4059	788-790	3159768	2,4075	808-810	3160179	2,4077	827-829
1,37	3113142	2,3847	772-774	3157944	2,4066	791-793	3156782	2,4060	811-813	3155297	2,4053	830-832
1,69	3101301	2,3789	775-777	3150464	2,4029	794-796	3155037	2,4052	814-816	3154223	2,4048	833-835
Temperatura	51,2											
Ułożenie elektrod 45°												
Prędkość pompy	15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s			25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s			35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s			45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s		
	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
0	2991635	2,3254	837	2997014	2,3280	857	2997765	2,3284	878	3004898	2,3319	898
0,16	2975245	2,3174	838-840	2989478	2,3243	858-860	2994376	2,3267	879-881	3000267	2,3296	899-901
0,36	2967209	2,3135	841-843	2984179	2,3217	862-864	2987270	2,3233	882-884	2996317	2,3277	902-904
0,66	2957100	2,3085	844-846	2983831	2,3216	865-867	2981349	2,3204	885-887	2990203	2,3247	905-907
1	2940448	2,3004	847-849	2977247	2,3184	868-870	2980744	2,3201	888-890	2986152	2,3227	908-910
1,37	2929315	2,2950	850-852	2975160	2,3173	871-873	2976393	2,3179	891-893	2984182	2,3218	911-913
1,69	2927611	2,2941	854-856	2971426	2,3155	874-876	2976441	2,3180	894-896	2982862	2,3211	914-916
Temperatura	47,1											
Ułożenie elektrod 90°												
Prędkość pompy	15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s			25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s			35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s			45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s		
	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
0	3081981	2,3695	921	3085716	2,3713	942	3083463	2,3702	961	3092294	2,3745	980
0,16	3073181	2,3652	922-924	3075312	2,3662	943-945	3077120	2,3671	962-964	3087106	2,3720	981-983
0,36	3066209	2,3618	925-927	3073228	2,3652	946-948	3074808	2,3660	965-967	3083313	2,3702	984-986
0,66	3051891	2,3548	930-932	3067270	2,3623	949-951	3069301	2,3633	968-970	3079668	2,3684	987-989
1	3038925	2,3485	933-935	3061620	2,3596	952-954	3065145	2,3613	971-973	3073554	2,3654	990-992
1,37	3034593	2,3464	936-938	3058740	2,3582	955-957	3062351	2,3599	974-976	3072865	2,3651	993-995
1,69	3029074	2,3437	939-941	3062143	2,3598	958-960	3059900	2,3587	977-979	3071511	2,3644	996-998
Temperatura	51,8											
53												

Charakterystyka wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego powietrza dla największych elektrod (odstęp między nimi 2 mm)

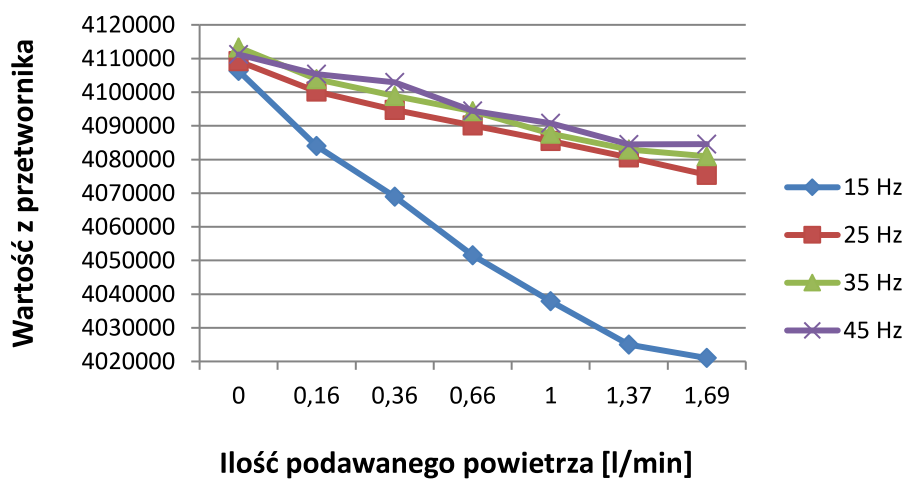


Charakterystyka wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego powietrza dla średnich elektrod (odstęp między nimi 26 mm)

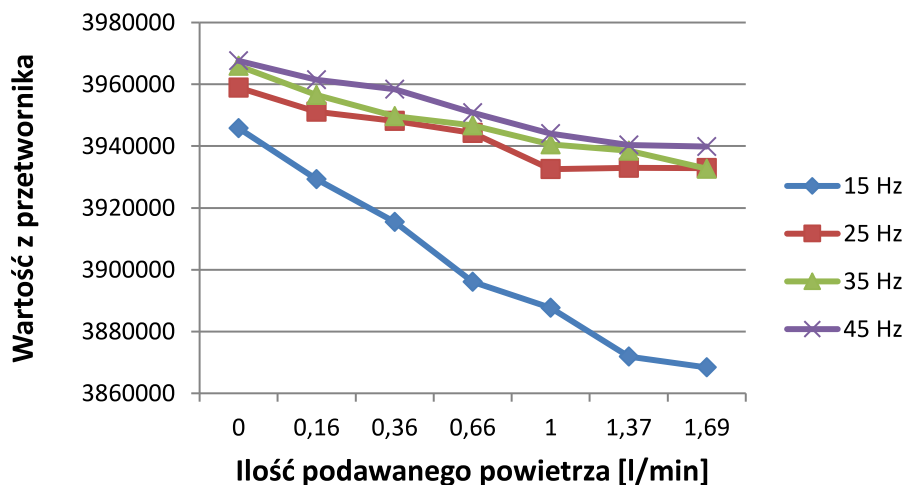
Elektrody pod kątem 0°



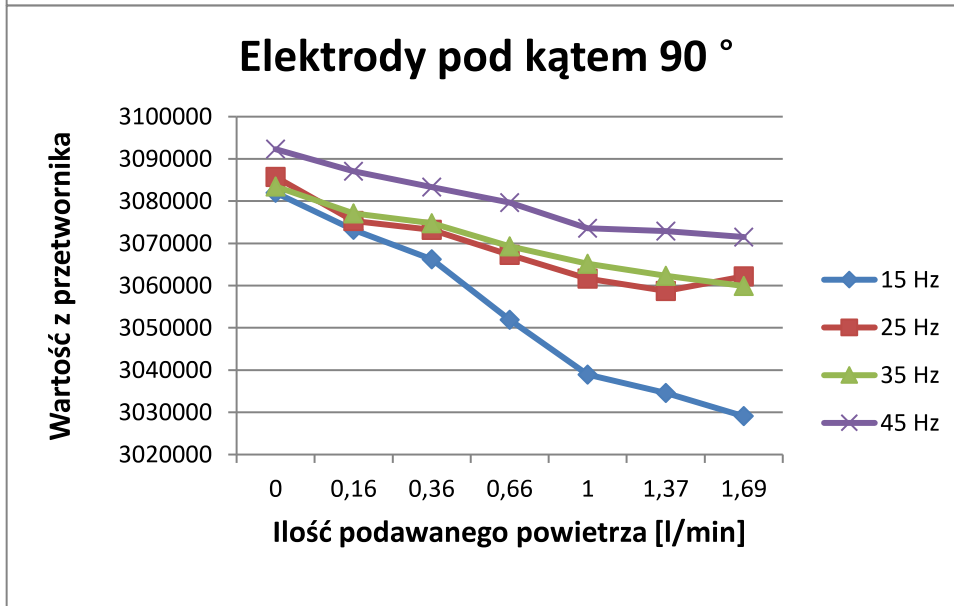
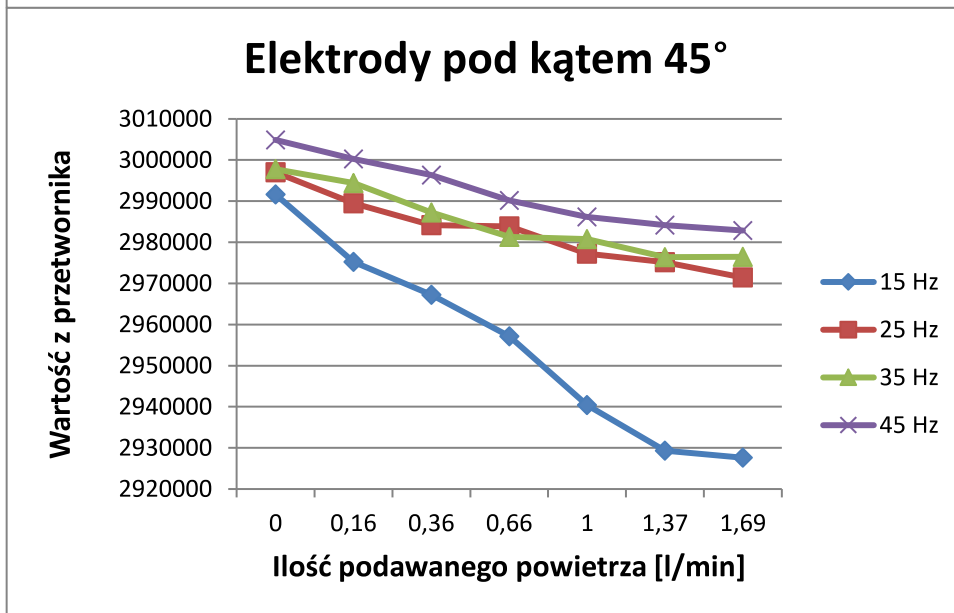
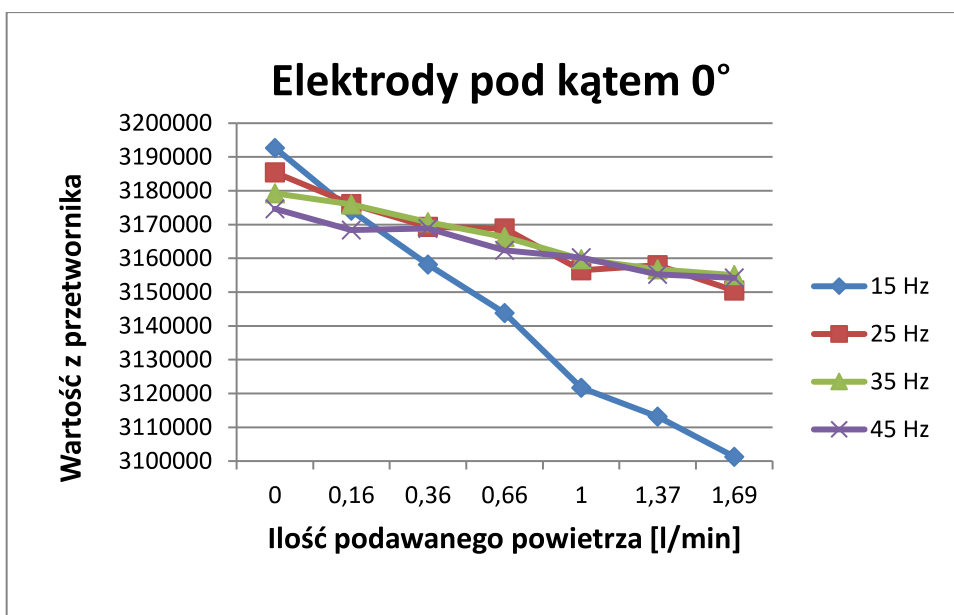
Elektrody pod kątem 45°



Elektrody pod kątem 90°

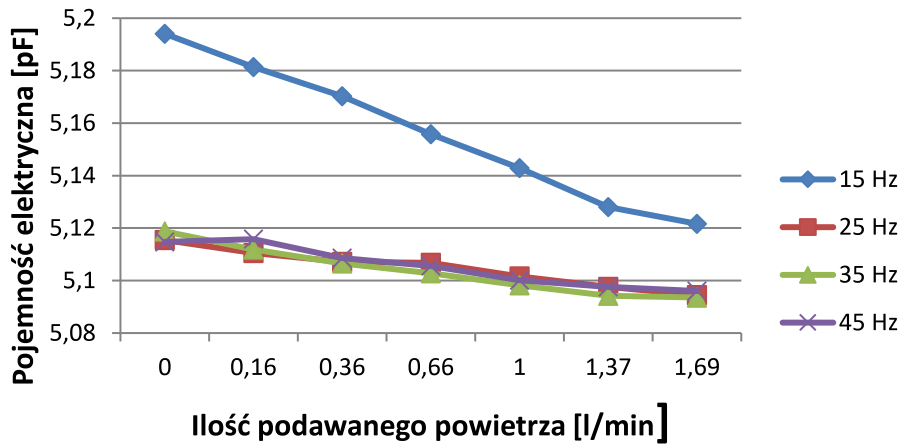


Charakterystyka wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego powietrza dla najmniejszych elektrod (odstęp między nimi 40 mm)

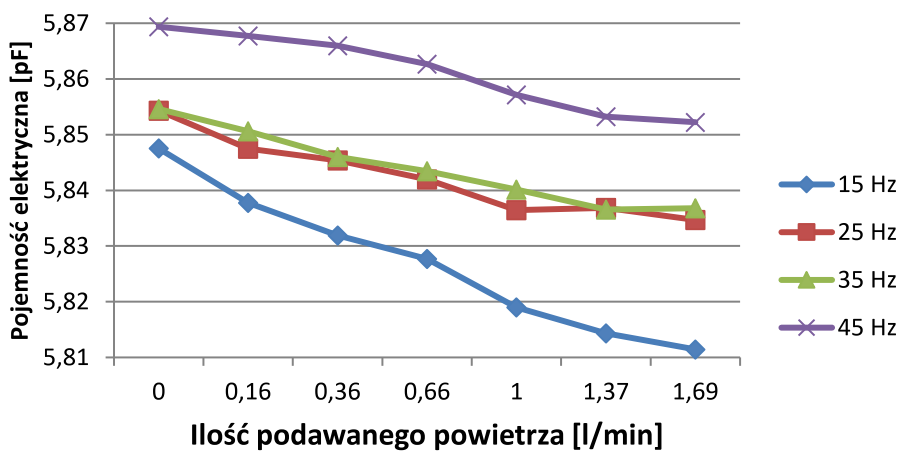


Charakterystyka pojemności elektrycznej w funkcji ilości podawanego powietrza dla największych elektrod (odstęp między nimi 2 mm)

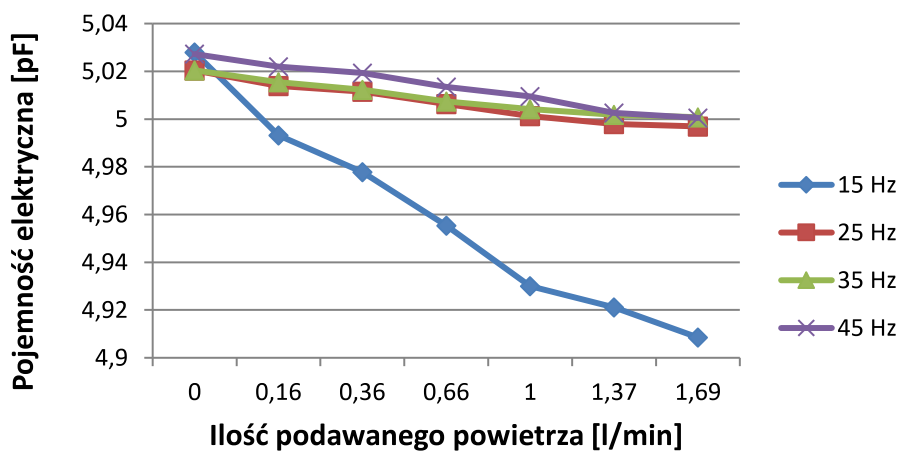
Elektrody pod kątem 45°

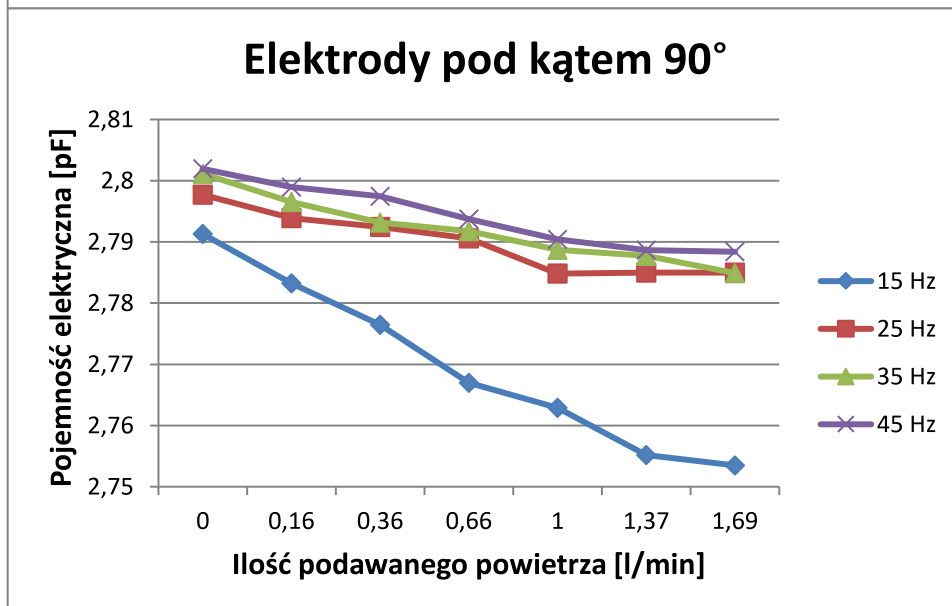
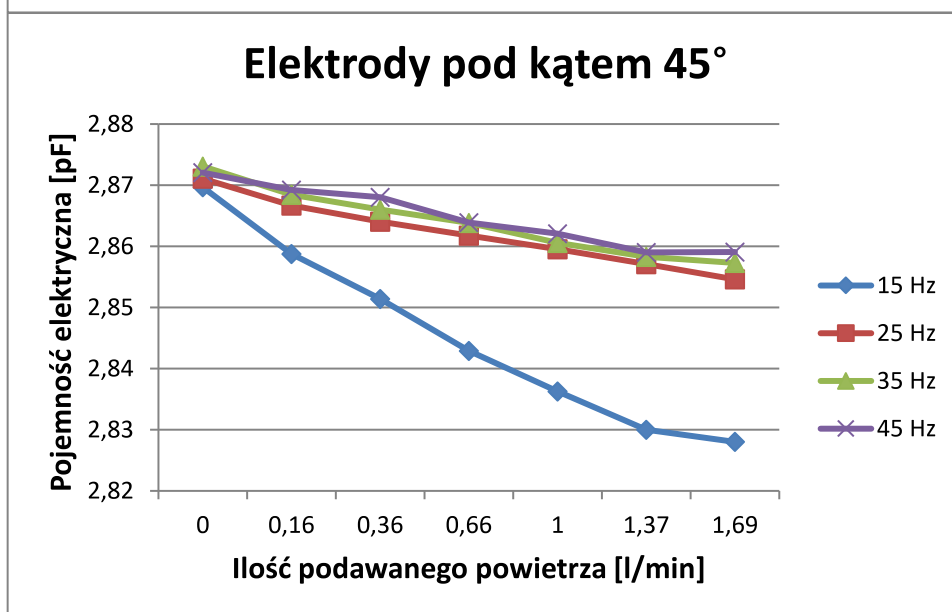
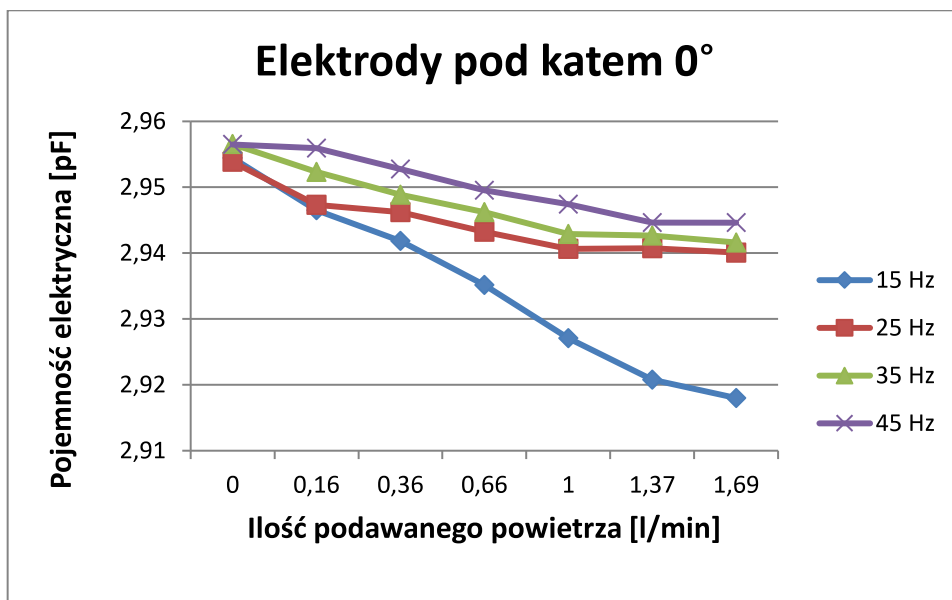


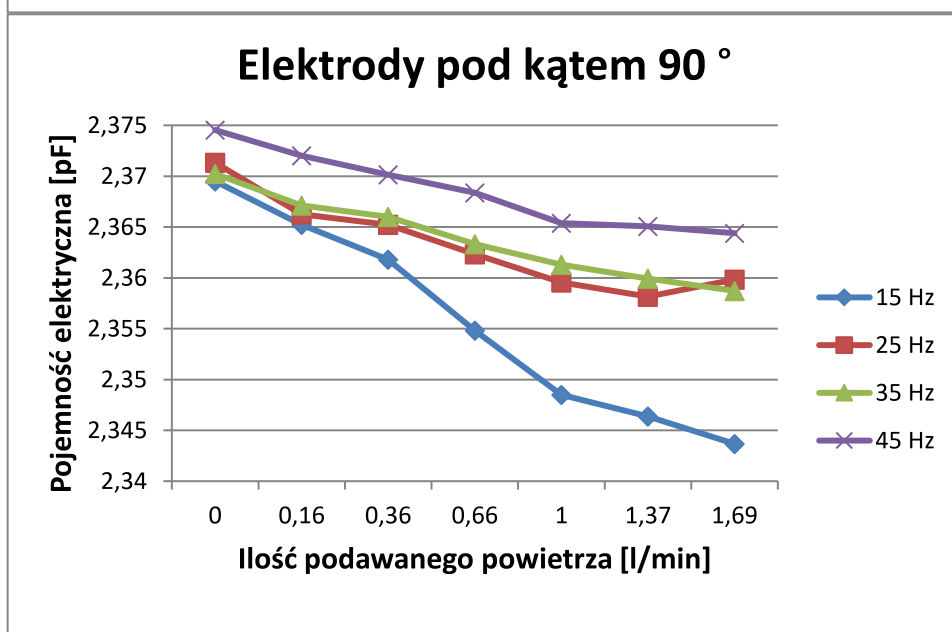
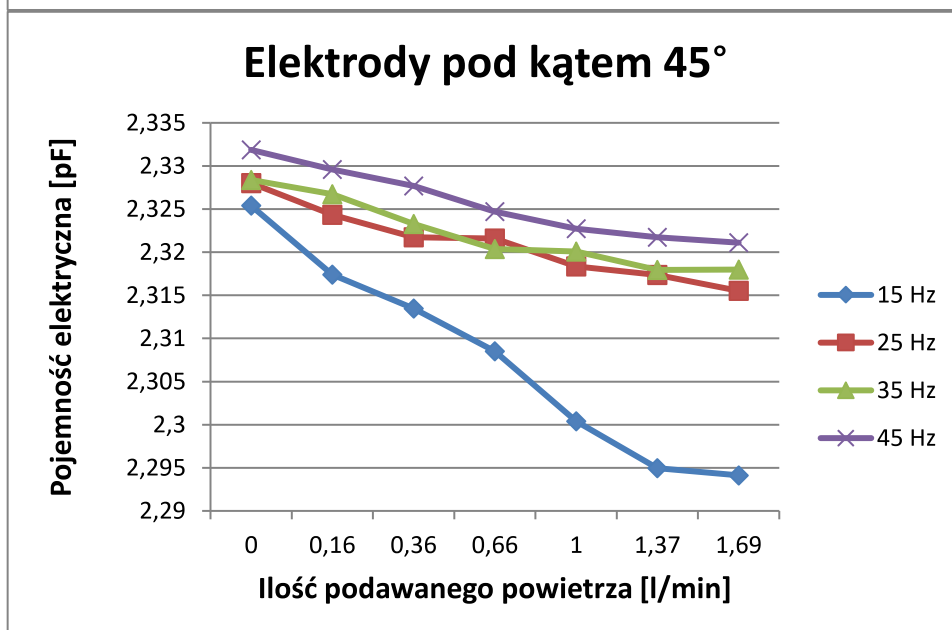
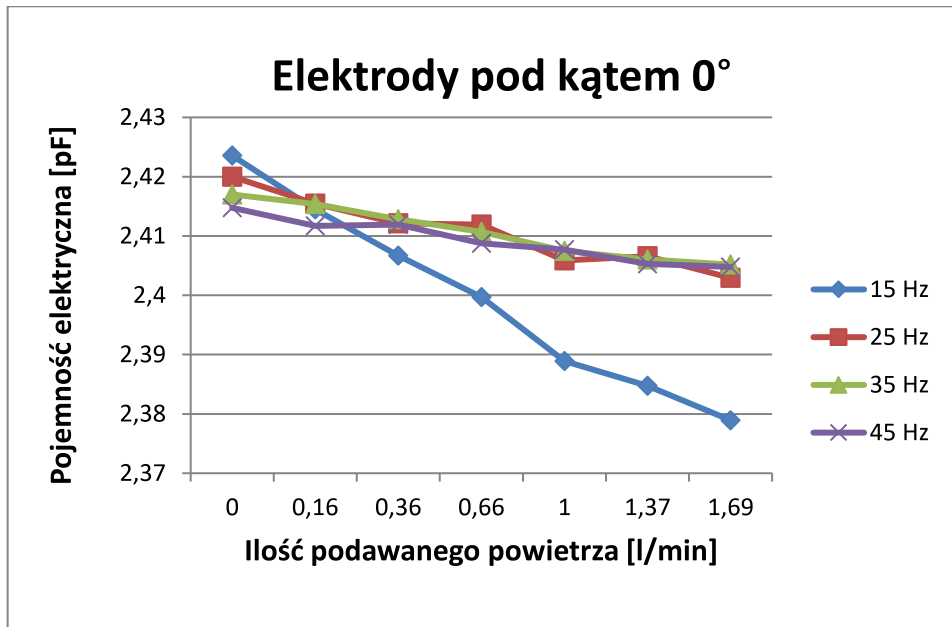
Elektrody pod kątem 0°



Elektrody pod kątem 90°



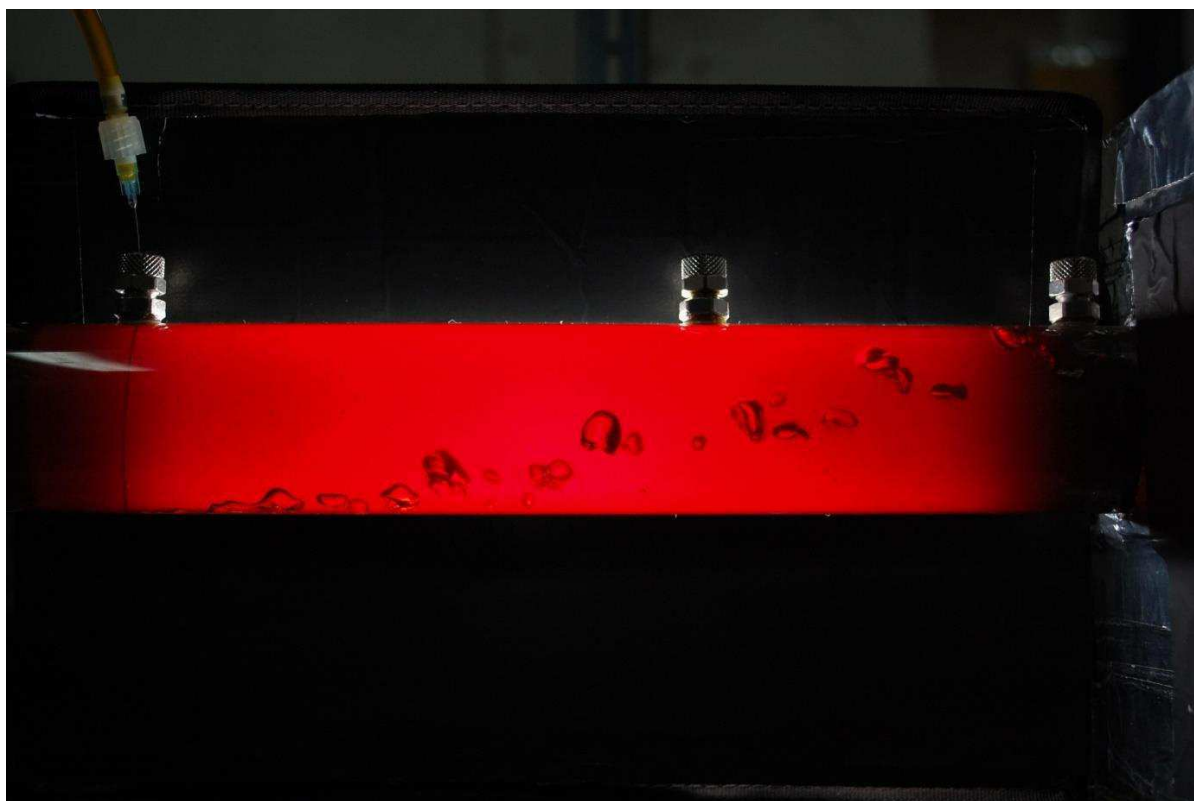




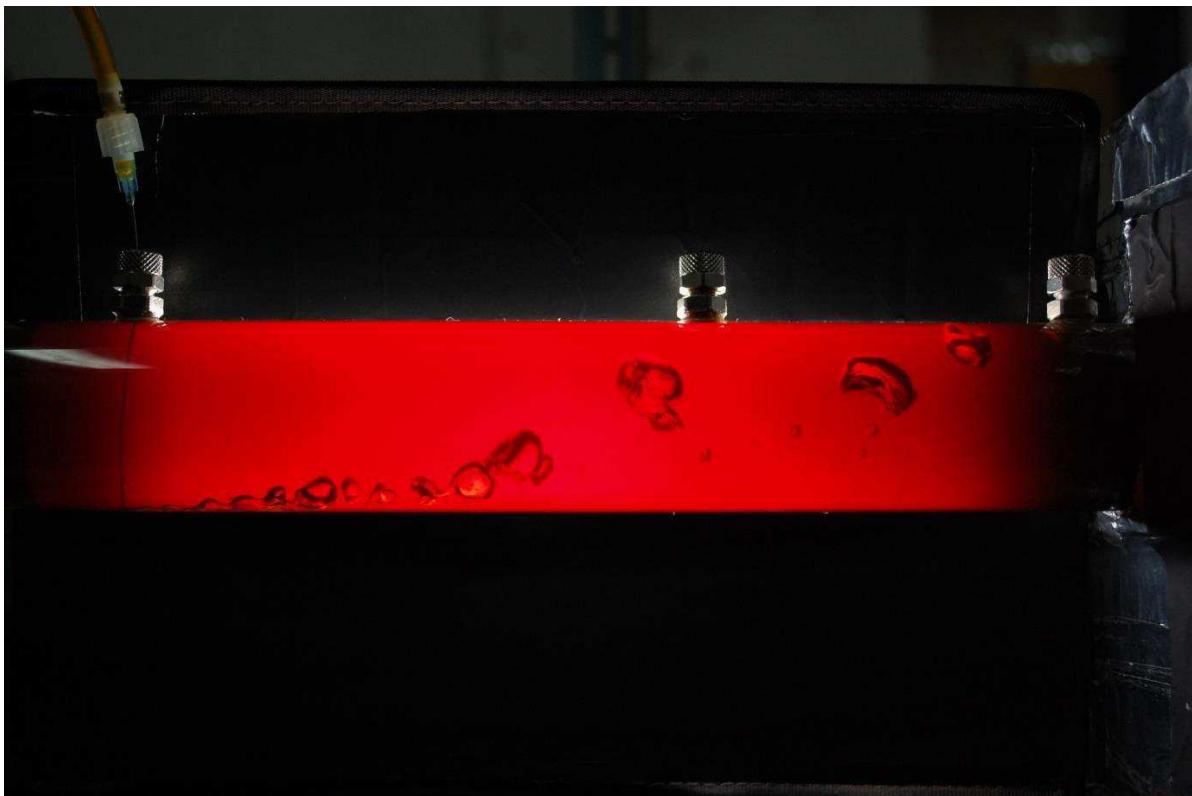
Działanie IV - Temat:

Przeprowadzenie badań przyrządu do pomiaru zawartości fazy gazowej w objętości ropy. Opracowanie i analiza charakterystyk pojemności elektrycznej oraz wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego powietrza.

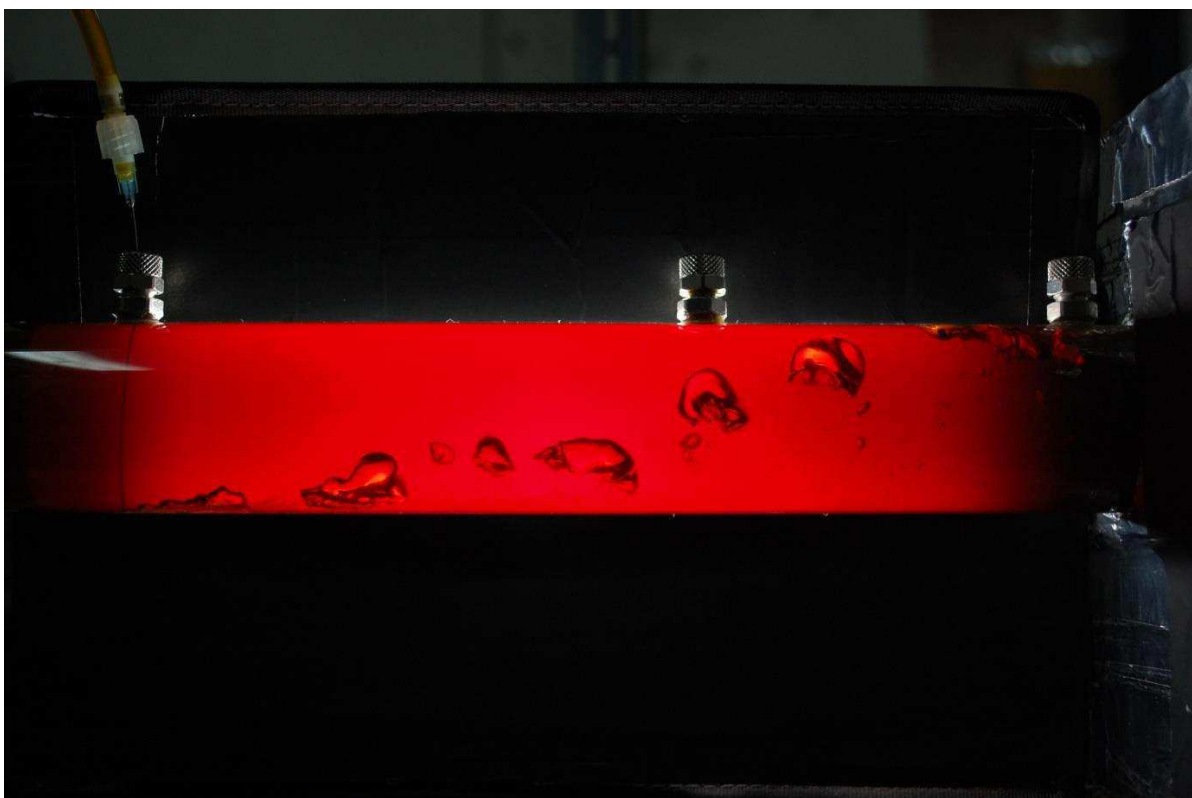
Jednym z najważniejszych aspektów przeprowadzonych badań, było wykonanie zdjęć przepływającemu medium, aby móc porównać otrzymane wyniki pomiaru pojemności z rzeczywistym charakterem przepływu medium w rurze oraz rozkładem pęcherzy powietrza w przekroju rury. Aby móc wykonać zdjęcia przepływu, zaprojektowany został przezroczysty odcinek pomiarowy, na którym umieszczone zostały również wpusty gazu do symulacji przepływu medium z pęcherzami gazu. Aby możliwe było sfotografowanie pęcherzy znajdujących się w rurze, za rurą ustawiona została lampa błyskowa, której flash w chwili wykonania zdjęcia przeświecił przezroczystą rurę na wylot i uwidaczniał przepływające pęcherze powietrza. Poniżej przedstawione zostaną zdjęcia, które zestawione będą z charakterystyką pojemności elektrycznej w funkcji ilości podawanego powietrza.



Zdjęcie 1. Przepływ medium 5,8 m³, ilość podawanego powietrza 0,16 l/min. Pojemność: 2,4145 pF.



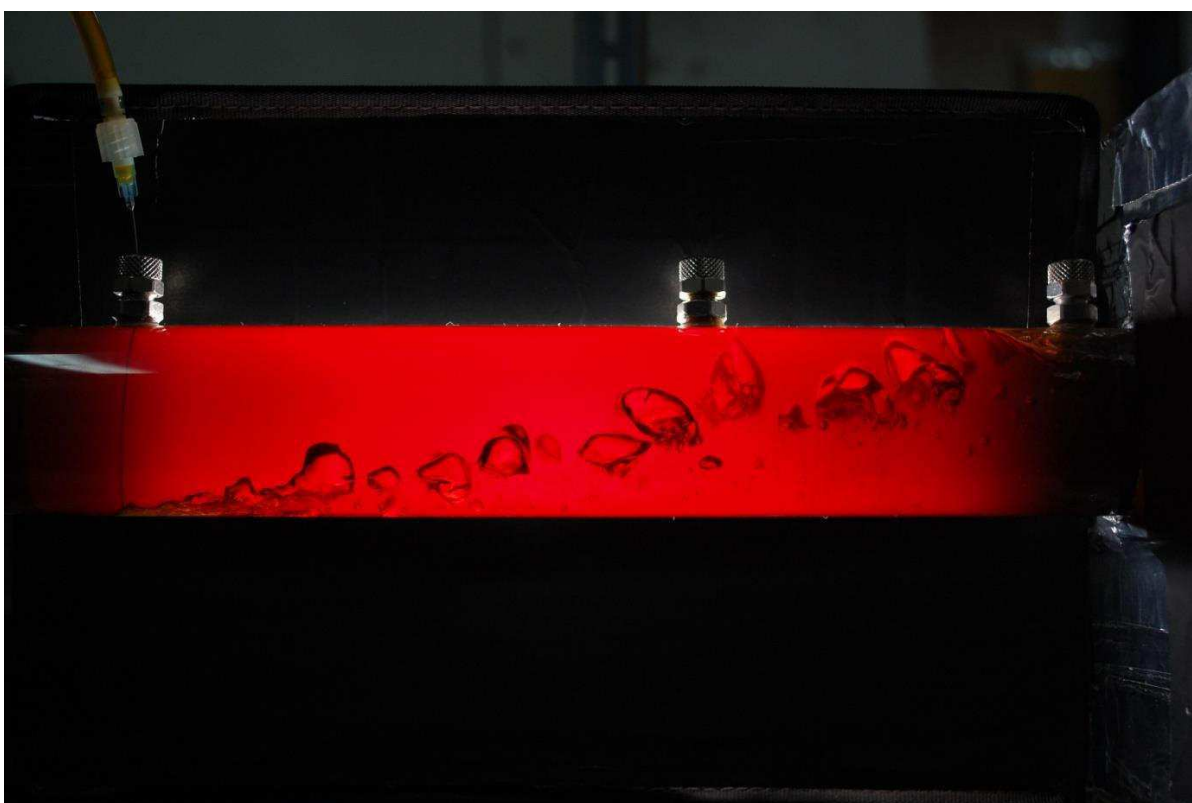
Zdjęcie 2. Przepływ medium 5,8 m³, ilość podawanego powietrza 0,36 l/min. Pojemność: 2,4067 pF.



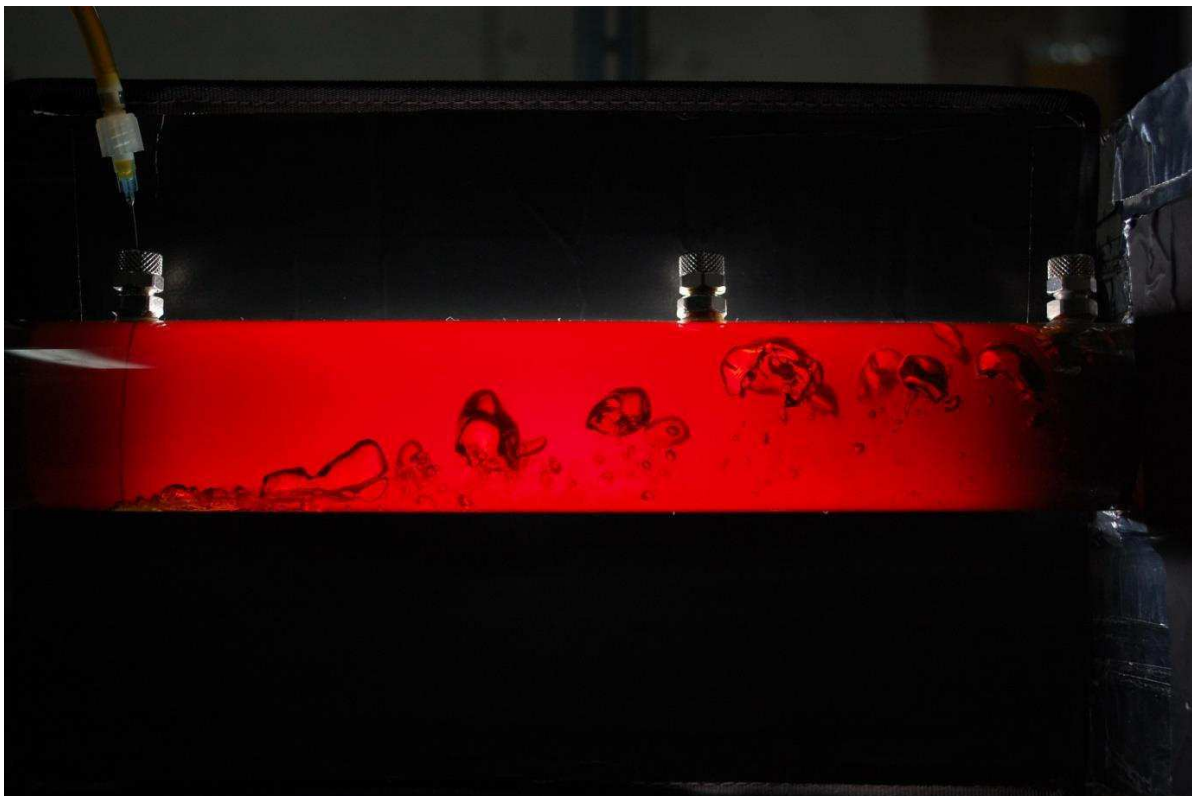
Zdjęcie 3. Przepływ medium 5,8 m³, ilość podawanego powietrza 0,66 l/min. Pojemność: 2,3997 pF.



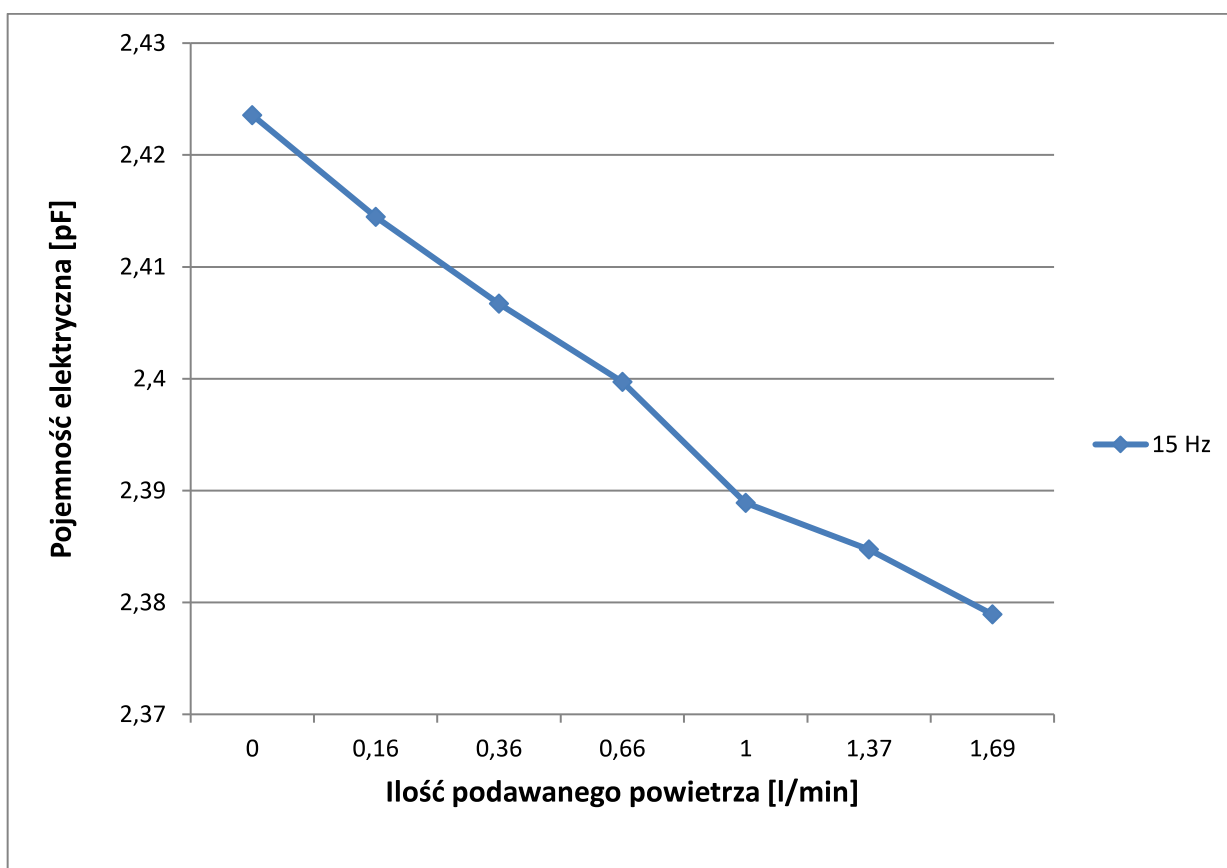
Zdjęcie 4. Przepływ medium 5,8 m³, ilość podawanego powietrza 1 l/min. Pojemność: 2,3889 pF.



Zdjęcie 6. Przepływ medium 5,8 m³, ilość podawanego powietrza 1,37 l/min. Pojemność: 2,3847 pF.



Zdjęcie 6. Przepływ medium 5,8 m³, ilość podawanego powietrza 1,69 l/min. Pojemność: 2,3789 pF.



Charakterystyka pojemności elektrycznej w funkcji ilości podawanego powietrza.

Powyższe zdjęcia pokazują podawanie kolejno coraz większych ilości gazu do medium przepływającego ze stałą prędkością. Widać na nich gołym okiem, że objętość podawanego gazu się zwiększa. W chwili zrobienia zdjęcia mierzona była pojemność elektryczna. Zgodnie z przewidywaniami mierzona pojemność elektryczna spadała wraz z kolejnymi wielkościami

podawanego gazu. Zależność ta najlepiej widać na charakterystyce pojemności elektrycznej w funkcji podawanego powierza. Wyniki te potwierdzają poprawność działania przyrządu do pomiaru pojemności medium dwufazowego.



Zdjęcie 7. Zdjęcie stanowiska do robienia zdjęć przepływającego w odcinku pomiarowym.

Pomiary przeprowadzone zostały dla różnych prędkości przepływu medium, różnych ilości podawanego gazu, różnych wielkości elektrod przyrządu do pomiaru pojemności oraz różnego ułożenia tych elektrod na odcinku pomiarowym. Po przeprowadzeniu całego cyklu badań w powyższym zakresie można wysnuć następujące wnioski.

Analizując wykresy pojemności można stwierdzić, że charakterystyki pojemności dla prędkości pompy 25 Hz, 35 Hz oraz 45 Hz powinny posiadać większe różnice pomiędzy sobą. Wraz ze wzrostem prędkości medium stosunek objętości powietrza do objętości medium powinien się zmniejszać a pojemność elektryczna zwiększać. Analizując zdjęcia przepływu medium widać, że przy prędkościach pompy powyżej 25 Hz układ niedostatecznie odgazowuje się przez co powietrze wprowadzone do układu wraca z powrotem zaburzając stosunek objętości podawanego powietrza do objętości przepływającego medium. Pokazuje to, że dla prędkości pompy 35 Hz i 45 Hz układ odgazowujący musi mieć większą powierzchnię.

Dwie pierwsze charakterystyki (największe elektrody pod kątem 0° i 45°) znacznie odbiegają od pozostałych charakterystyk. Punkt pomiarowy przy braku powietrza podawanego powinien być dla wszystkich prędkości taki sam. Rozstrzał tych wartości dowodzi, że układ hydrauliczny nie był dostatecznie ustabilizowany.

Po analizie charakterystyk można stwierdzić, że największą rozdzielczość pomiarowa uzyskać można przy największych elektrodach i ułożonych pod kątem 90° .

Działanie V - Temat:

Przeprowadzenie badań porównawczych przyrządu do pomiaru zawartości fazy gazowej w objętości ropy przy użyciu Metanu jako gazu testowego. Przystosowanie układu pomiarowego do użycia w warunkach zagrożenia wybuchowego. Opracowanie i analiza charakterystyk pojemności elektrycznej oraz wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego metanu w funkcji zmiennej temperatury i zmiennego przepływu.

Wyniki badania medium złożowego z podawanym metanem

Ułożenie elektrod		90°												
		15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s				
Największe okładki	Prędkość pompy	Ilość podawanego metanu [l/min]	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
			0	879103	1,29387	11	879553	1,29409	23	880461	1,29454	35		
			0,216	868483	1,28869	12-13	878011	1,29334	24-25	879697	1,29416	36-37		
			0,486	865083	1,28703	14-15	877360	1,29302	26-27	879369	1,29400	38-39		
			0,891	861023	1,28505	16-17	876943	1,29282	28-29	878909	1,29378	40-41		
			1,35	857077	1,28312	18-19	874766	1,29176	30-31	878175	1,29342	42-43		
1,8495	852033	1,28066	20-21	873926	1,29135	32-33	877532	1,29311	44-45					
Temp. 45°C														

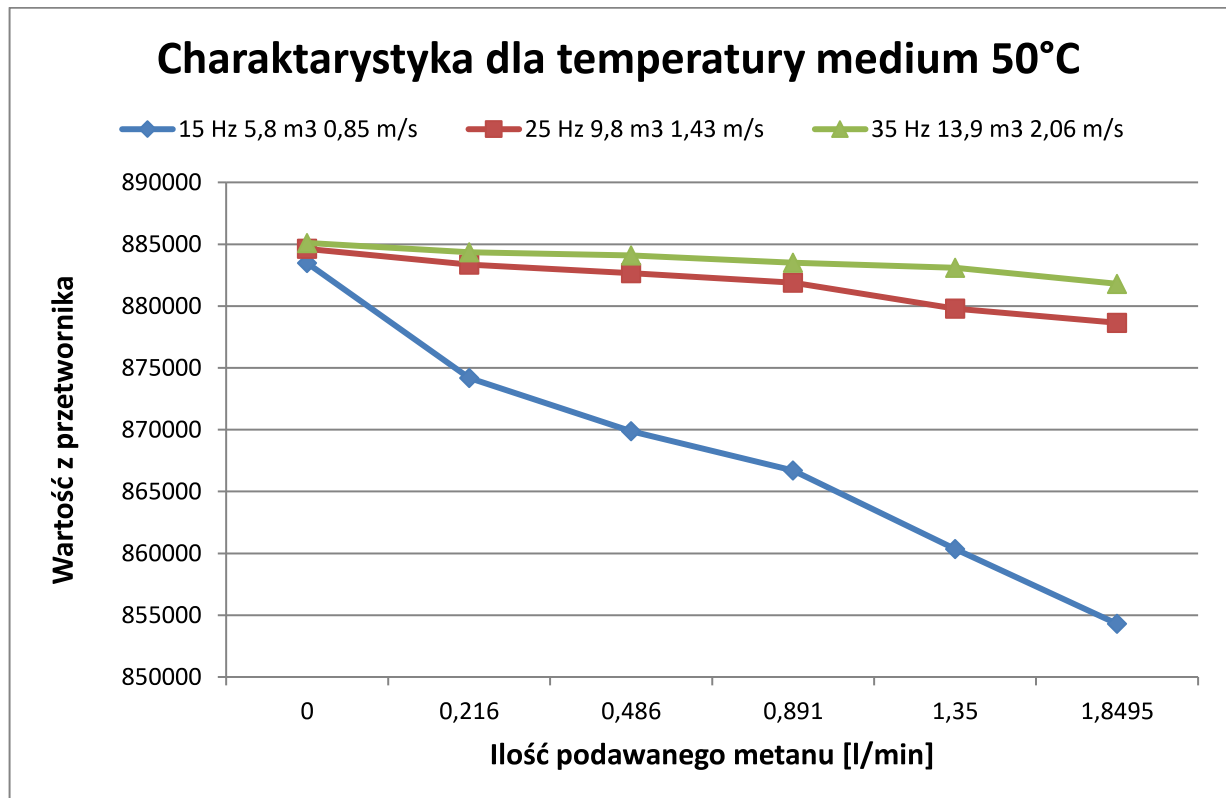
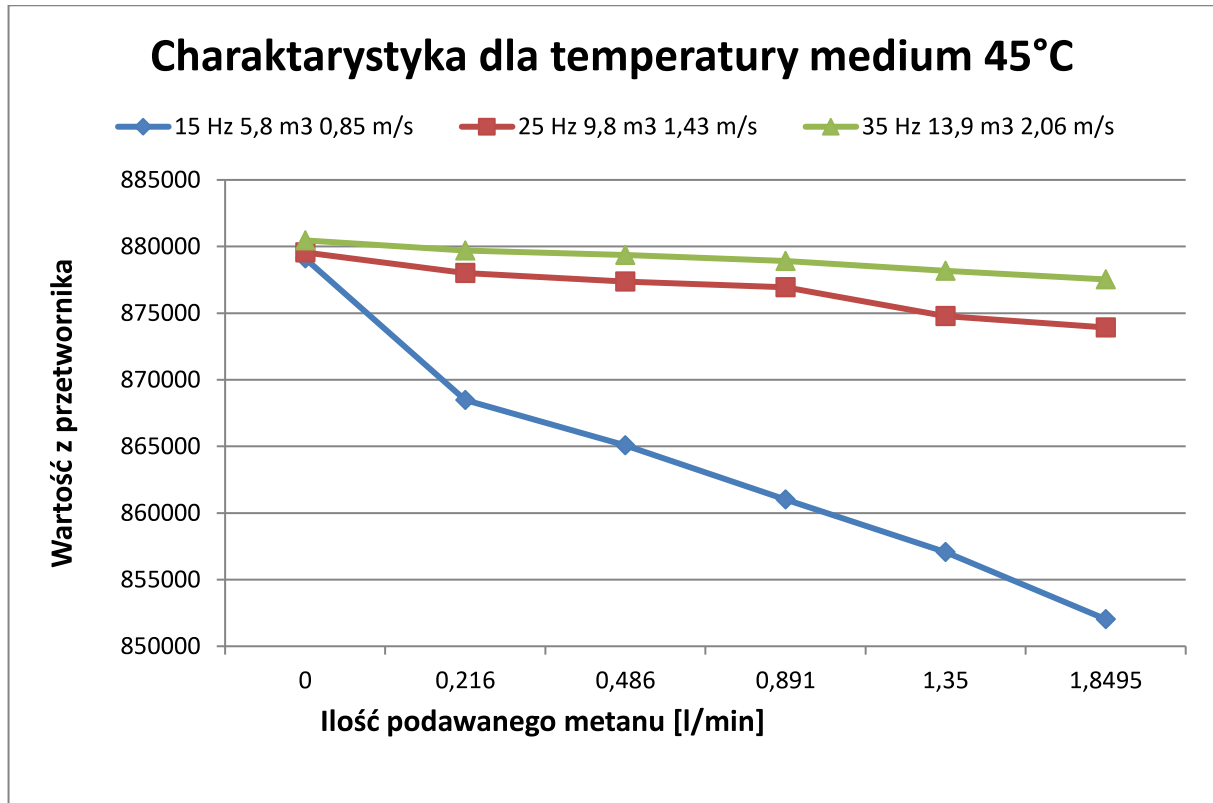
Ułożenie elektrod		90°												
		15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s				
Największe okładki	Prędkość pompy	Ilość podawanego metanu [l/min]	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
			0	883472	1,29601	49	884619	1,29657	61	885103	1,29680	73		
			0,216	874170	1,29147	50-51	883356	1,29595	62-63	884352	1,29644	74-75		
			0,486	869885	1,28937	52-53	882657	1,29561	64-65	884087	1,29631	76-77		
			0,891	866702	1,28782	54-55	881886	1,29523	66-67	883509	1,29603	78-79		
			1,35	860357	1,28472	56-57	879796	1,29421	68-69	883086	1,29582	80-81		
1,8495	854299	1,28176	58-59	878646	1,29365	70-71	881797	1,29519	82-83					
Temp. 50°C														

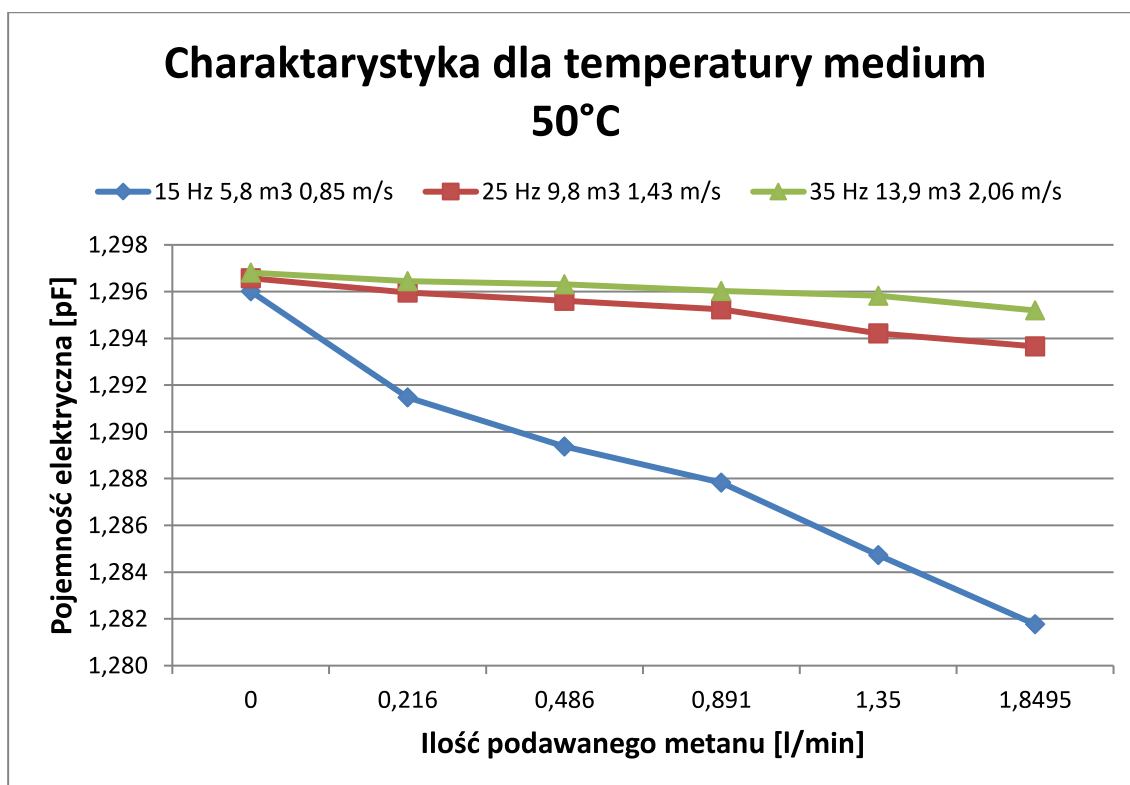
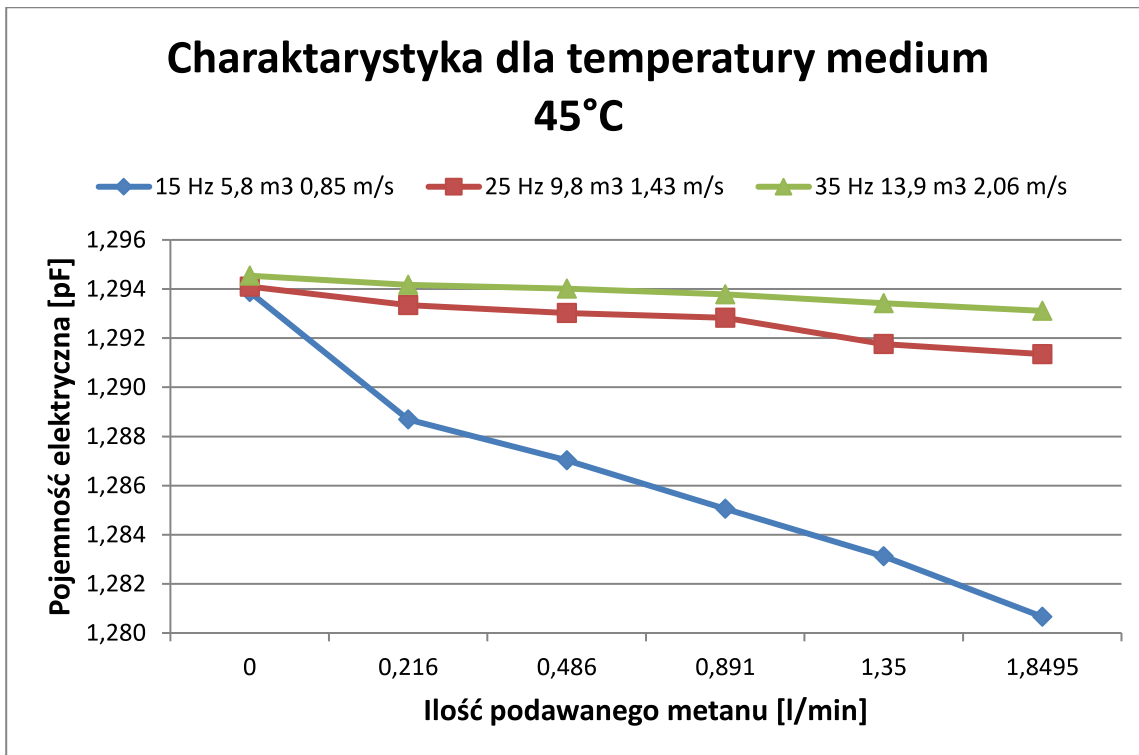
Wyniki badania medium złożowego z podawanym powietrzem

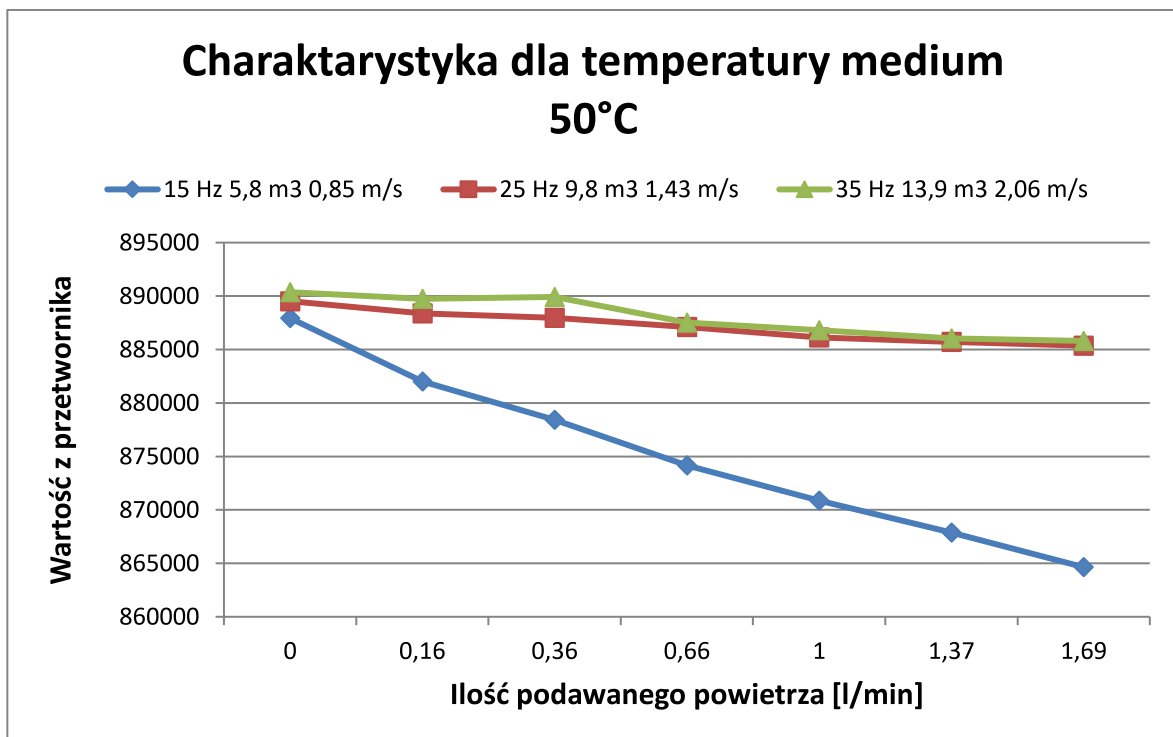
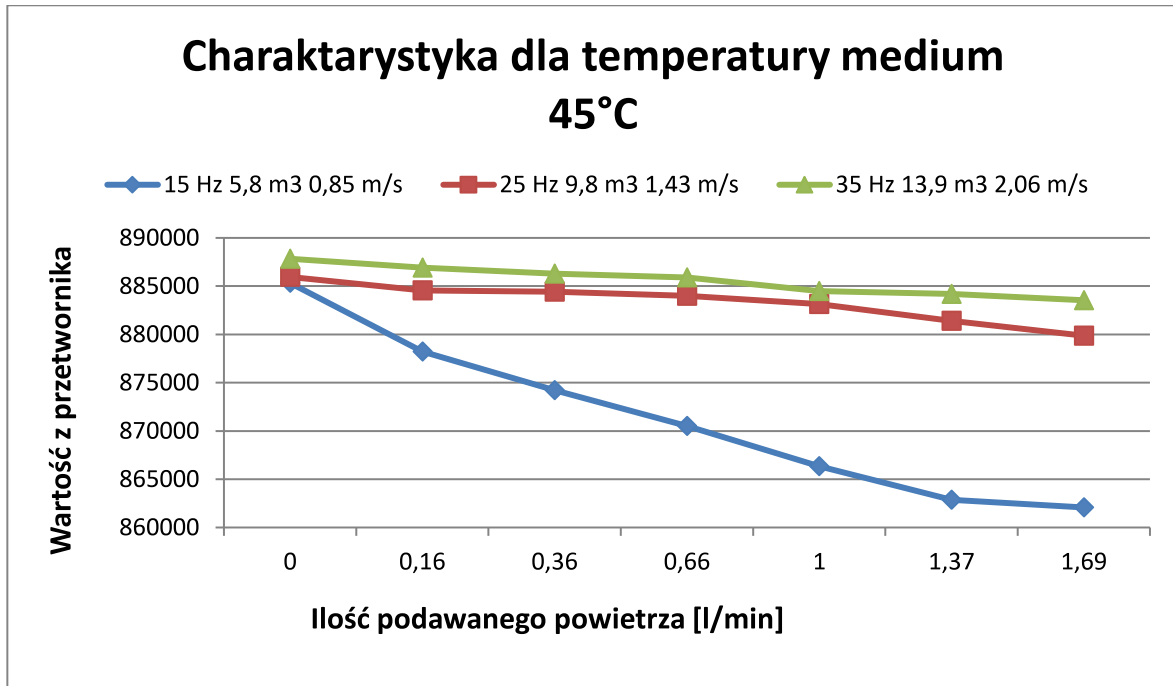
Ułożenie elektrod		90°													
		15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s					
Srednie okładki (odstęp między 26 mm)	Ilość podawanego powietrza [l/min]	Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	
		0	885331	1,29692	"2"		885953	1,29722	17	887837	1,29814	30-32	886924	1,29769	33-34
		0,16	878222	1,29344	"3-5"		884433	1,29648	20-21	886299	1,29739	35-36	885905	1,29720	37-38
		0,36	874214	1,29192	"6-7"		883149	1,29585	24-25	884486	1,29650	39-40	881401	1,29500	41-42
		0,66	870501	1,28979	"8-9"		879872	1,29425	28-29	883541	1,29604	43-44			
		1	866330	1,28742	"10-11"										
		1,37	862871	1,28553	"12-13"										
		1,69	862075	1,28565	"14-16"										
Temp.		45°C													

Ułożenie elektrod		90°													
		15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s					
Srednie okładki (odstęp między 26 mm)	Ilość podawanego powietrza [l/min]	Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	
		0	887933	1,29819	45		889517	1,29896	58	890362	1,29937	69	889751	1,29907	70-71
		0,16	882015	1,29530	46-47		888377	1,29840	59-60	889932	1,29916	72-73	887515	1,29798	74-76
		0,36	878414	1,29354	48-49		887971	1,29820	61-62	886816	1,29764	77-78	886023	1,29725	79-80
		0,66	874165	1,29146	50-51		887118	1,29779	63-64	885802	1,29715				
		1	870870	1,28985	52-53		886118	1,29730	65-66						
		1,37	867886	1,28840	54-55		885707	1,29710	67-68						
		1,69	864641	1,28681	56-57		885359	1,29693							
Temp.		50°C													

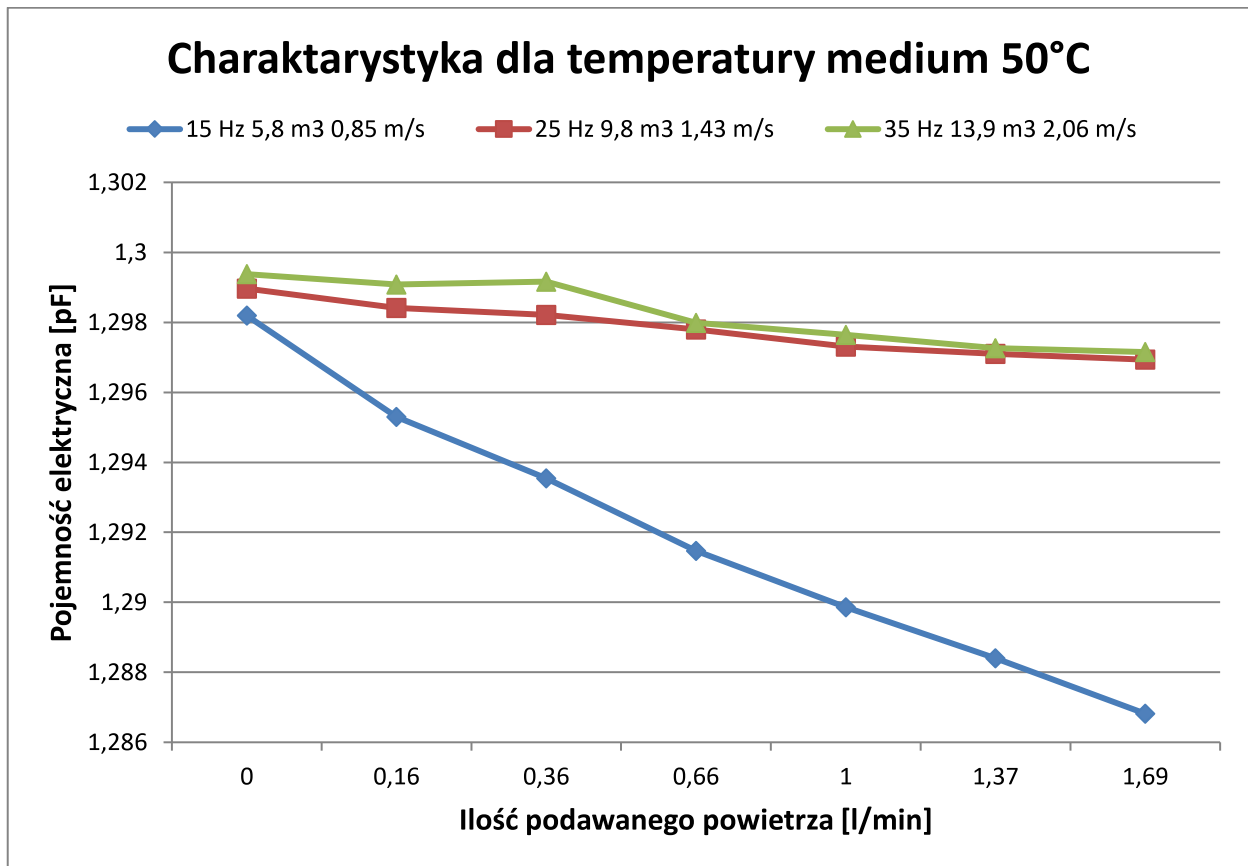
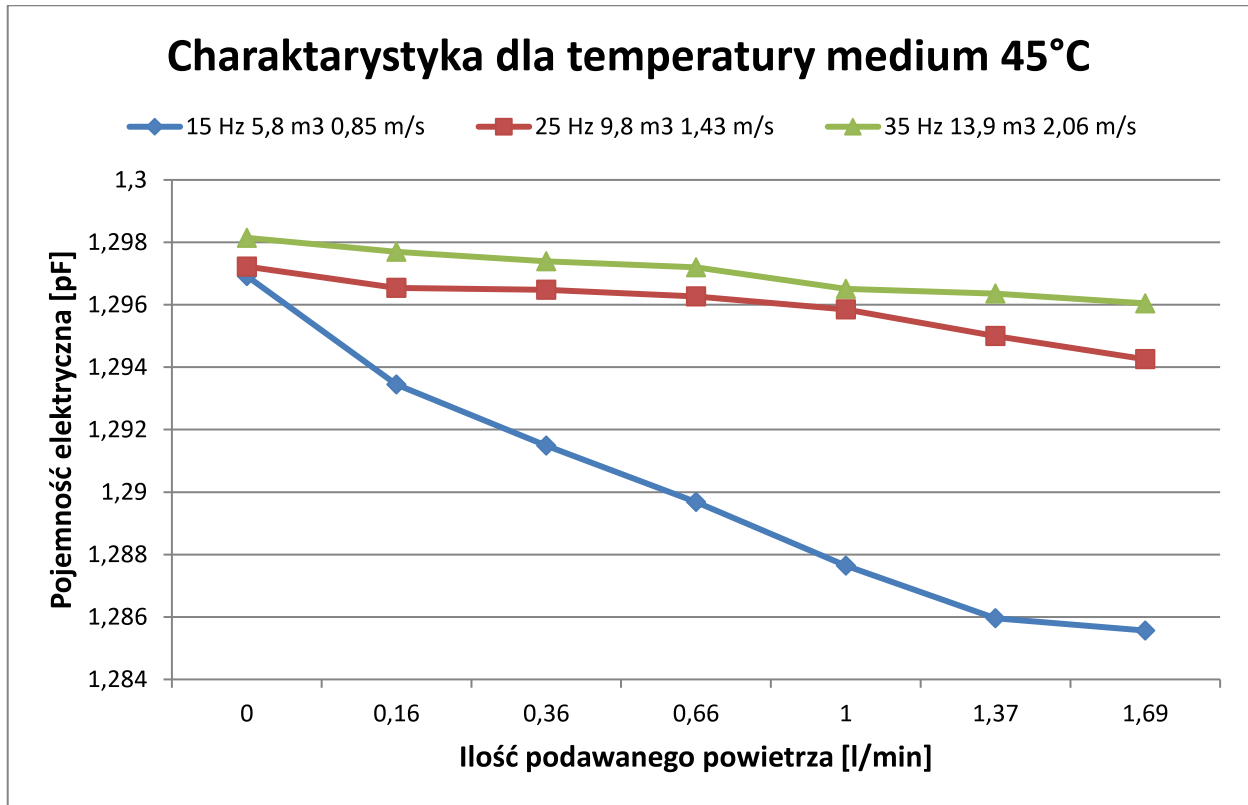
Charakterystyka wartości z przetwornika w funkcji ilość podawanego metanu







Charakterystyka pojemności elektrycznej w funkcji ilości podawanego powietrza



Powyżej znajdują się dane z badań medium złożowego przy podawaniu metanu oraz powietrza. Po przeliczeniu przepływu na rotametrze dla metanu, przepływ podawanego metanu był większy w stosunku do przepływu podawanego powietrza o 1,35 razy. Większą ilość podawanego metanu w stosunku do podawanego powietrza potwierdzają również wyniki miernika pojemności. Jeden z punktów podawanych gazów pokrywa się. Inne z punktów nie pokrywają się idealnie choć ich wartości są bardzo zbliżone. Wartość mierzonej pojemności w punkcie o tej samej ilości podawanego powietrza nie pokrywa się, lecz jest to spowodowane inną wartością "zera" w pomiarze referencyjnym, bez obecności gazów.

	Różnica wartości z przetwornika dla 15 Hz	Różnica procentowa wartości z przetwornika dla 15 Hz [%]	Różnica wartości pojemności dla 15 Hz	Różnica procentowa wartości pojemności dla 15 Hz [%]	Różnica wartości z przetwornika dla 25 Hz	Różnica procentowa wartości z przetwornika dla 25 Hz [%]	Różnica wartości pojemności dla 25 Hz	Różnica procentowa wartości pojemności dla 25 Hz [%]	Różnica wartości z przetwornika dla 35 Hz	Różnica procentowa wartości z przetwornika dla 35 Hz [%]	Różnica wartości pojemności dla 35 Hz	Różnica procentowa wartości pojemności dla 35 Hz [%]
1	6228	0,70	0,003041	0,23	6400	0,72	0,003125	0,24	7376	0,83	0,003602	0,27
2	9739	1,12	0,004755	0,36	6543	0,74	0,003195	0,24	7227	0,82	0,003529	0,27
3	9131	1,05	0,004458	0,34	7073	0,80	0,003454	0,26	6930	0,78	0,003384	0,26
4	9478	1,10	0,004628	0,36	7051	0,80	0,003443	0,26	6996	0,79	0,003416	0,26
5	9253	1,07	0,004518	0,35	8383	0,95	0,004093	0,31	6311	0,71	0,003082	0,23
6	10838	1,27	0,005292	0,41	7475	0,85	0,003650	0,28	6647	0,75	0,003246	0,25

Działanie VI - Temat:

Wykonanie serii pomiarów prędkości w symulowanych naturalnych warunkach występujących podczas próbnej eksploatacji na kopalni ropy i gazu ziemnego. Przeprowadzenie badań sprawdzających stabilność zera w przyrządzie do pomiaru zawartości fazy gazowej podczas tych symulowanych warunków.

Dzień 20.06.2018 start pomiarów 11.10. Pomiary wykonywane co 2 min. Przepływ 5,68 m ³ /h 0,83 m/s								
Stała temperatura medium 45°C			Podwyższanie temperatury 45°C - >50°C			Stała temperatura medium 50°C		
	Godzina pomiaru	Wartość z przetwornika		Temperatura	Wartość z przetwornika		Godzina pomiaru	Wartość z przetwornika
1	11:10	878030	1	46	877920	1	14:30	881326
2	11:12	878065	2	47	878306	2	14:32	881550
3	11:14	878056	3	48	879051	3	14:34	881346
4	11:16	878332	4	49	880074	4	14:36	881385
5	11:18	878306	5	50	881105	5	14:38	881375
6	11:20	878230				6	14:40	881253
7	11:22	878169				7	14:42	881312
8	11:24	878399				8	14:44	881188
9	11:26	878370				9	14:46	881299
10	11:28	878056				10	14:48	881159
11	11:30	878530				11	14:50	880930
12	11:32	878461				12	14:52	880920
13	11:34	878402				13	14:54	880875
14	11:36	878326				14	14:56	880764
15	11:38	878336				15	14:58	880873
16	11:40	878248				16	15:00	880452
17	11:42	878272				17	15:02	880501
18	11:44	878131				18	15:04	880681
19	11:46	878540				19	15:06	881009
20	11:48	878326				20	15:08	880893
21	11:50	878214				21	15:10	881015
22	11:52	878143				22	15:12	881115
23	11:54	878130				23	15:14	880974
24	11:56	878001				24	15:16	880797
25	11:58	878013				25	15:18	880745
26	12:00	877849				26	15:20	880977
27	12:02	877866				27	15:22	880455
28	12:04	877989				28	15:24	880367
29	12:06	878059				29	15:26	880443
30	12:08	878091				30	15:28	880023
31	12:10	878217				31	15:30	880206
32	12:12	878284				32	15:32	880003
33	12:14	878473				33	15:34	879977
34	12:16	878480				34	15:36	879723
35	12:18	878241				35	15:38	879952
36	12:20	878363				36	15:40	879763
37	12:22	878193				37	15:42	879744
38	12:24	878176				38	15:44	879993
39	12:26	878026				39	15:46	879912
40	12:28	878204				40	15:48	879905
41	12:30	878014				41	15:50	879918
42	12:32	878062				42	15:52	879822
43	12:34	878000				43	15:54	879910
44	12:36	877971				44	15:56	879971
45	12:38	878176				45	15:58	879954
46	12:40	878080				46	16:00	879858
47	12:42	877946				47	16:02	879802
48	12:44	878051				48	16:04	879795
49	12:46	878040				49	16:06	879834
50	12:48	878039				50	16:08	879735
51	12:50	877906				51	16:10	879653
52	12:52	878026				52	16:12	879531
53	12:54	877901				53	16:14	879511
54	12:56	877840				54	16:16	879459
55	12:58	877830				55	16:18	879343
56	13:00	877866				56	16:20	879160
57	13:02	877788				57	16:22	879130
58	13:04	878026				58	16:24	879187
59	13:06	877950				59	16:26	879050
60	13:08	877911				60	16:28	879031
61	13:10	877918				61	16:30	879026
62	13:12	877960						
63	13:14	877956						
64	13:16	877820						
65	13:18	877933						
66	13:20	877829						
67	13:22	878096						
68	13:24	878034						
69	13:26	878013						
70	13:28	878117						
71	13:30	878046						

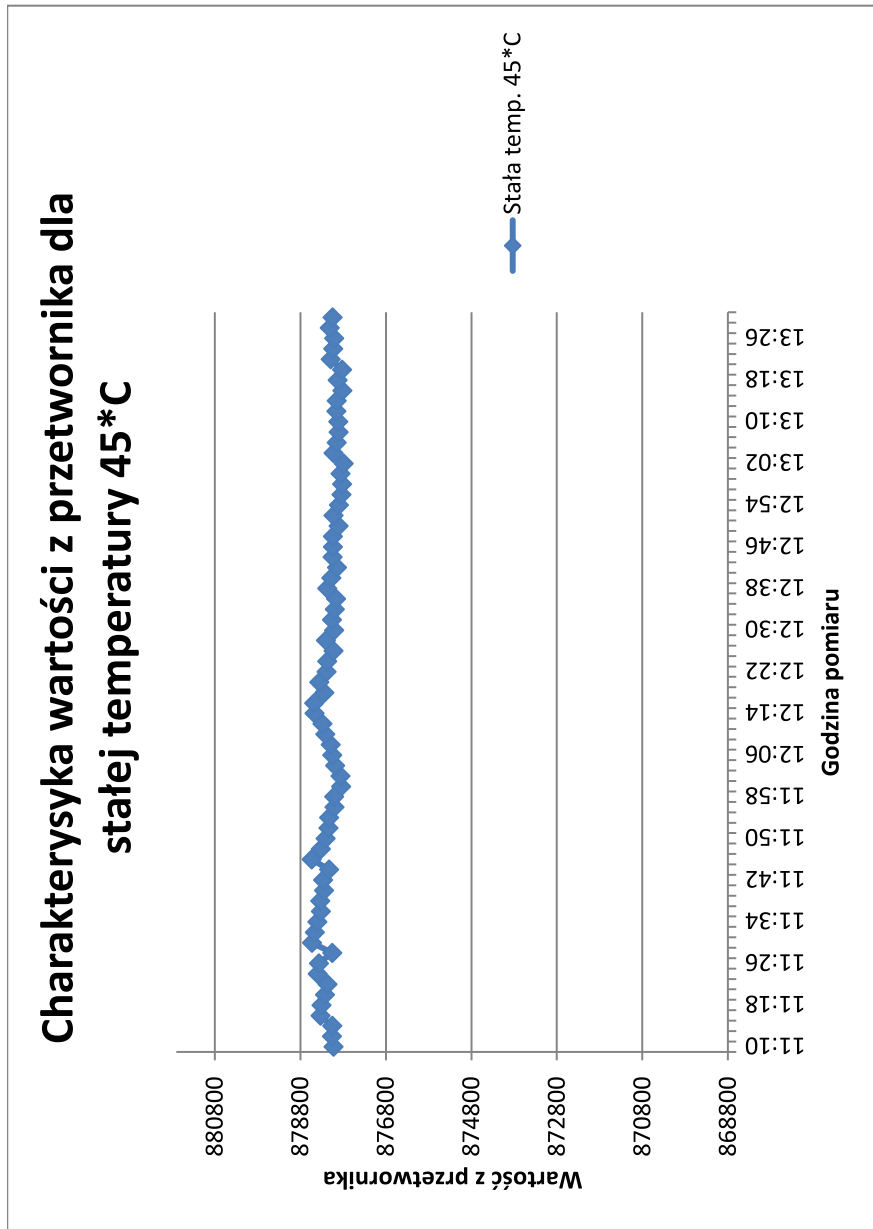
Dzień 21.06.2018 start pomiarów 11.48. Pomiary wykonywane co 2 min. Przepływ 5,70 m3/h 0,83 m/s

Stała temperatura medium 50°C		
	Godzina pomiaru	Wartość z przetwornika
1	11:48	876307
2	11:50	876541
3	11:52	876631
4	11:54	876611
5	11:56	876690
6	11:58	876850
7	12:00	876786
8	12:02	876890
9	12:04	876914
10	12:06	876705
11	12:08	876977
12	12:10	876930
13	12:12	876881
14	12:14	876654
15	12:16	876868
16	12:18	876870
17	12:20	876630
18	12:22	876685
19	12:24	876570
20	12:26	876590
21	12:28	876544
22	12:30	876430
23	12:32	876340
24	12:34	876315
25	12:36	876370
26	12:38	876320
27	12:40	876286
28	12:42	876130
29	12:44	876023
30	12:46	876042
31	12:48	876054
32	12:50	876012
33	12:52	876164
34	12:54	876071
35	12:56	876001
36	12:58	875995
37	13:00	875962
38	13:02	875848
39	13:04	876012
40	13:06	875733
41	13:08	875667
42	13:10	875430
43	13:12	875865
44	13:14	875742
45	13:16	875416
46	13:18	875289
47	13:20	875430
48	13:22	875683
49	13:24	875702
50	13:26	875624
51	13:28	875748
52	13:30	875621
53	13:32	875577
54	13:34	875687
55	13:36	875436
56	13:38	875342
57	13:40	875123
58	13:42	875000
59	13:44	875011
60	13:46	875136
61	13:48	875046

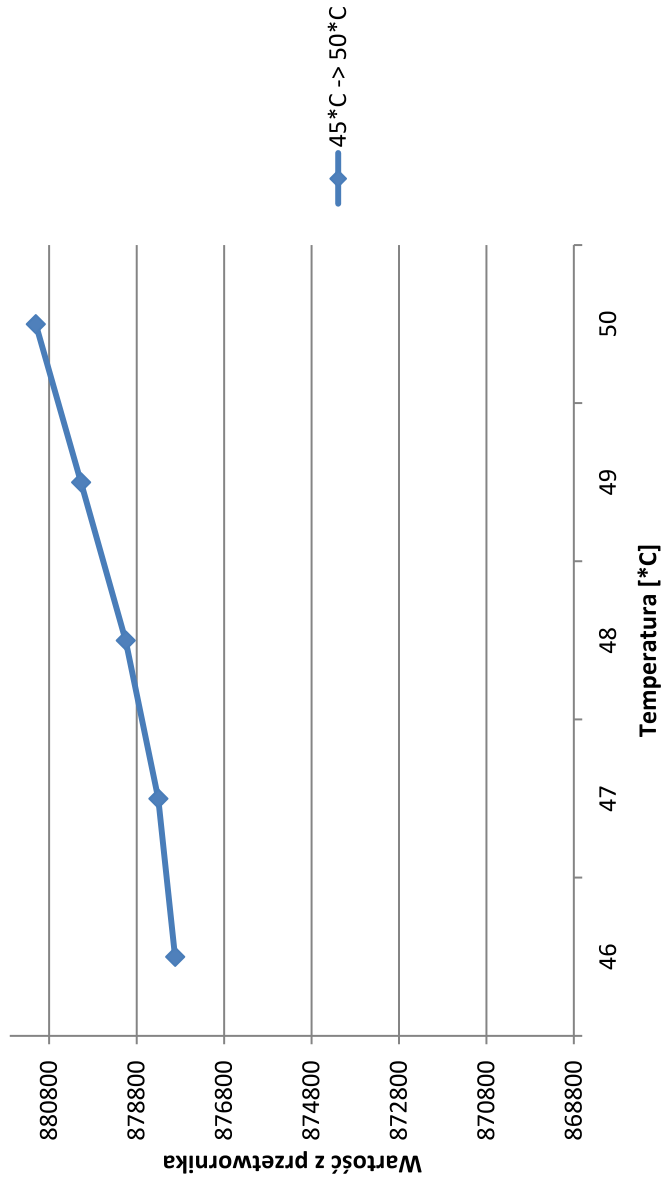
Obniżenie temperatury 50°C -> 45°C		
	Temperatura	Wartość z przetwornika
1	49	873525
2	48	872735
3	47	871526
4	46	870312
5	45	869213

Stała temperatura medium 45°C		
	Godzina pomiaru	Wartość z przetwornika
1	15:12	869145
2	15:14	869057
3	15:16	868822
4	15:18	869094
5	15:20	868814
6	15:22	868930
7	15:24	869073
8	15:26	869062
9	15:28	868822
10	15:30	868911
11	15:32	868865

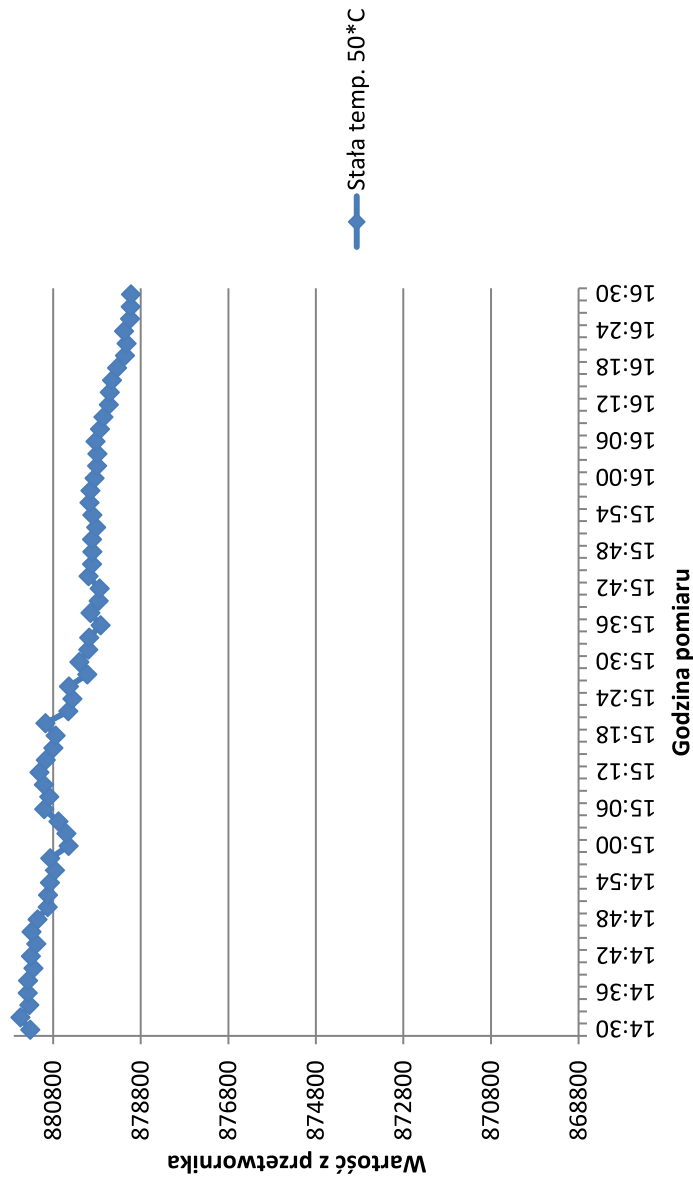
Charakterystyki dla pierwszego dnia pomiarowego (dla porównania wszystkie osie z wartościami z przetwornika posiadają taki sam zakres)



Charakterystyka wartości z przetwornika w funkcji temperatury (45°C -> 50°C)

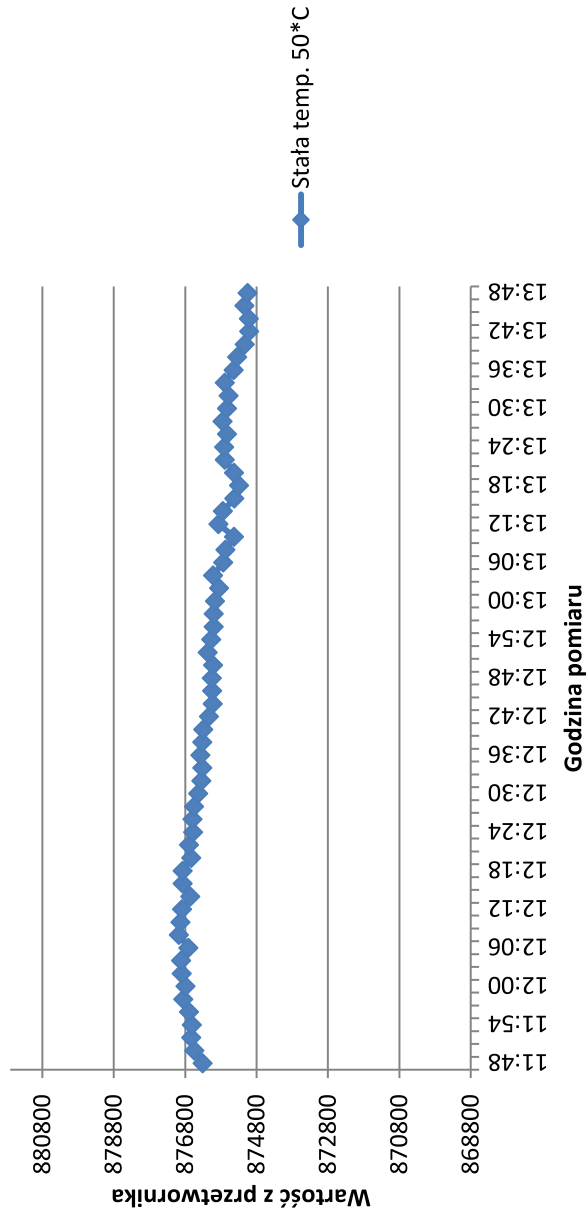


Charakterystyka wartości z przetwornika dla stałej temperatury 50°C

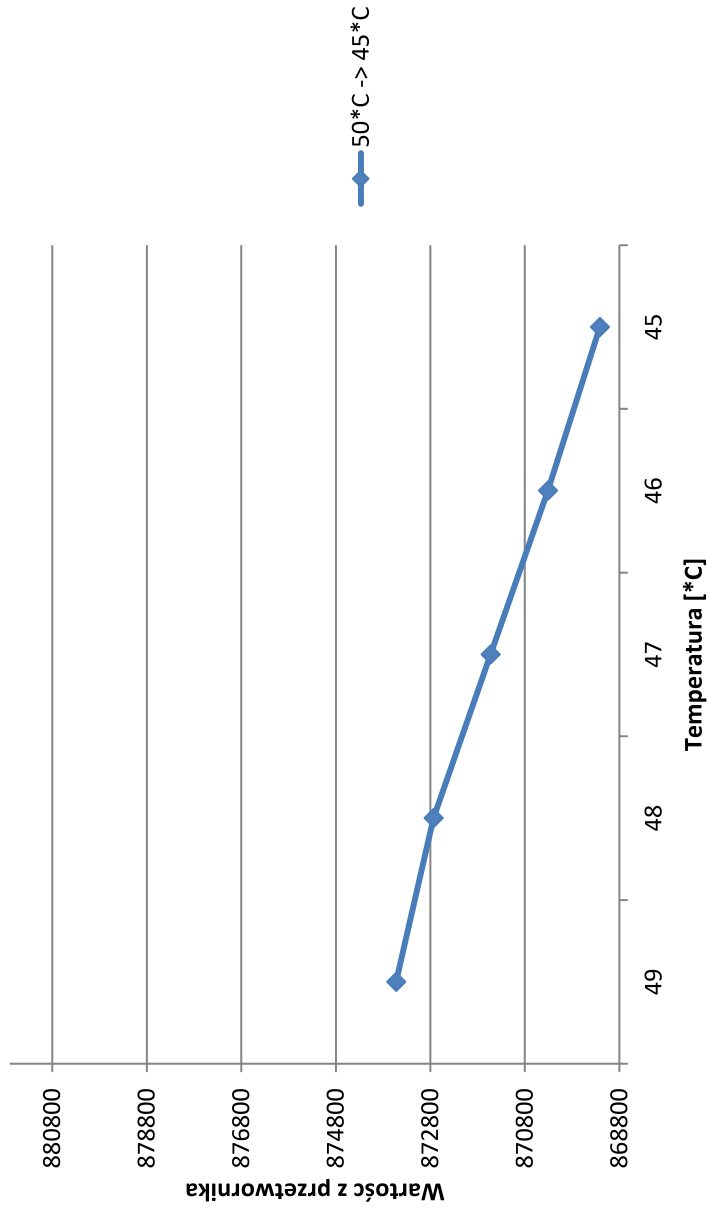


Charakterystyki dla drugiego dnia pomiarowego (dla porównania wszystkie osie z wartościami z przetwornika posiadają taki sam zakres)

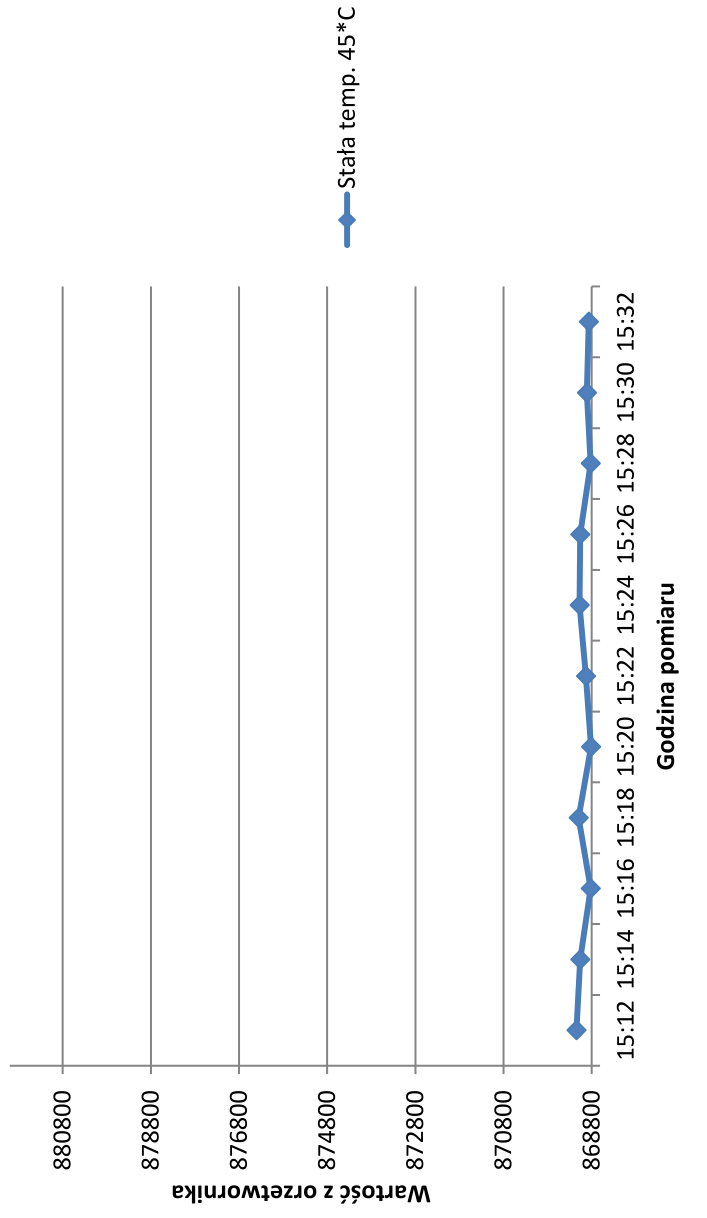
Charakterystyka wartości z przetwornika dla stałej temperatury 50°C



Charakterystyka wartości z przetwornika w funkcji temperatury (50°C -> 45°C)



Charakterystyka wartości z przetwornika dla stałej temperatury 45°C



Po przeprowadzeniu pomiarów można zauważyć, że temperatura medium ma wpływ na wartość pojemności. Im wyższa temperatura tym wartość pojemności rośnie. Największy zakres zmian wartości z przetwornika przy stałej temperaturze i bez podawania gazu to ~2300 jednostek. Zmiany wartości z przetwornika jakie obserwowaliśmy podając gaz, między brakiem gazu a największą podawaną ilością, dla najmniejszego przepływu medium, były na poziomie ~10000.

Temat: BADANIE wpływu zmian gęstości i temperatury badanego medium złożowego na wartość pojemności elektrycznej w przyrządzie do pomiaru zawartości fazy gazowej przy podawaniu różnych gazów (powietrza i metanu). Badania długoterminowej stabilności i dokładności wskazań.

Wyniki badania medium złożowego z podawanym metanem z przeskalowanym rotametrem.

45°C		50°C	
Określanie zera	<<<>>	>>	880011
	869125	<<	<<
	868536		

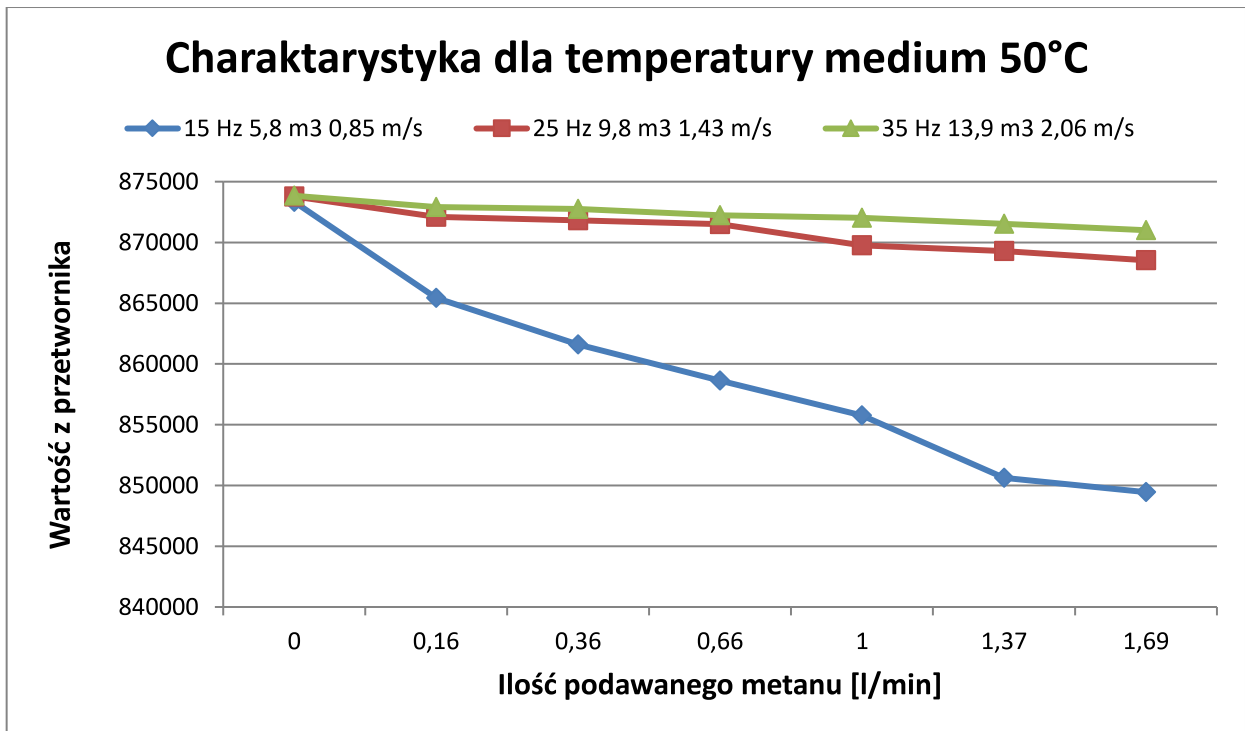
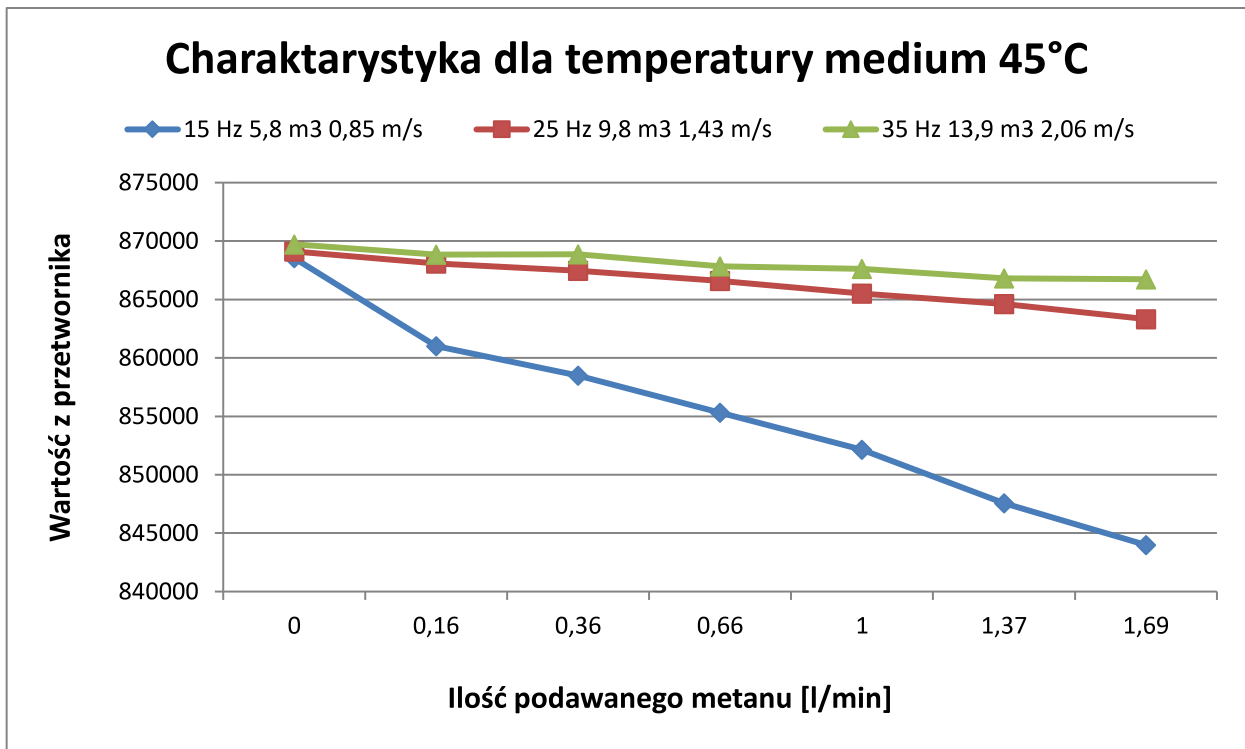
Ułożenie elektrod	90°											
	15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s			
Prędkość pompy	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
		868536	1,288720	62	869107	1,288999	76	869720	1,289298	89		
	861015	1,285047	64-65	868075	1,288495	77-78	868834	1,288865	90-91			
	858492	1,283815	66-67	867463	1,288196	79-80	868869	1,288882	92-93			
	855320	1,282267	68-69	866594	1,287772	81-82	867844	1,288382	94-95			
	852131	1,280710	70-71	865508	1,287241	83-84	867621	1,288273	96-97			
	847561	1,278478	72-73	864601	1,286798	85-86	866797	1,287871	98-99			
	843986	1,276732	74-75	863322	1,286174	87-88	866731	1,287838	100-101			
Temp. 45°C												

90°											
15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s				25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s			
Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
873340	1,291065	102	873780	1,291280	115	873840	1,291310	128			
865424	1,287200	103-104	872113	1,290466	116-117	872914	1,290857	129-130			
861595	1,285331	105-106	871810	1,290318	118-119	872751	1,290778	131-132			
858632	1,283884	107-108	871506	1,290170	120-121	872239	1,290528	133-134			
855748	1,282476	109-110	869756	1,289315	122-123	872018	1,290420	135-136			
850614	1,279969	111-112	869285	1,289086	124-125	871520	1,290177	137-138			
849450	1,279400	113-114	868531	1,288717	126-127	871006	1,289926	139-140			
50°C											

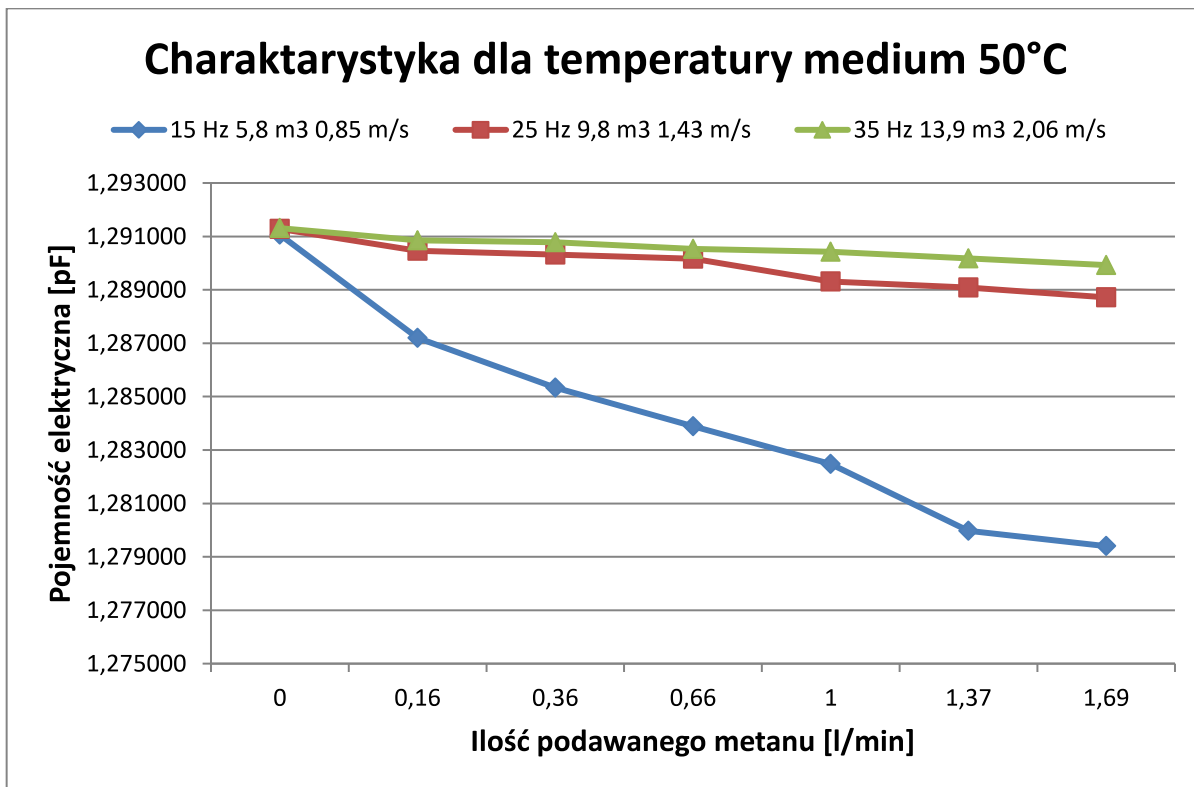
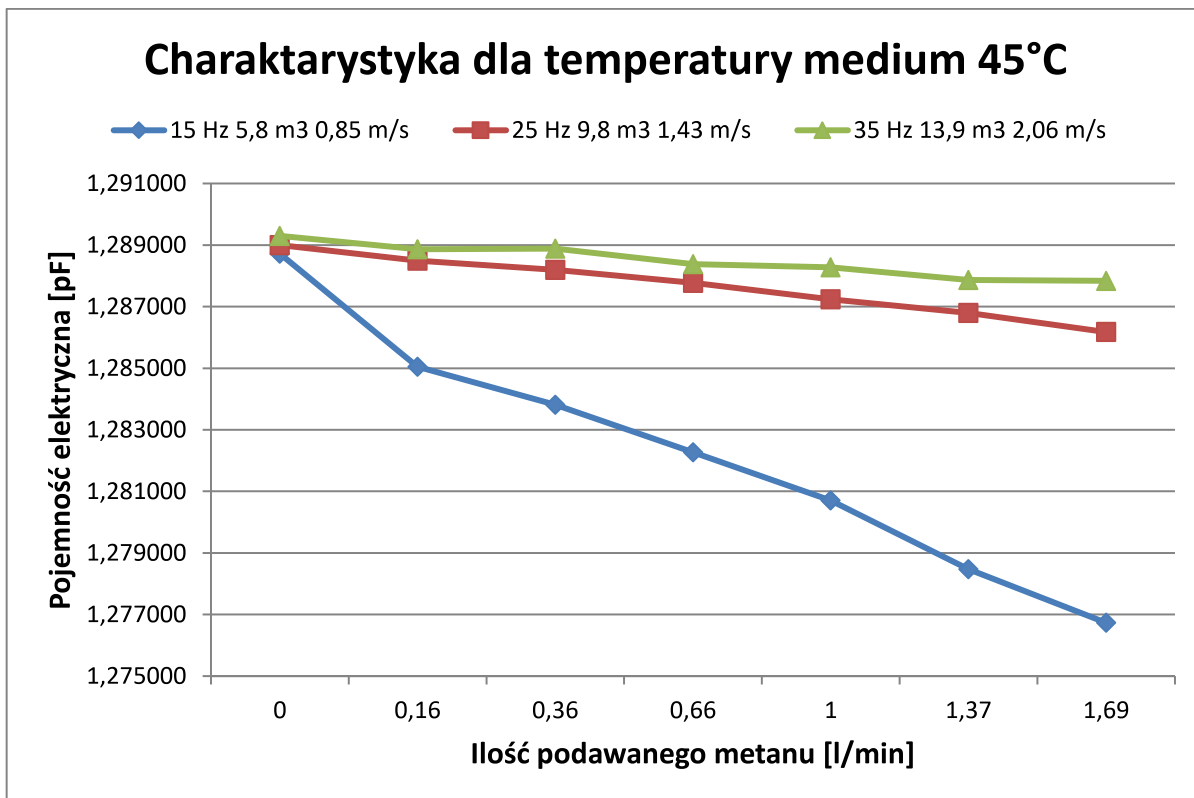
Wyniki sprawdzania "plywającego zera" bez podawania gazu

Temperatura [°C]											
45°C		>>		50°C		>>		45°C		>>	
Wartość z przetwornika											
867880		873054		867615		872237		866311			

Charakterystyka wartości z przetwornika w funkcji ilość podawanego metanu



Charakterystyka pojemności elektrycznej w funkcji ilości podawanego metanu

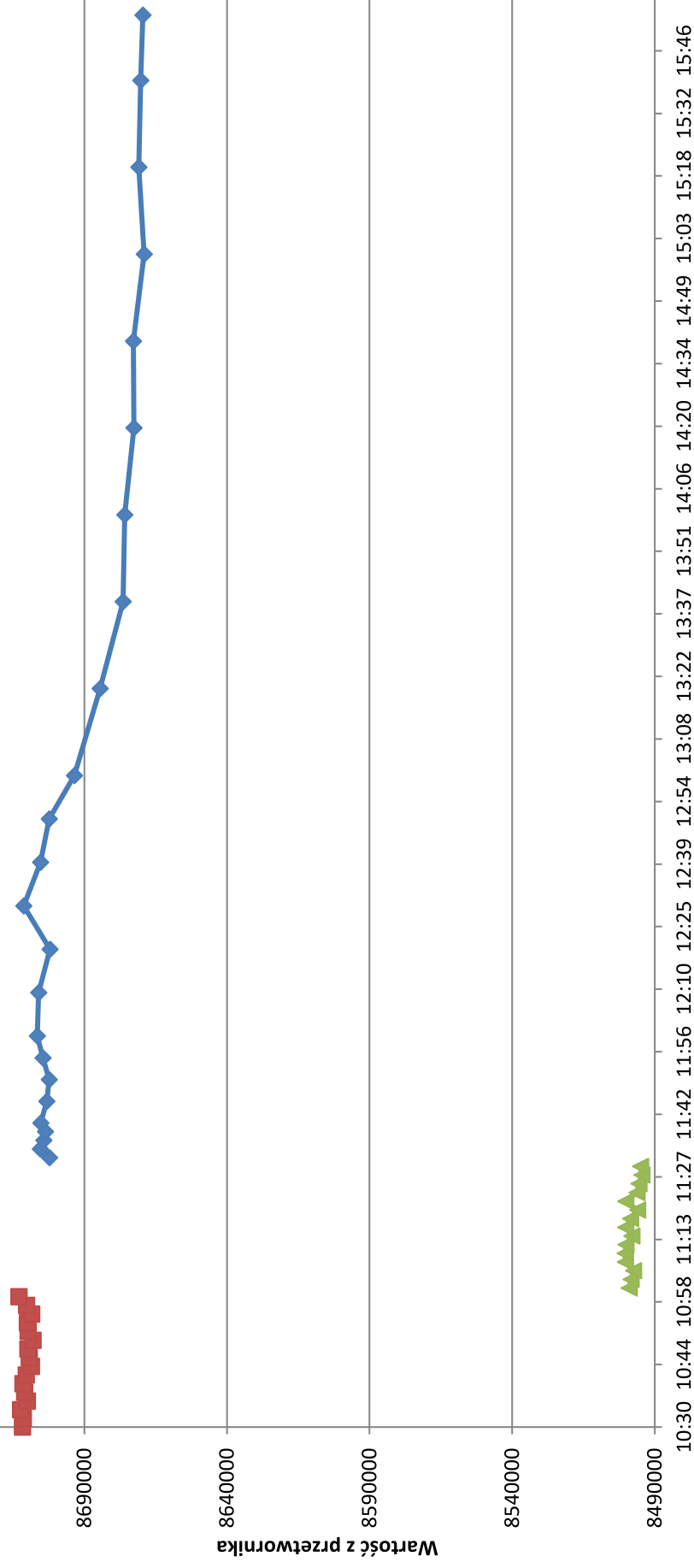


Dzień 20.06.2018 start pomiarów 11.10. Przepływ 5,68 m³/h 0,83 m/s

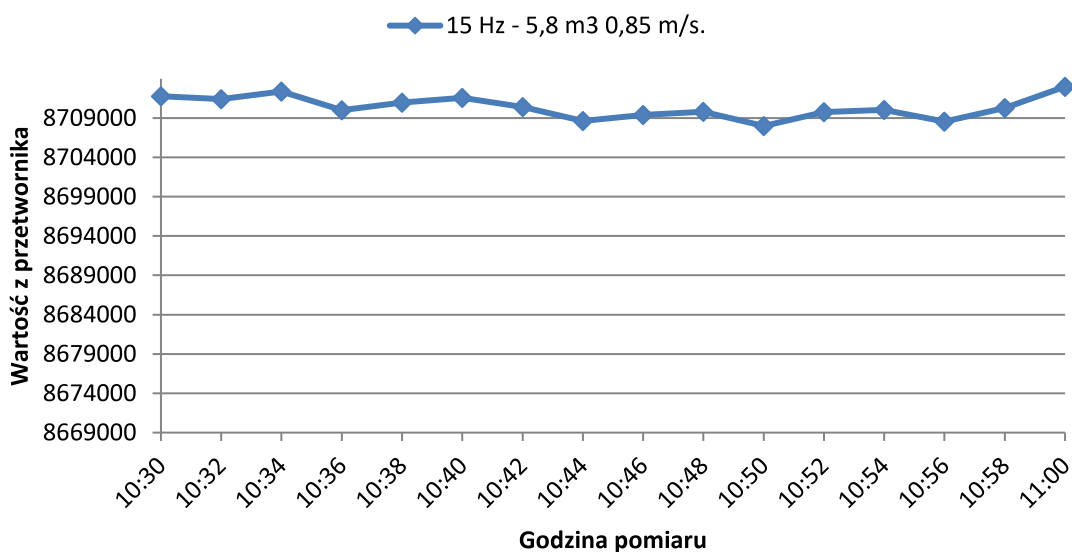
Ustalenie zera przez 30 min. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m ³ 0,85 m/s. Pomiar co 2 min.		Podawanie metanu przez 30 min. Ilość gazu: 1,37 l/min. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m ³ 0,85 m/s. Pomiar co 2 min.		Sprawdzanie zera. Brak podawania gazu. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m ³ 0,85 m/s. Od godziny 13:20 zmniejszenie prędkości przepływu do 7 Hz - 2,62 m ³ /h 0,39 m/s.	
Godzina pomiaru	Wartość z przetwornika	Temperatura	Wartość z przetwornika	Godzina pomiaru	Wartość z przetwornika
1	8711779	11:02	8499015	1	8702233
2	8711437	11:04	8498342	2	8705481
3	8712364	11:06	8497504	3	8704267
4	8710016	11:08	8500369	4	8703681
5	8710988	11:10	8500456	5	8705317
6	8711563	11:12	8500114	6	8703245
7	8710420	11:14	8498073	7	8702361
8	8708651	11:16	8500259	8	8704531
9	8709394	11:18	8498561	9	8706552
10	8709803	11:20	8496111	10	8706034
11	8707996	11:22	8500269	11	8702038
12	8709774	11:24	8496243	12	8711263
13	8710033	11:26	8495638	13	8705392
14	8708563	11:28	8494581	14	8702379
15	8710298	11:30	8495019	15	8693485
16	8712999			16	8684456
				17	8676468
				18	8675901
				19	8672642
				20	8672807
				21	8669055
				22	8670906
				23	8670247
				24	8669523

Charakterystyka wartości z przetwornika w czasie.

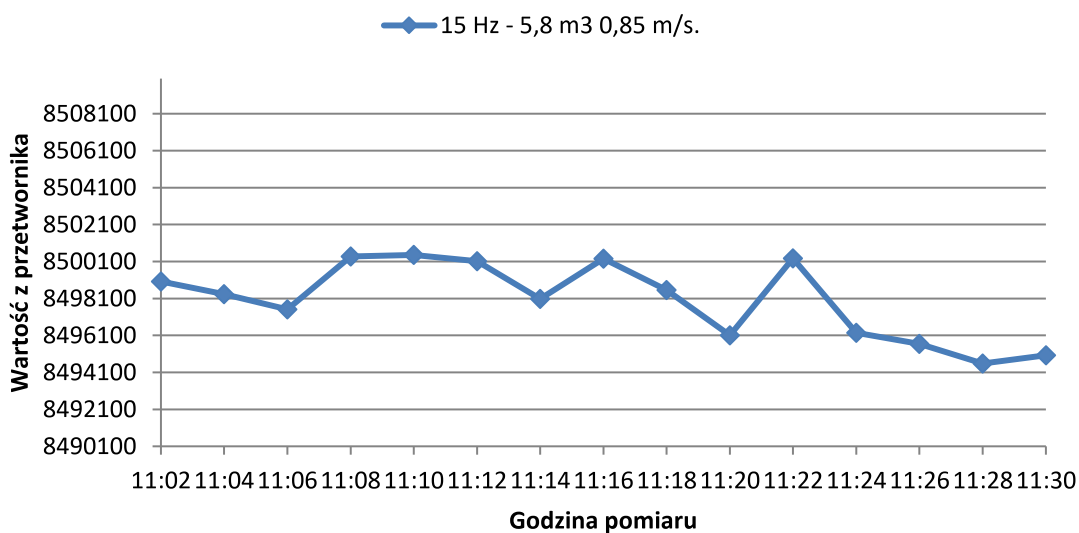
- Ustalanie zera przez 30 min. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m³ 0,85 m/s. Pomiar co 2 min.
- ▲ Podawanie metanu przez 30 min. Ilość gazu: 1,37 l/min. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m³ 0,85 m/s. Pomiar co 2 min.
- ◆ Sprawdzanie zera. Brak podawania gazu. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m³ 0,85 m/s. Od godziny 13:20 zmniejszenie prędkości przepływu do 7 Hz - 2,62 m³/h 0,39 m/s.



Ustalanie zera przez 30 min. Stała temperatura medium 50°C.



Podawanie metanu przez 30 min. Ilość gazu: 1,37 l/min. Stała temperatura medium 50°C.



Sprawdzanie zera. Brak podawania gazu. Stała temperatura medium 50°C.

— Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m³ 0,85 m/s. Od godziny 13:20 zmniejszenie prędkości przepływu do 7 Hz - 2,62 m³/h 0,39 m/s.

