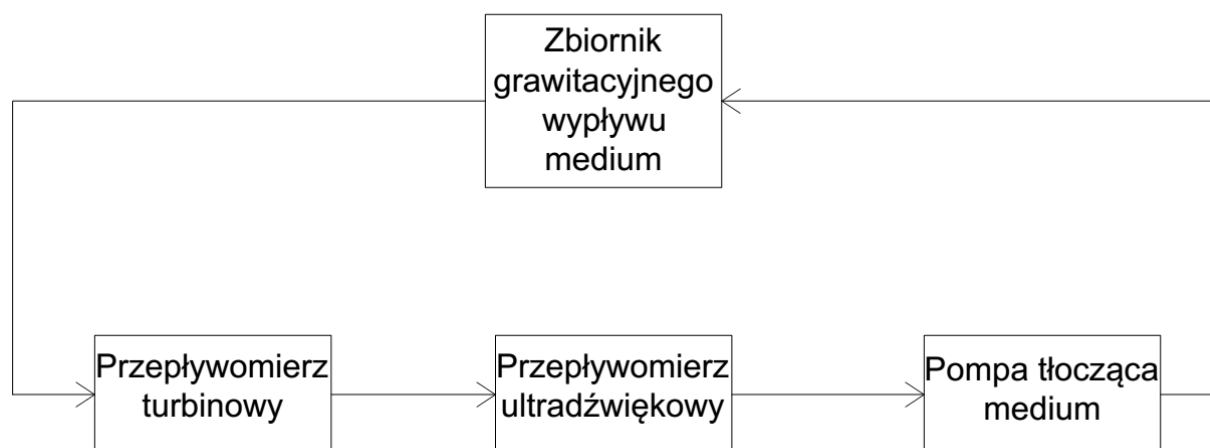


Tytuł projektu; Innowacyjne urządzenie do wykonywania testów wydajnościowych naftowych otworów wiertniczych.

Temat 295. Projekt i modernizacja stanowiska badawczego przyrządu do pomiaru prędkości medium dwufazowego. Badania weryfikujące na stanowisku pomiarowym.

Dotychczasowe badania pozwoliły zauważyć, że pompa tłocząca medium powoduje zbyt duże zgazowanie medium. W objętości przepływającego medium tworzy się ogromna ilość drobnych bąbelków, a przez to duża ilość granic fazowych, przez które muszą przejść ultradźwięki przepływomierza. Aby wyeliminować efekt zgazowania zastosowany został zbiornik medium, z którego w sposób grawitacyjny medium wypływa rurociągiem do przepływomierza.



Rys. 1 Schemat zmodernizowanego układu pomiarowego.

Wstępne badania przepływu kształtują się następująco:

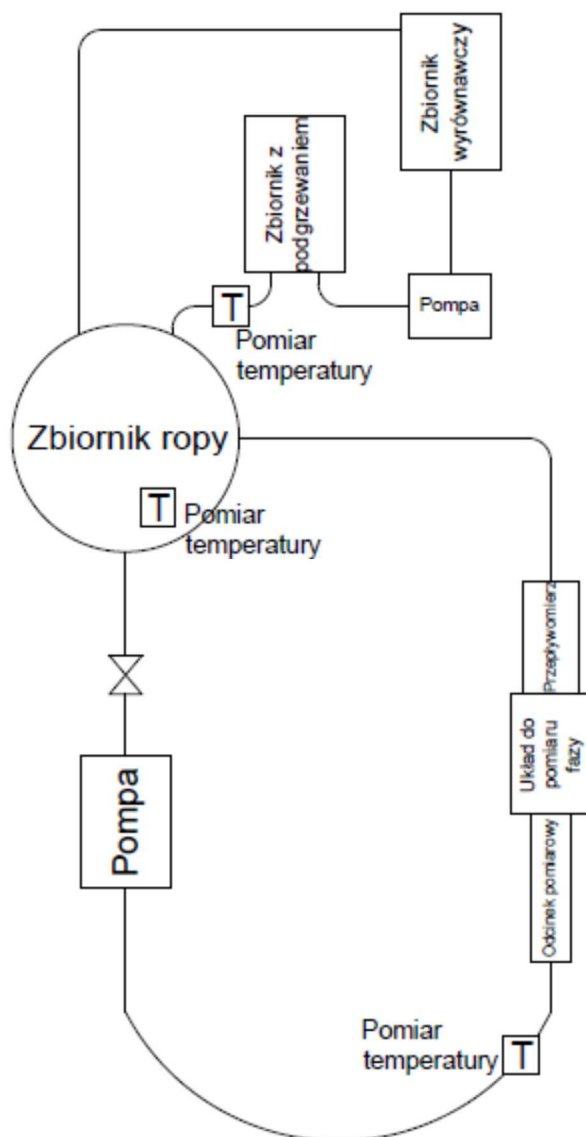
POMPA [V]	PRZEPŁYW [m3/h]	[m/s]
4	0,23	0,0339
5	0,3356	0,05
6	0,3971	0,0599
7	0,4397	0,0621
8	0,4682	0,0697
9	0,5184	0,0777
10	0,5321	0,0801
11	0,5836	0,083
12	0,6112	0,09

Tabela 1 Punkt pracy pompy

Dzięki zastosowaniu grawitacyjnego wypływu medium pomiar przepływu przepływomierzem ultradźwiękowym jest stabilny.

Temat 386. 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 musi zostać zmodyfikowany.



Rys. 2 Schemat zrekonstruowanego układu badawczego

Powyżej znajduje się schemat zrekonstruowanego układu badawczego. Nad zbiornikiem znajduje się wyciąg oparów ropy.

W układzie zastosowany jest zbiornik o pojemności 200l, w którym magazynowana jest ropa. Na wyjściu ze zbiornika znajduje się rurociąg 2 ½" 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 bęben 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.3 Zestaw pomiarowy

Projekt układu grzewczego ropę

Przy projektowaniu układu grzewczego ropę określone zostały założenia projektowe potrzebne do obliczenia wymaganej mocy układu. Założeniami tymi są:

Masa ropy: 120 kg.

Różnica temperatur $\Delta T = 60^{\circ}\text{C}$

Ciepło właściwe ropy: 1885 J/kg*K

Średnica zewnętrzna wężownicy: 13 mm

Średnica wewnętrzna wężownicy: 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:

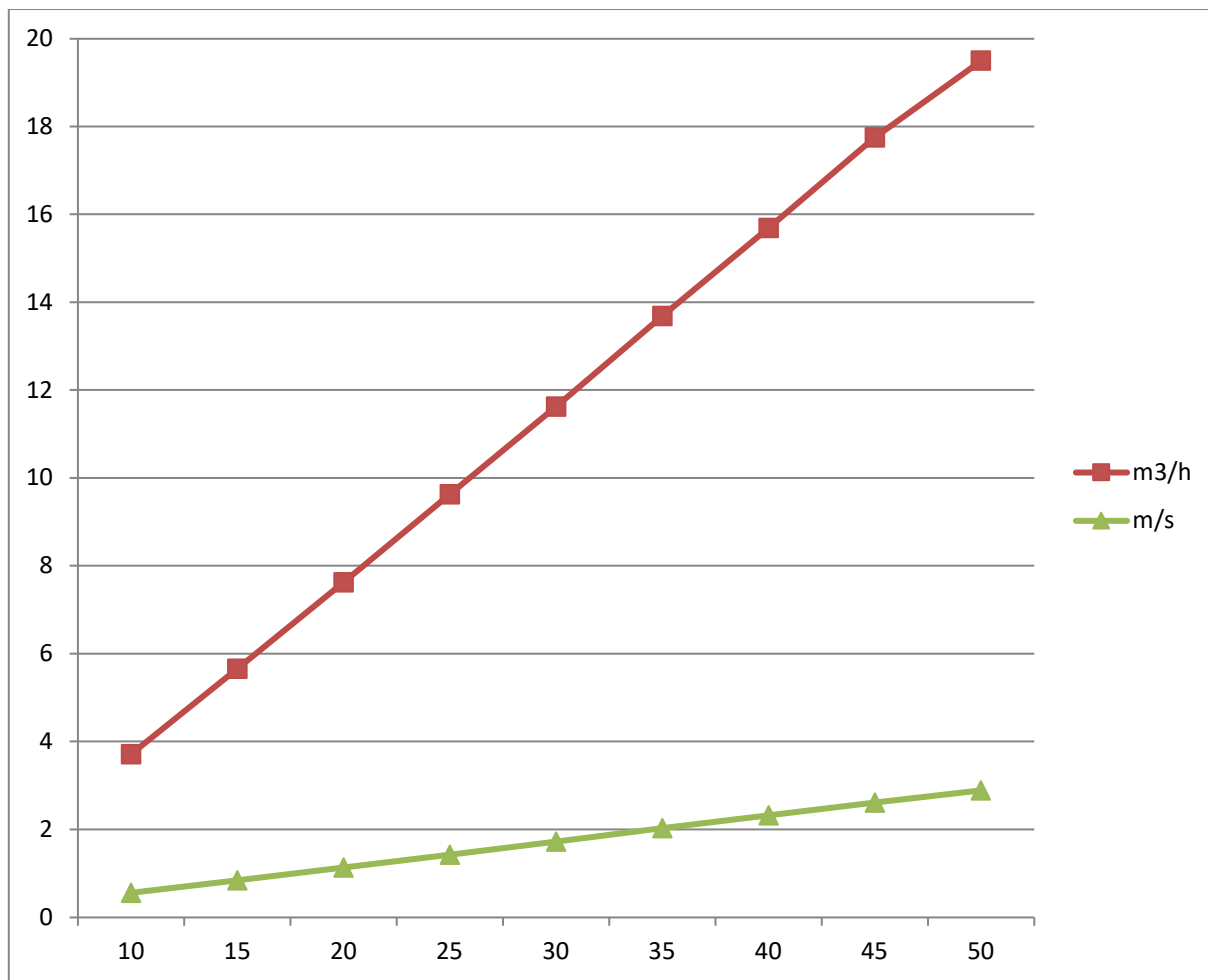
$$L = 15,04 \text{ m}$$

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



Rys. 4 Zbiornik i podgrzewacz 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.



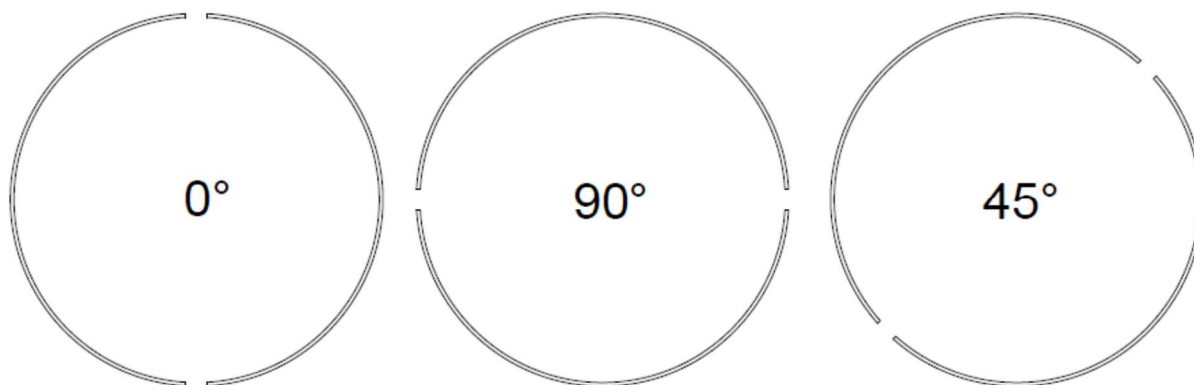
Rys. 5 Wykres liniowej prędkości przepływu oraz objętości przepływu od częstotliwości prądu

Temat 414. Opracowanie planu badań układu do pomiaru szybkości przepływu płynów dwufazowych na skonstruowanym stanowisku badawczym. Realizacja opracowanego programu badań na układzie zaprojektowanym do badań na przepływie ropy naftowej. Realizacja i uruchomienie testowych układów do pomiaru szybkości korozji metodą rezystometryczną.

Badania przyrządu do pomiaru zawartości fazy gazowej w medium złożowym

Celem badań jest wyznaczenie charakterystyk ilości podawanego powietrza w funkcji pojemności elektrycznej dla różnych prędkości przepływu medium złożowego w układzie badawczym. Badania należy wykonać dla różnych konfiguracji okładek elektrod. Poniżej przedstawiony zostanie plan badań.

Badania należy wykonać dla 3 różnych wielkości okładek (odstępów między okładkami) oraz dla 3 różnych położeń okładek na rurze, na której się one znajdują. Oprócz tego należy wykonać pomiar pojemności (dla każdej z konfiguracji okładek) dla zerowego wypełnienia rury. Poniżej przedstawione są 3 różne konfiguracje ułożenia okładek elektrod na rurze.



Rys. 6 trzy różne konfiguracje ułożenia okładek elektrod na rurze

Plan badań:

1. Pomiar pojemności na pustej rurze dla trzech różnych wielkości okładek (3 pomiary)
2. Pomiary dla największych okładek (przerwa 1 mm):
 - a) Pomiary dla wariantu pierwszego (0°)
 - Dla prędkości przepływu 15 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 25 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 35 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 45 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - b) Pomiary dla wariantu pierwszego (45°)
 - Dla prędkości przepływu 15 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 25 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)

- Dla prędkości przepływu 35 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 45 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
- c) Pomiary dla wariantu pierwszego (90°)
- Dla prędkości przepływu 15 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 25 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 35 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 45 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)

3. Pomiary dla średnich okładek (przerwa $1/6$ obwodu rury, tj. 26 mm):

- a) Pomiary dla wariantu pierwszego (0°)
- Dla prędkości przepływu 15 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 25 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 35 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 45 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
- b) Pomiary dla wariantu pierwszego (45°)
- Dla prędkości przepływu 15 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 25 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 35 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 45 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
- c) Pomiary dla wariantu pierwszego (90°)
- Dla prędkości przepływu 15 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 25 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 35 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 45 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)

4. Pomiary dla najmniejszych okładek (przerwa $1/4$ obwodu rury, tj. 40 mm):

- a) Pomiary dla wariantu pierwszego (0°)
- Dla prędkości przepływu 15 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)

- Dla prędkości przepływu 25 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 35 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 45 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
- b) Pomiary dla wariantu pierwszego (45°)
- Dla prędkości przepływu 15 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 25 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 35 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 45 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
- c) Pomiary dla wariantu pierwszego (90°)
- Dla prędkości przepływu 15 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 25 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 35 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)
 - Dla prędkości przepływu 45 Hz wykonać pomiary kolejno dla 6 różnych wielkości podawanego powietrza (6 pomiarów)

Temat 439. 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.

Przy dokonywaniu obliczeń pomocna okazała się literatura naukowa, w której został poruszony problem obliczania strat liniowych w rurociągu.

nosi się do żeliwa, liczba 0,00015 — do żelaza kutego, a liczba 0,000005 — do rur ciągniętych 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 średnicę hydrauliczną, obliczaną ze wzorów [6.8.1.-3] lub [6.8.1.-4].

Przykład 1. Ciekły amoniak przepływa przez rurociąg wykonany z rury ciągniętej bez szwu o średnicy wewnętrznej 32 mm i długości 30 mb. Czynnikiem ten dochodzi 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]

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

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 g/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].

436

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 obliczanie według wzoru

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

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:

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

gdzie C — mnożnik korekcyjny według tablicy 6-4.

Dla złączek gwintowych długości równoważne L_e oporów miejscowych oblicza się

$$L_e = C \cdot d$$

437

gdzie:

- C — współczynnik według tablicy 6-5,
- 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	0,24	120	1,27
45	0,32	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 złączek		
Rodzaj złączki	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.

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

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

438

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_1 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 6.2.12.). Obydwa takie układy przedstawione są na rys. 6-56, na którym układ przestrzodowy przedstawiony jest w części górnej, a układ szachownicowy w części dolnej. Opory przepływu powietrza przez tego typu chłodnice oblicza się za pomocą wzoru

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

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 wywoły *Grimsona* (1937—38) podane w formie wzoru dla rur w układzie przestrzodowym

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

oraz wzoru dla rur w układzie szachownicowym

$$f = \left[0,92 + \frac{0,44}{(x_T - 1)^{0,88}} \right] Re^{-0,15} \quad [6.8.2.-12]$$

gdzie:

f — współczynnik oporu przepływu, bezwymiarowy,

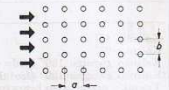
$x_L = a/d$ — stosunek podziałki rozstawu rur w kierunku podłużnym — do średnicy zewnętrznej rury (p. rys. 6-56),

$x_T = b/d$ — 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 przestrzodowym (góra) oraz 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	7,7073	0,00001	19268,35	0,00332	0	0
Długość łuku	1,1	0,025	870	7,7073	0,00001	19268,35	0,00332	15105,89	1,51
Pompka <-> Przepływomierz	0,58	0,025	870	7,7073	0,00001	19268,35	0,00332	7964,92	0,79
Przepływomierz	0,12	0,0125	870	30,8293	0,00001	38536,71	0,00166	26366,66	3,44
Długość łuku	1,1	0,025	870	7,7073	0,00001	19268,35	0,00332	15105,89	1,51
Odcinek pomiarowy	1	0,049	870	2,0062	0,00001	9830,79	0,00651	930,52	0,09
Suma	3,9							65473,91	7,35

Tabela 2 Obliczenia strat Ciśnienia

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	7,7073	0,00001	19268,35	0,00332	10986,10	1,098610891
Ekwiwalent łuku x2	0	0,025	870	7,7073	0,00001	19268,35	0,00332	0	0
Długość łuku	0,38	0,025	870	7,7073	0,00001	19268,35	0,00332	5218,40	0,52
Pompka <-> Przepływomierz	0,93	0,025	870	7,7073	0,00001	19268,35	0,00332	12771,35	1,27
Przepływomierz	0,12	0,0125	870	30,8293	0,00001	38536,71	0,00166	26366,66	3,44
Długość łuku	0,38	0,025	870	7,7073	0,00001	19268,35	0,00332	5218,40	0,52
Odcinek pomiarowy	1	0,049	870	2,0062	0,00001	9830,79	0,00651	930,52	0,09
Suma	2,61							61491,45	6,14

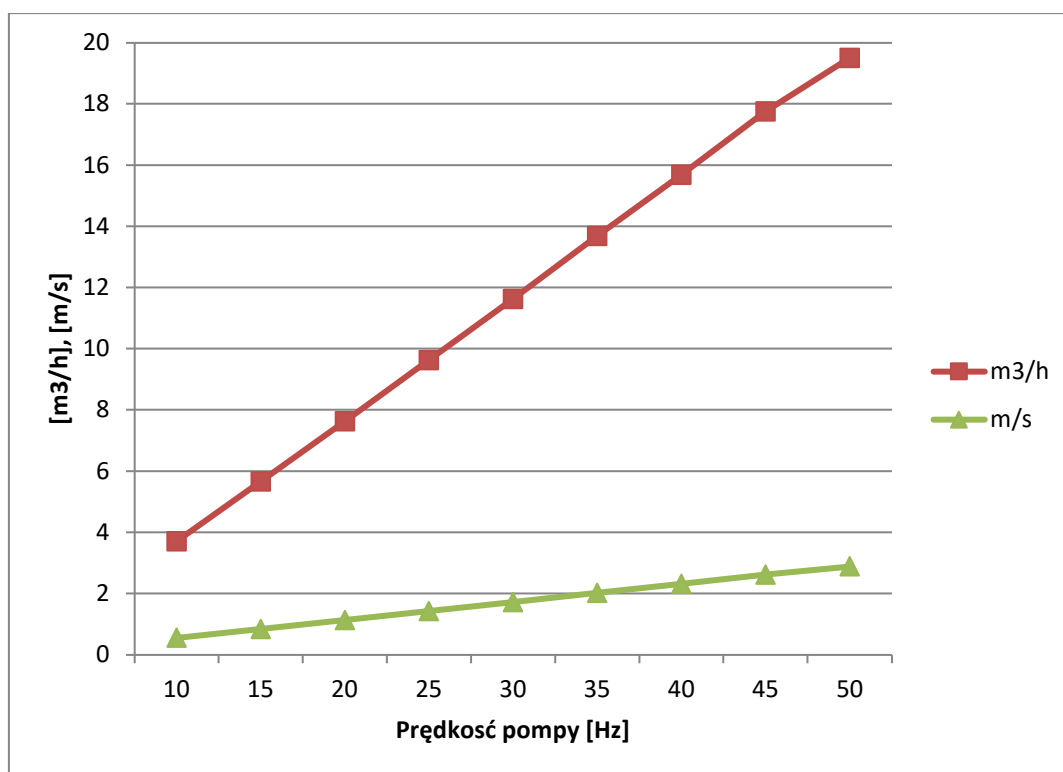
Tabela 3 Obliczenia strat Ciśnienia

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

Tabela4 Pomiary po korekcie w układzie pomiarowym



Rys. 7 wykres charakterystyki wydajności układu po korekcie

Temat 468. 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° .

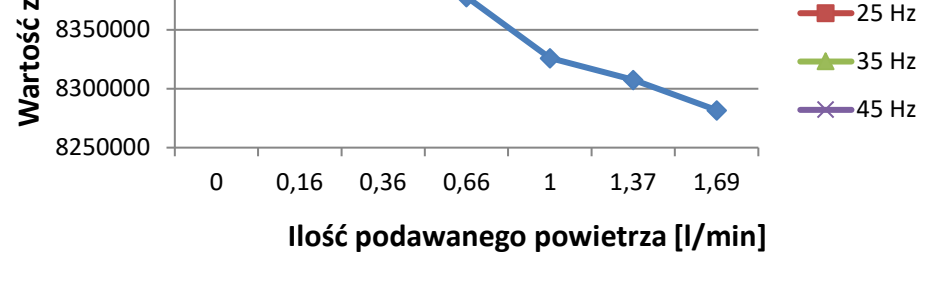
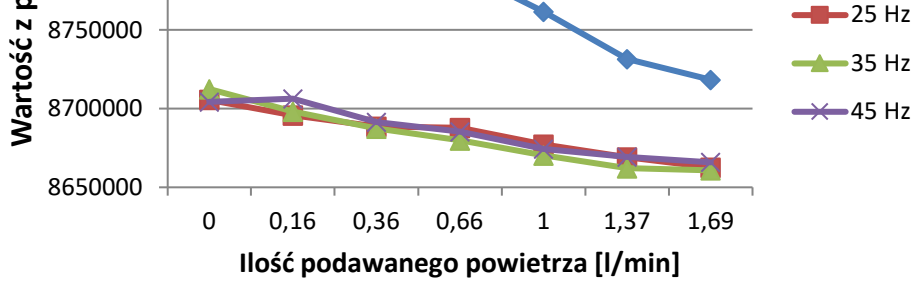
danej wielkości. W ostatnim wierszu tabeli znajduje się temperatura medium w chwili pomiaru. Numery zdjęć w tabelach
do folderu „2018-03-19 zdjęcia do pomiarów”. Następnie do folderu „zdjęcia przepływu”. W folderze tym znajdują
się zdjęcia. Aby wybrać numer zdjęcia z tabeli.

0°								
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
10218901	5,8543	96-98	10219457	5,8546	120-122	10249701	5,8694	145
10204901	5,8475	99-101	10211293	5,8506	123-125	10246378	5,8677	146-148
10200560	5,8454	102-104	10201806	5,8460	126-128	10242677	5,8659	149-151
10193578	5,8420	105-107	10196664	5,8435	129-131	10236003	5,8627	152-154
10182315	5,8365	108-110	10189909	5,8402	132-134	10224677	5,8571	155-157
10183074	5,8368	111-113	10182485	5,8365	135-137	10216603	5,8532	158-160
10178677	5,8347	114-116	10182973	5,8368	140-142	10214598	5,8522	162-164
50,9			51,1			52,6		
45°								
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
8705632	5,1154	342-344	8712424	5,1187	364	8704261	5,1148	386-388
8695681	5,1106	345-347	8698161	5,1118	365-369	8706378	5,1158	389-391
8688668	5,1071	348-350	8687354	5,1065	371-373	8691495	5,1085	392-394
8687859	5,1067	351-353	8679847	5,1028	374-376	8685354	5,1055	395-397
8677217	5,1016	354-356	8670265	5,0982	377-379	8674355	5,1002	398-400
8669072	5,0976	357-359	8662192	5,0942	380-382	8669181	5,0976	401-403
8662567	5,0944	360-362	8660819	5,0935	383-385	8665886	5,0960	404-406
51			50,45			50,2		
90°								
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
8510935	5,0204	442	8511038	5,0204	462	8524997	5,0272	484
8497753	5,0139	443-445	8500983	5,0155	463-465	8514236	5,0220	485-487
8492828	5,0115	446-448	8494425	5,0123	466-468	8508924	5,0194	488-490
8482194	5,0063	449-451	8484288	5,0073	469-471	8496874	5,0135	491-493
8471953	5,0013	452-454	8477921	5,0042	472-474	8488638	5,0095	494-496
8465077	4,9980	456-458	8473004	5,0018	475-477	8474486	5,0026	497-499
8462946	4,9969	459-461	8470859	5,0008	478-480	8470225	5,0005	500-502
51,4			52,6			54,3		

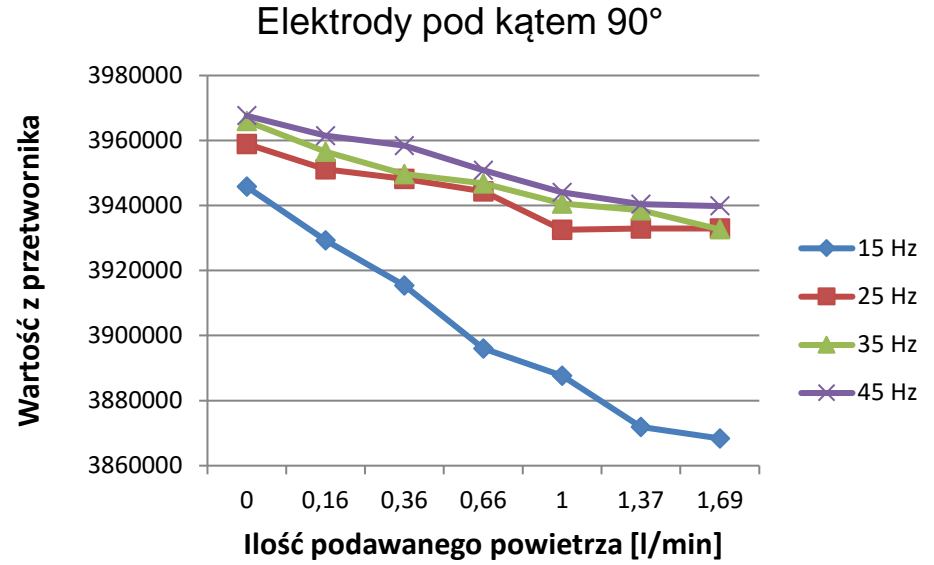
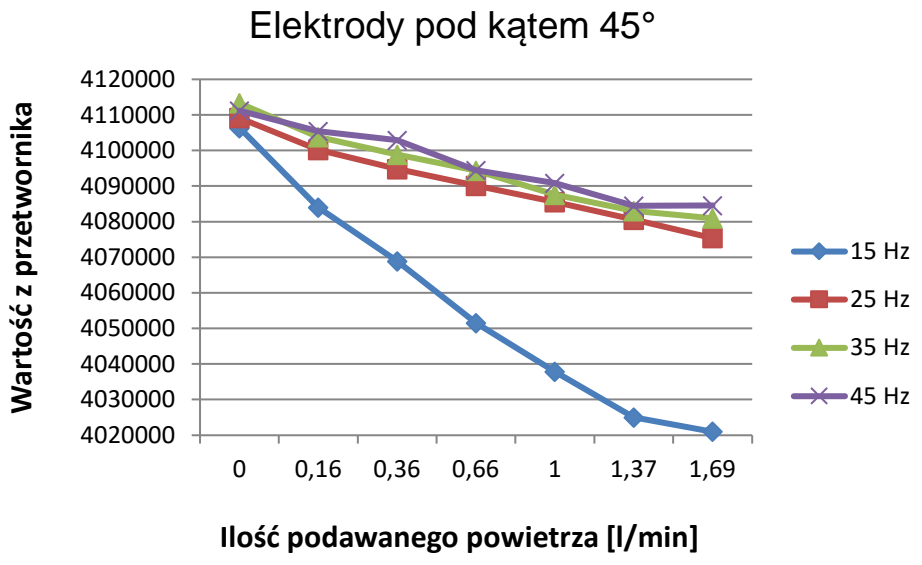
daną wielkość. W ostatnim wierszu tabeli znajdują się temperatury medium w chwili pomiaru. Numery zdjęć w tabelach
 c do folderu „2018-03-19 zdjęcia do pomiarów”, następnie do folderu „zdjęcia przepływu”. W folderze tym znajdują
 y wybrać numer zdjęcia z tabeli.

0°								
25 Hz			35 Hz			45 Hz		
Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
4278706	2,9538	531	4284238	2,9565	553	4284121	2,9565	575
4265399	2,9473	532-534	4275614	2,9523	557-559	4283006	2,9559	577-579
4263065	2,9462	535-537	4268529	2,9489	560-562	4276494	2,9528	580-582
4256970	2,9432	538-540	4263054	2,9462	563-565	4269842	2,9495	583-585
4251665	2,9406	541-543	4256345	2,9429	566-568	4265571	2,9474	586-588
4251874	2,9407	547-549	4255807	2,9427	569-571	4259888	2,9447	589-591
4250525	2,9401	550-552	4253665	2,9416	572-574	4259812	2,9446	592-594
45,1			45			49,3		
45°								
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
4109186	2,8711	616	4113306	2,8731	636	4111215	2,8721	657
4100222	2,8667	617-619	4103842	2,8685	638-640	4105400	2,8692	658-660
4094771	2,8640	620-622	4098882	2,8660	641-643	4102926	2,8680	661-663
4090116	2,8618	623-625	4094388	2,8638	644-646	4094432	2,8639	664-666
4085528	2,8595	626-628	4087640	2,8605	647-649	4090804	2,8621	667-669
4080591	2,8571	629-631	4082999	2,8583	650-652	4084494	2,8590	670-672
4075453	2,8546	632-634	4080956	2,8573	653-655	4084595	2,8591	673-675
51,1			51,2			52,1		
90°								
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
3958935	2,7977	699	3965939	2,8011	718	3967597	2,8019	737
3951103	2,7939	700-702	3956503	2,7965	719-721	3961458	2,7989	738-740
3948143	2,7924	703-705	3949647	2,7932	722-724	3958388	2,7974	741-743
3944296	2,7906	706-708	3946754	2,7918	725-727	3950801	2,7937	744-746
3932537	2,7848	709-711	3940567	2,7887	728-730	3944058	2,7904	747-749
3932934	2,7850	712-714	3938530	2,7877	731-733	3940378	2,7886	750-752
3932881	2,7850	715-717	3932704	2,7849	734-736	3939857	2,7884	753-755
47,2			46,5			48,5		

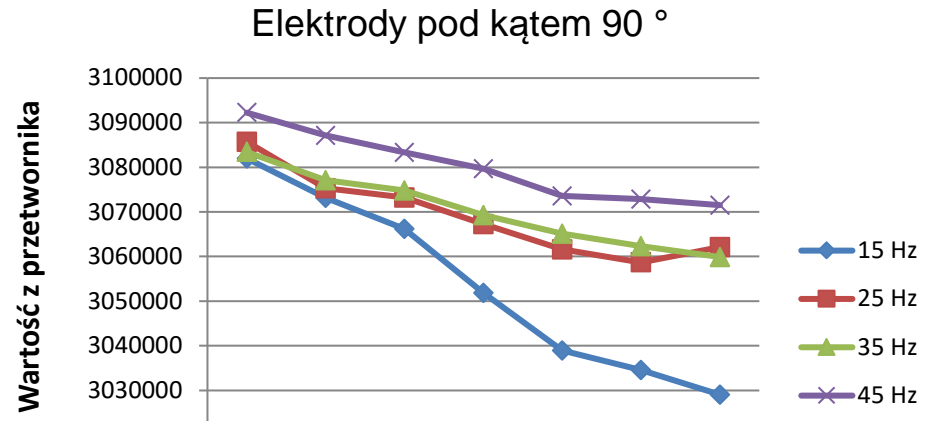
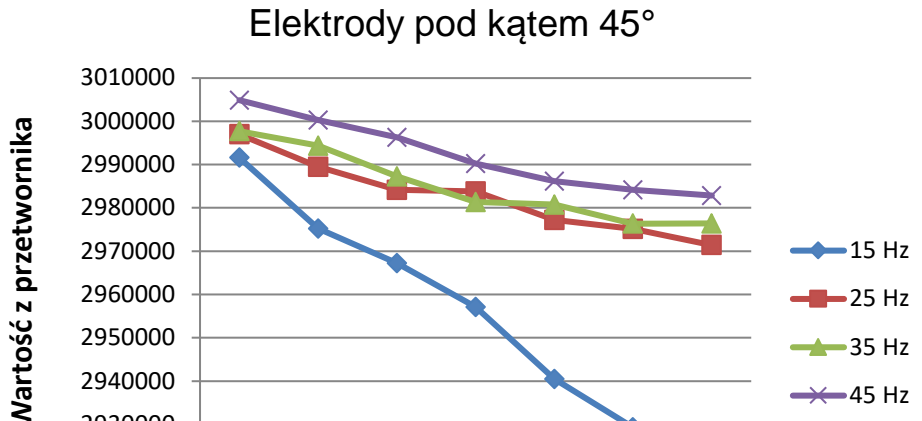
25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s				35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s			45 Hz - 17,75 m3 2,64 m/s		
Zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
759	3185409	2,4200	778	3179238	2,4170	798	3174655	2,4148	817
80-762	3176093	2,4155	779-781	3175941	2,4154	799-801	3168410	2,4117	818-820
83-765	3169337	2,4122	782-784	3170742	2,4128	802-804	3168828	2,4119	821-823
86-768	3168862	2,4119	785-787	3166295	2,4107	805-807	3162398	2,4088	824-826
89-771	3156479	2,4059	788-790	3159768	2,4075	808-810	3160179	2,4077	827-829
92-774	3157944	2,4066	791-793	3156782	2,4060	811-813	3155297	2,4053	830-832
95-777	3150464	2,4029	794-796	3155037	2,4052	814-816	3154223	2,4048	833-835
50,5				51,2			51,5		
45°									
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		
Zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
837	2997014	2,3280	857	2997765	2,3284	878	3004898	2,3319	898
88-840	2989478	2,3243	858-860	2994376	2,3267	879-881	3000267	2,3296	899-901
91-843	2984179	2,3217	862-864	2987270	2,3233	882-884	2996317	2,3277	902-904
94-846	2983831	2,3216	865-867	2981349	2,3204	885-887	2990203	2,3247	905-907
97-849	2977247	2,3184	868-870	2980744	2,3201	888-890	2986152	2,3227	908-910
100-852	2975160	2,3173	871-873	2976393	2,3179	891-893	2984182	2,3218	911-913
104-856	2971426	2,3155	874-876	2976441	2,3180	894-896	2982862	2,3211	914-916
48				48,5			50,5		
90°									
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		
Zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
921	3085716	2,3713	942	3083463	2,3702	961	3092294	2,3745	980
922-924	3075312	2,3662	943-945	3077120	2,3671	962-964	3087106	2,3720	981-983
925-927	3073228	2,3652	946-948	3074808	2,3660	965-967	3083313	2,3702	984-986
930-932	3067270	2,3623	949-951	3069301	2,3633	968-970	3079668	2,3684	987-989
933-935	3061620	2,3596	952-954	3065145	2,3613	971-973	3073554	2,3654	990-992
936-938	3058740	2,3582	955-957	3062351	2,3599	974-976	3072865	2,3651	993-995
939-941	3062143	2,3598	958-960	3059900	2,3587	977-979	3071511	2,3644	996-998
51,8				53			55,1		

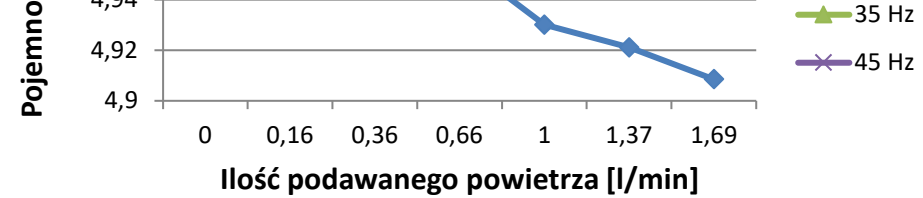
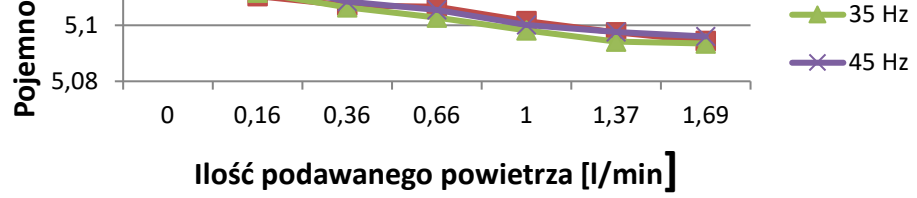


powietrza dla średnich elektrod (odstęp między nimi 26 mm)

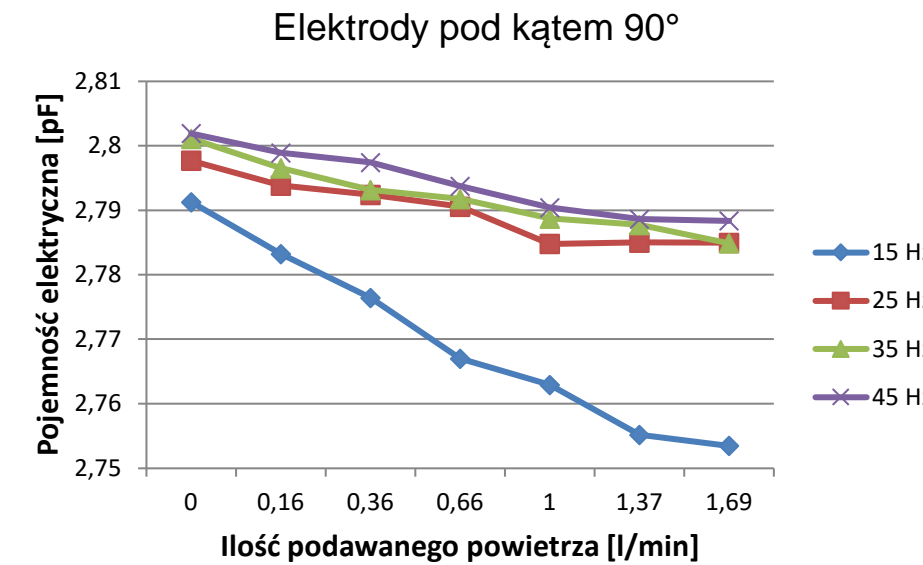
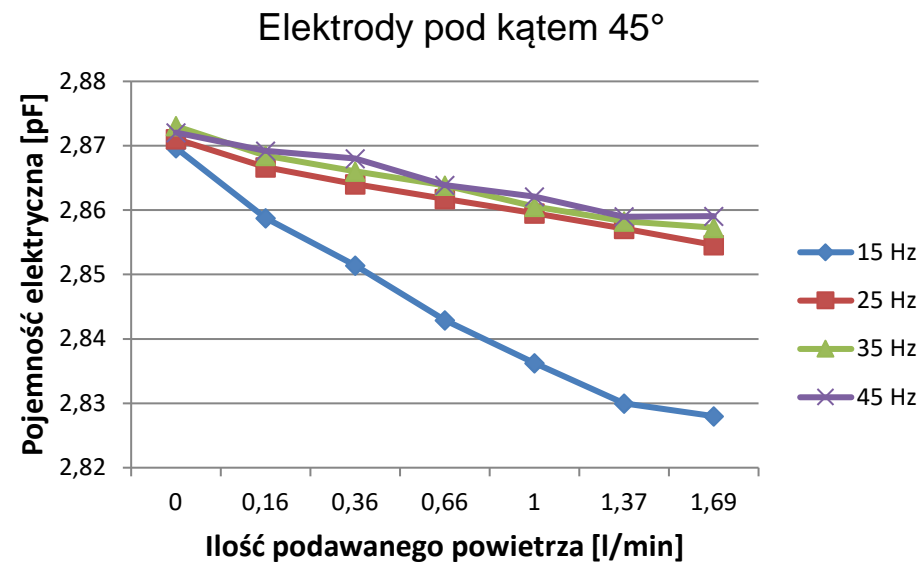


powietrza dla najmniejszych elektrod (odstęp między nimi 40 mm)

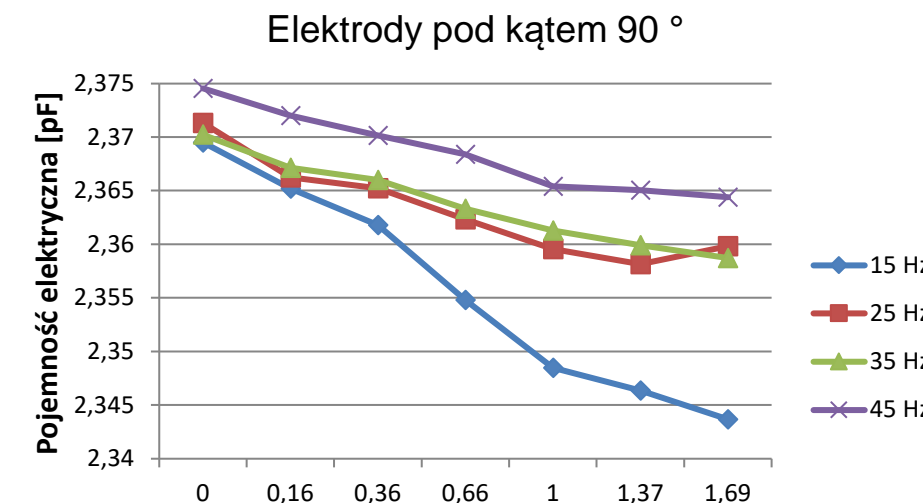
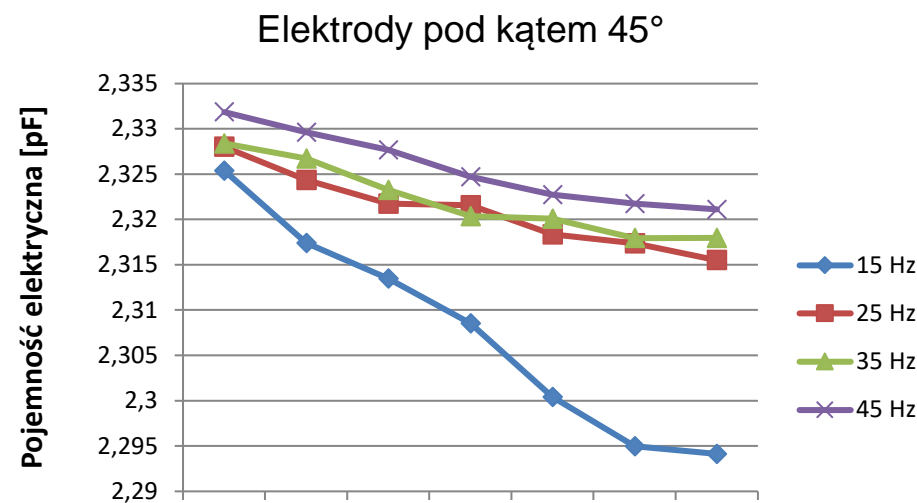




powietrza dla średnich elektrod (odstęp między nimi 26 mm)

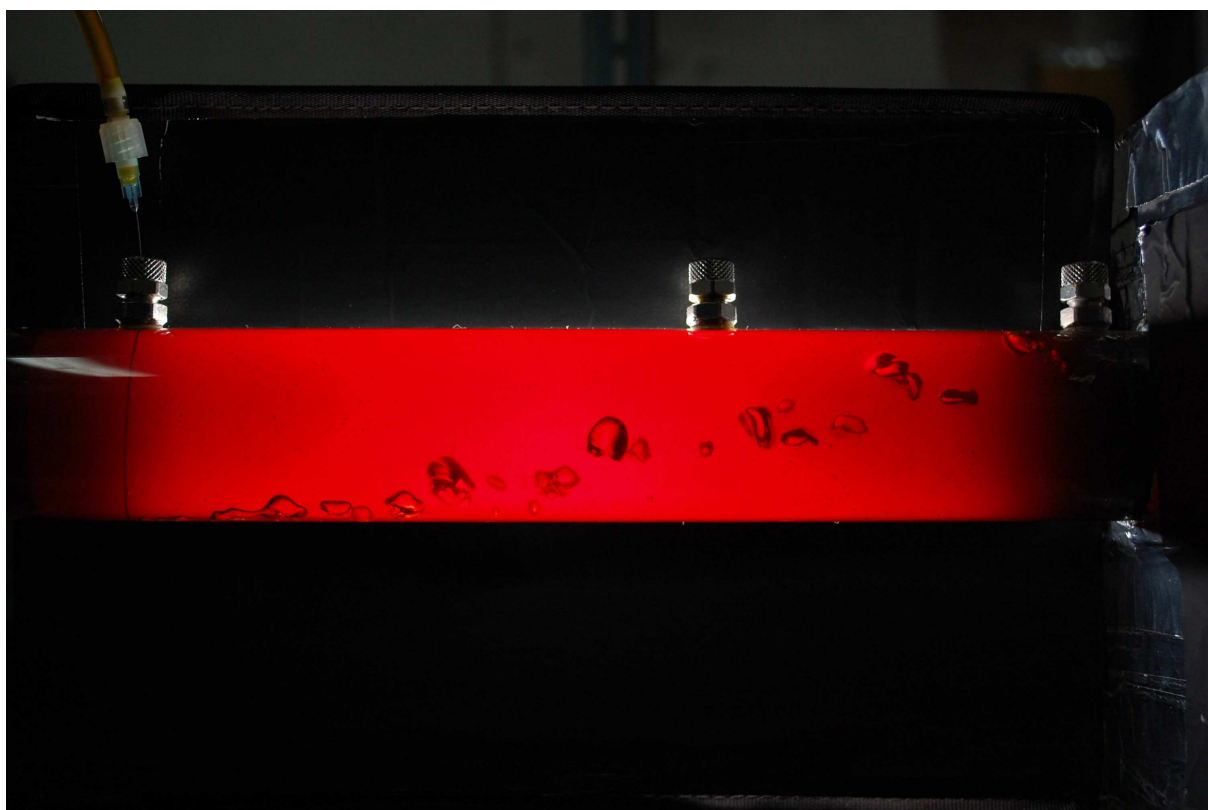


powietrza dla najmniejszych elektrod (odstęp między nimi 40 mm)

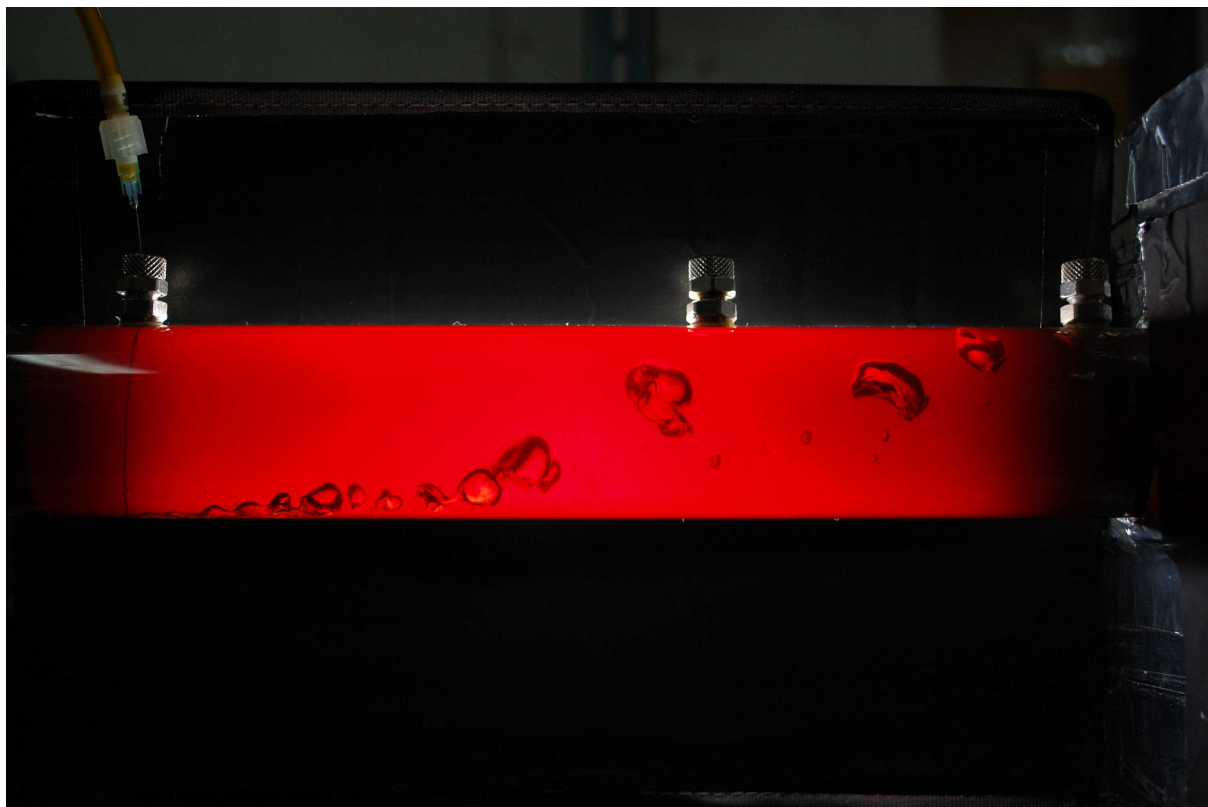


482 Temat: Przeprowadzenie badań przyrządu do pomiaru zawartości fazy gazowej w objętości ropy. Opracowanie i analiza charakterystyk pojemności elektrycznej oraz wartości z przetwornika w funkcji ilości podawanego powietrza. Cz. II.

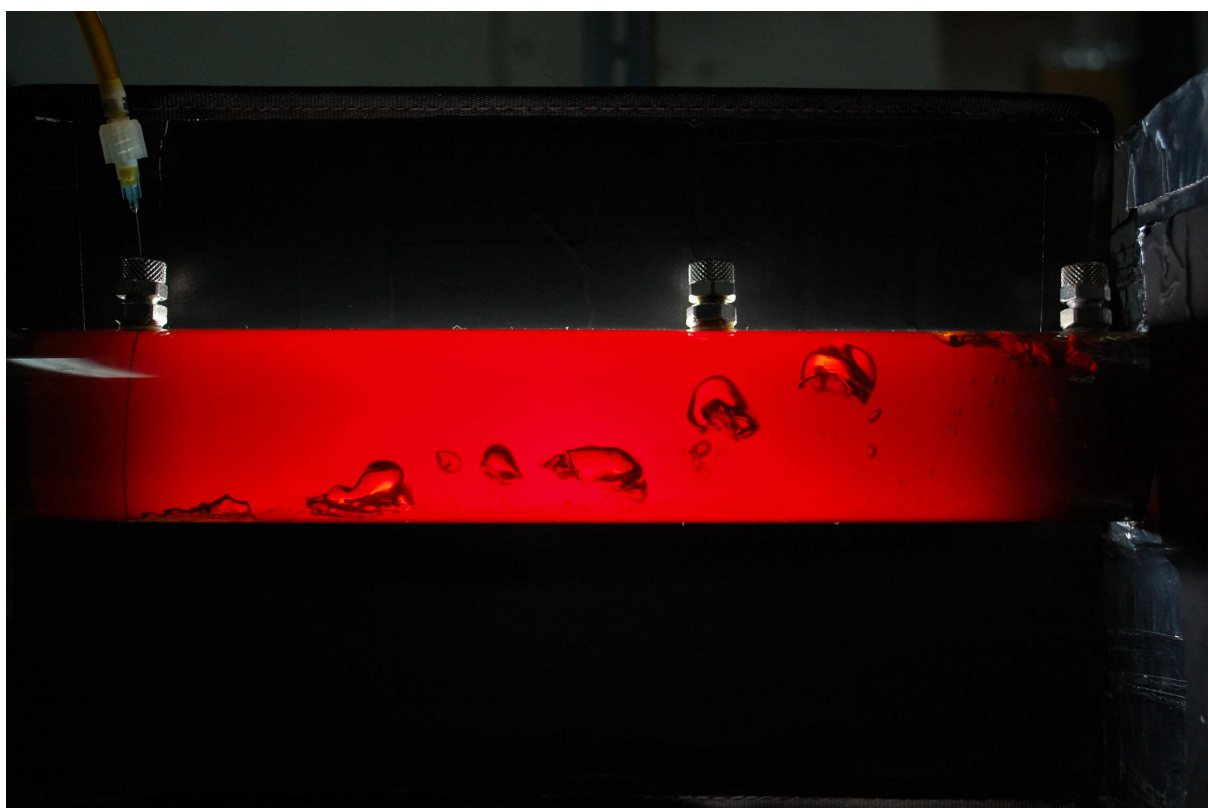
Jednym z najważniejszych aspektów przeprowadzonych badań, było wykonanie zdjęć przepływającym medium, aby móc porównać otrzymane wyniki pomiaru pojemności z rzeczywistym charakterem przepływu medium w rurze oraz rozkładem pęcherzy powietrza w przekroju rury. Aby móc wykonać zdjęcia przepływu, zaprojektowany 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 prześwietlał 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.



Rys. 7 Zdjęcie 1. Przepływ medium 5,8 m³, ilość podawanego powietrza 0,16 l/min. Pojemność: 2,4145 pF.



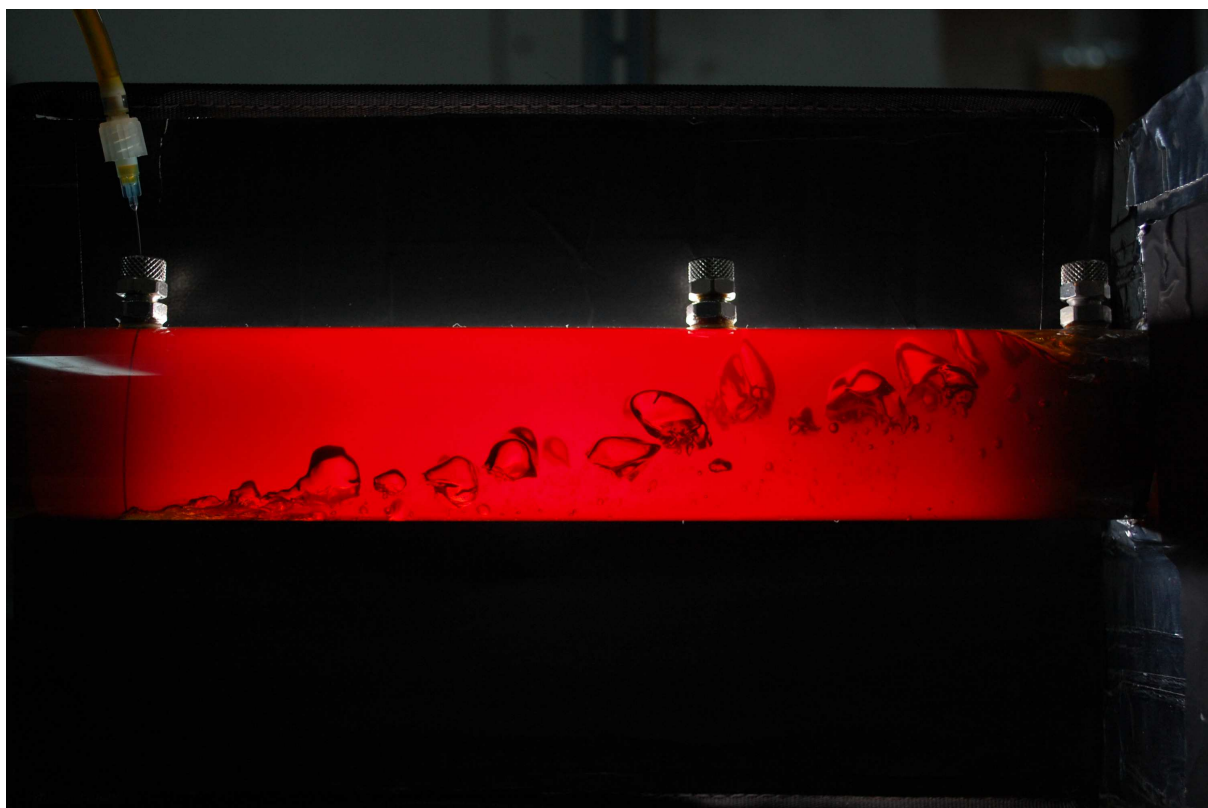
Rys. 8 Zdjęcie 2. Przepływ medium 5,8 m3, ilość podawanego powietrza 0,36 l/min. Pojemność: 2,4067 pF.



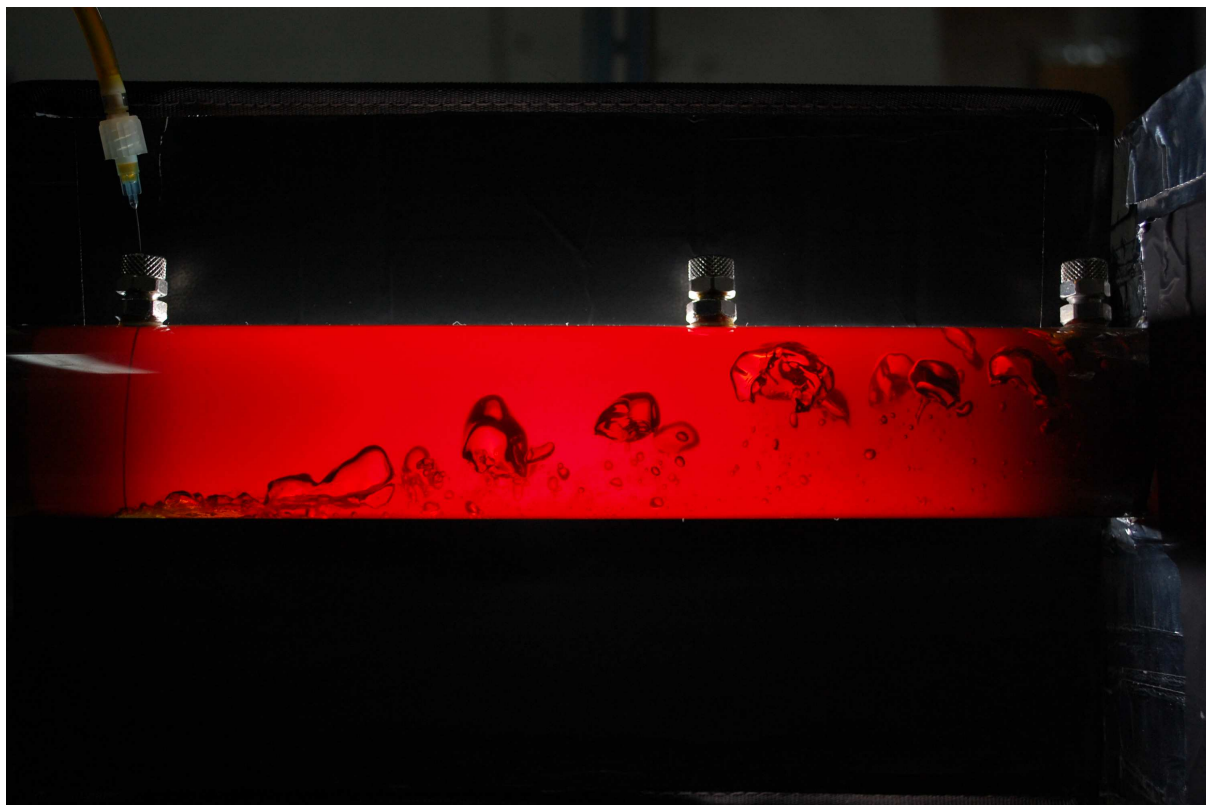
Rys. 9 Zdjęcie 3. Przepływ medium 5,8 m3, ilość podawanego powietrza 0,66 l/min. Pojemność: 2,3997 pF.



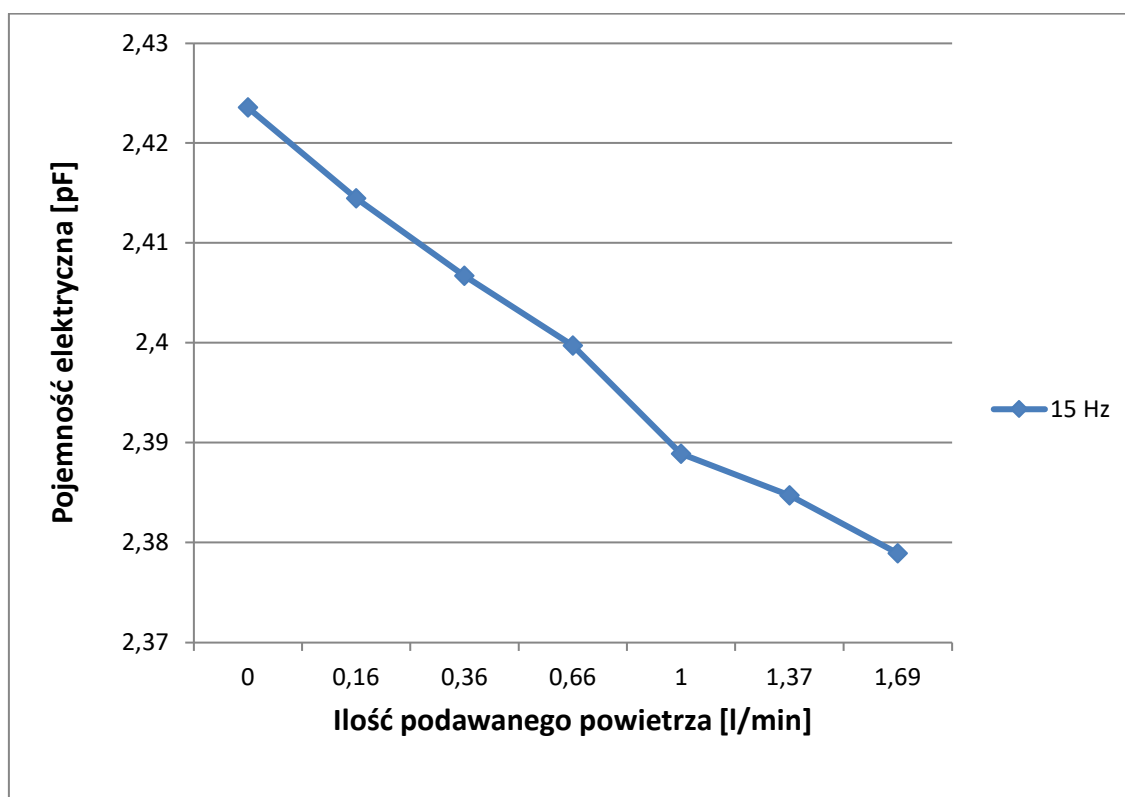
Rys. 10 Zdjęcie 4. Przepływ medium 5,8 m³, ilość podawanego powietrza 1 l/min. Pojemność: 2,3889 pF.



Rys. 11 Zdjęcie 6. Przepływ medium 5,8 m³, ilość podawanego powietrza 1,37 l/min. Pojemność: 2,3847 pF.

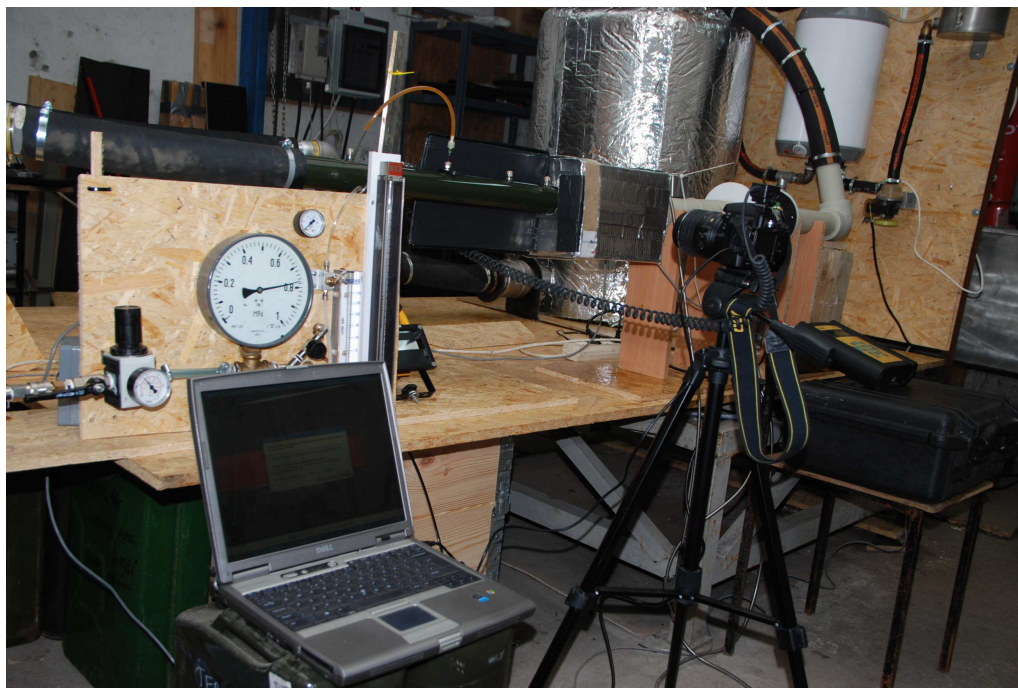


Rys. 12 Zdjęcie 6. Przepływ medium 5,8 m3, ilość podawanego powietrza 1,69 l/min. Pojemność: 2,3789 pF.



Rys. 14 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 powietrza. Wyniki te potwierdzają poprawność działania przyrządu do pomiaru pojemności medium dwufazowego.



Rys.15 Zdjęcie 7. Stanowisko 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° .

Temat 495. 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.

Tabela 8 Wyniki badania medium złożowego z podawanym metanem

Największe okładki	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		
	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
0		879103	1,293879	11	879553	1,294099	23	880461	1,294543	35	
0,216		868483	1,288694	12-13	878011	1,293346	24-25	879697	1,294169	36-37	
0,486		865083	1,287034	14-15	877360	1,293028	26-27	879369	1,294009	38-39	
0,891		861023	1,285051	16-17	876943	1,292825	28-29	878909	1,293785	40-41	
1,35		857077	1,283125	18-19	874766	1,291762	30-31	878175	1,293426	42-43	
1,8495		852033	1,280662	20-21	873926	1,291352	32-33	877532	1,293112	44-45	
Temp.		45°C									

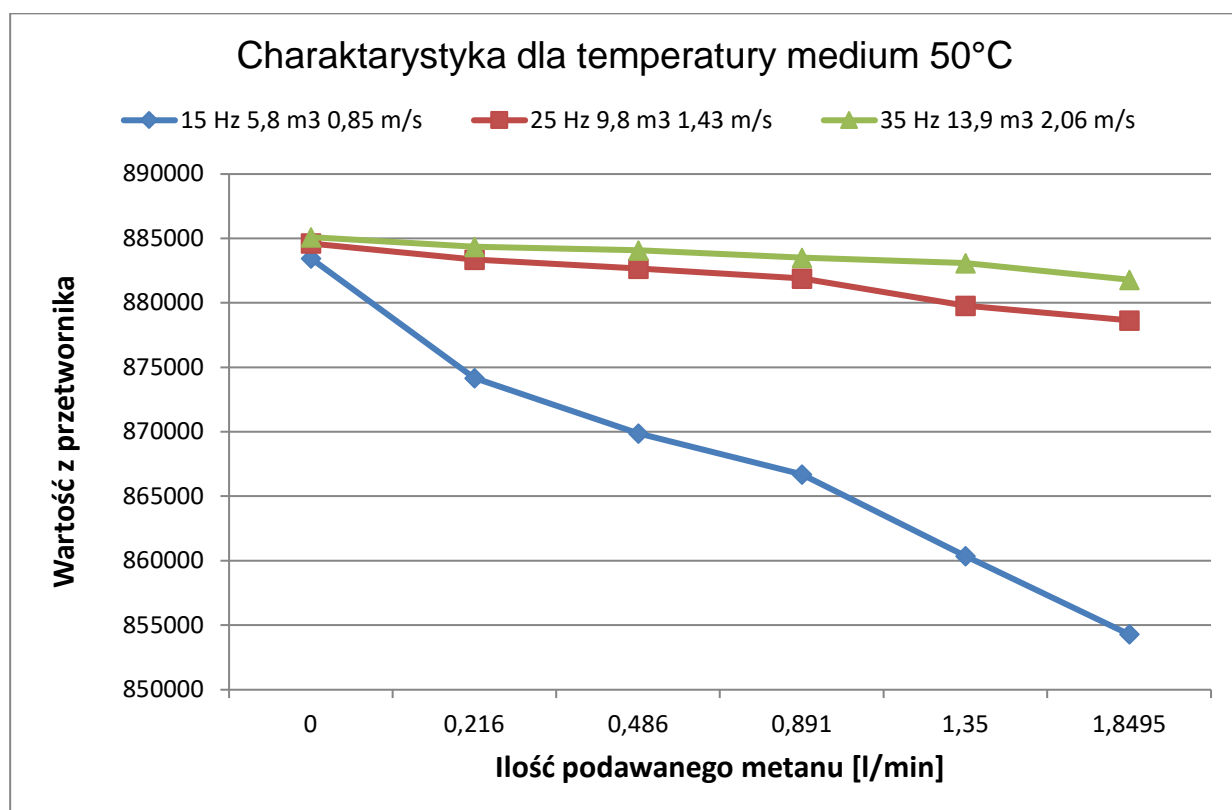
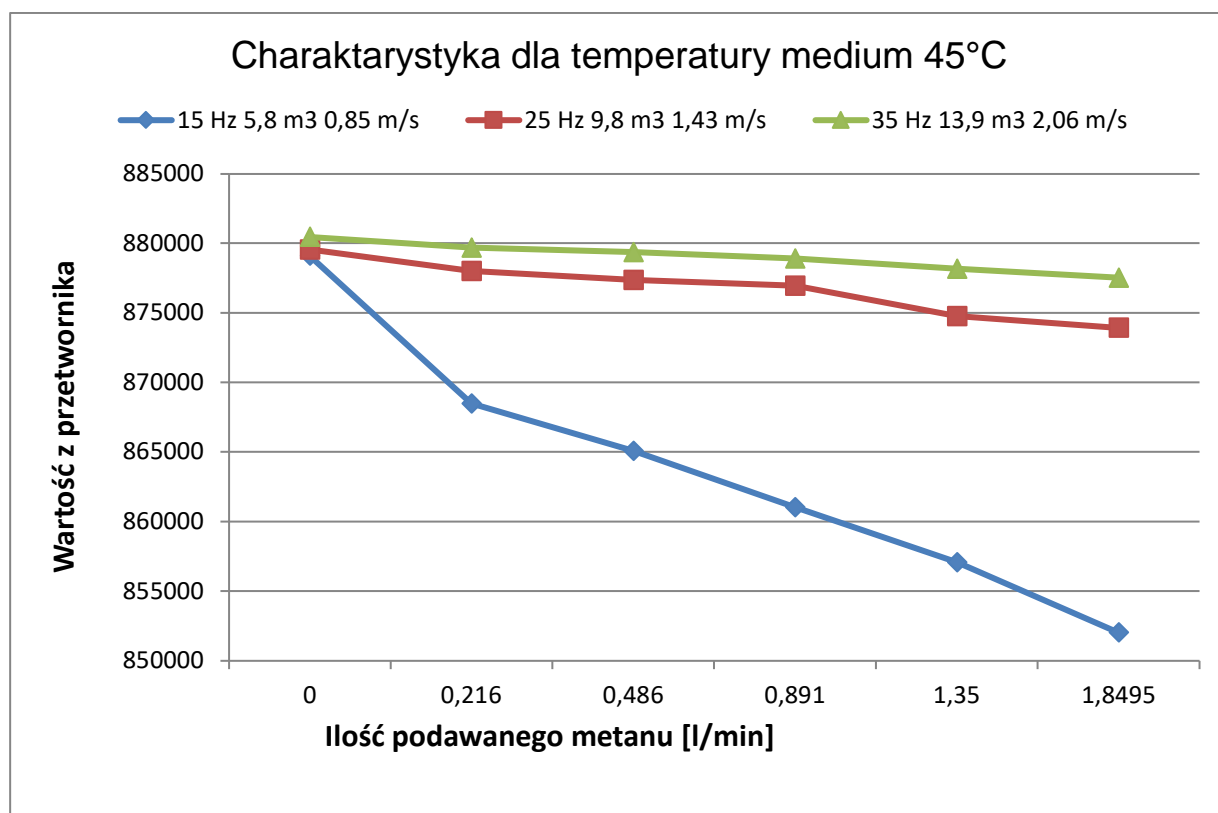
90°								
15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s			25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s			35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s		
Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
883472	1,296013	49	884619	1,296573	61	885103	1,296809	73
874170	1,291471	50-51	883356	1,295956	62-63	884352	1,296442	74-75
869885	1,289378	52-53	882657	1,295615	64-65	884087	1,296313	76-77
866702	1,287824	54-55	881886	1,295238	66-67	883509	1,296031	78-79
860357	1,284726	56-57	879796	1,294218	68-69	883086	1,295824	80-81
854299	1,281768	58-59	878646	1,293656	70-71	881797	1,295195	82-83
50°C								

Tabela 9 Wyniki badania medium złożowego z podawanym powietrzem

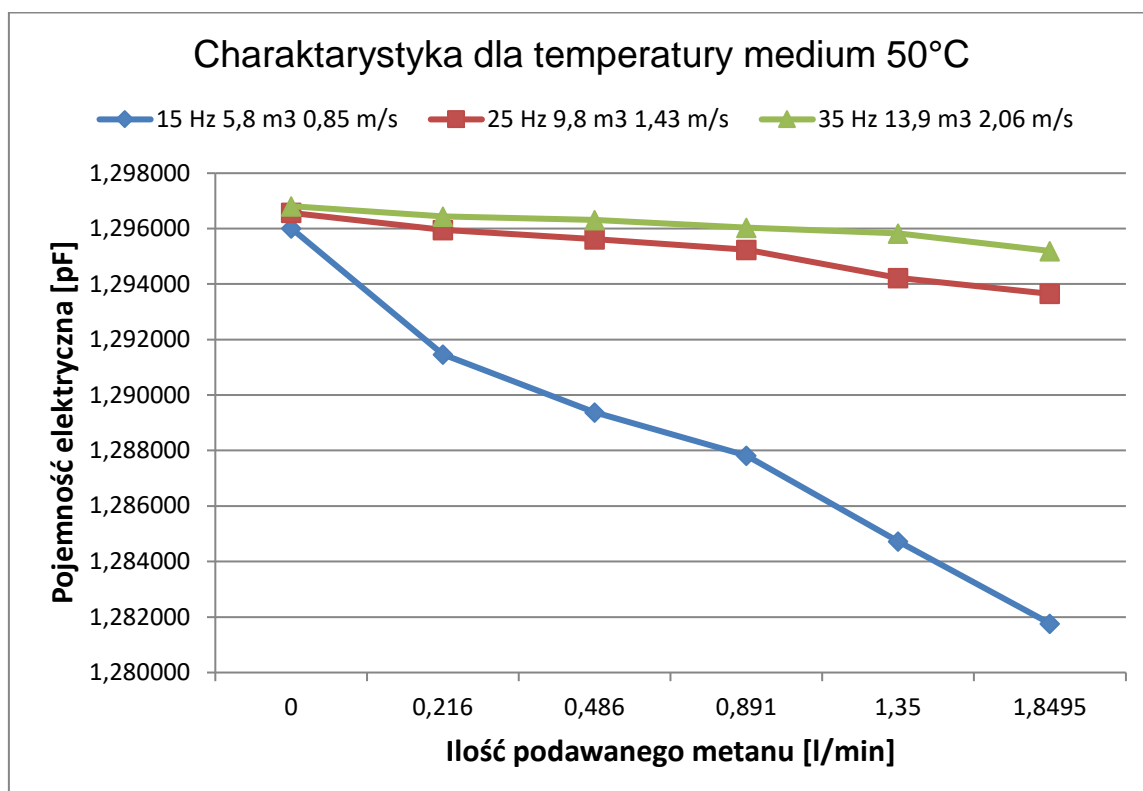
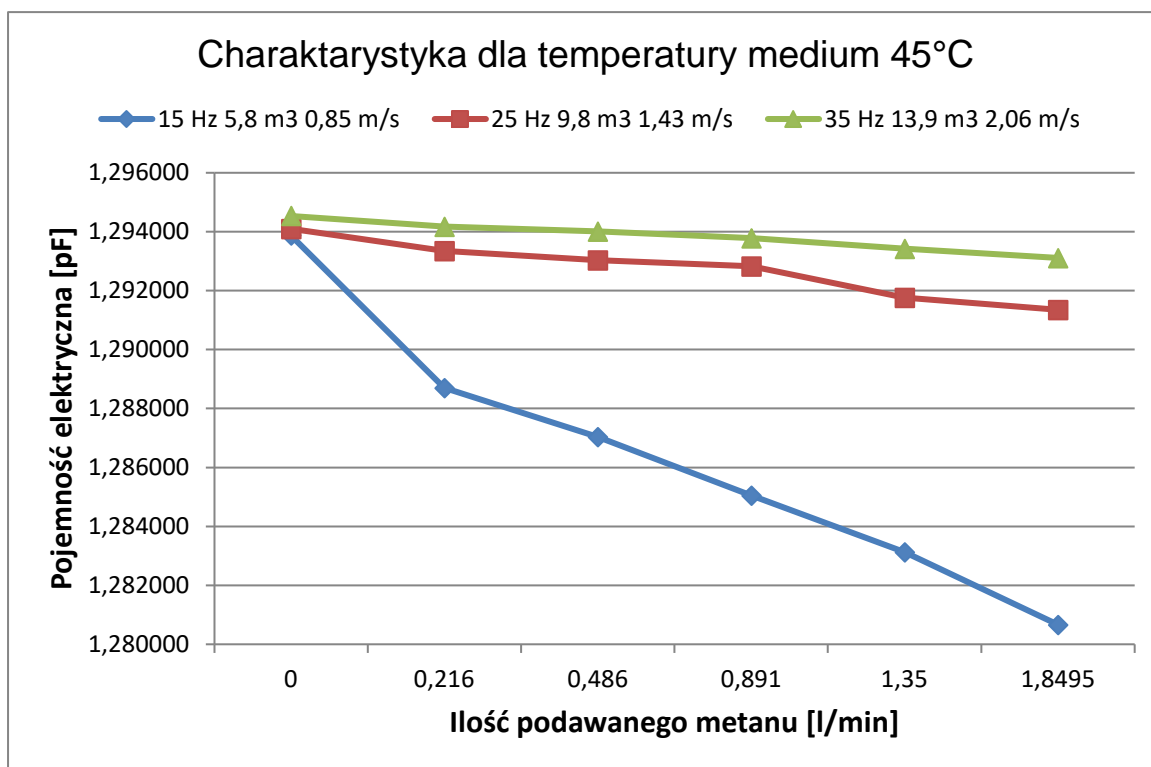
Średnie okładki (odstęp między 26 mm)	Ułożenie elektrod		90°								
	Prędkość pompy		15 Hz - 5,8 m3 0,85 m/s			25 Hz - 9,8 m3 1,43 m/s			35 Hz - 13,9 m3 2,06 m/s		
	Ilość podawanego powietrza [l/min]		Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia	Wartość z przetwornika	Pojemność [pF]	Numer zdjęcia
		0	885331	1,296920474	"2"	885953	1,297224185	17	887837	1,298144107	30-32
		0,16	878222	1,293449283	"3-5"	884554	1,29654108	18-19	886924	1,297698306	33-34
		0,36	874214	1,291492251	"6-7"	884433	1,296481998	20-21	886299	1,297393131	35-36
		0,66	870501	1,289679263	"8-9"	883994	1,296267642	22-23	885905	1,297200748	37-38
		1	866330	1,287642642	"10-11"	883149	1,295855045	24-25	884486	1,296507877	39-40
		1,37	862871	1,285953677	"12-13"	881401	1,295001529	26-27	884179	1,296357974	41-42
1,69		862075	1,285565005	"14-16"	879872	1,294254947	28-29	883541	1,296046451	43-44	
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
887933	1,298190982	45	889517	1,29896442	58	890362	1,299377017	69
882015	1,295301334	46-47	888377	1,298407779	59-60	889751	1,299078678	70-71
878414	1,293543033	48-49	887971	1,298209537	61-62	889932	1,299167057	72-73
874165	1,291468326	50-51	887118	1,297793033	63-64	887515	1,297986881	74-76
870870	1,289859439	52-53	886118	1,297304752	65-66	886816	1,297645572	77-78
867886	1,288402407	54-55	885707	1,297104068	67-68	886023	1,297258365	79-80
864641	1,286817935	56-57	885359	1,296934146		885802	1,297150455	
50°C								

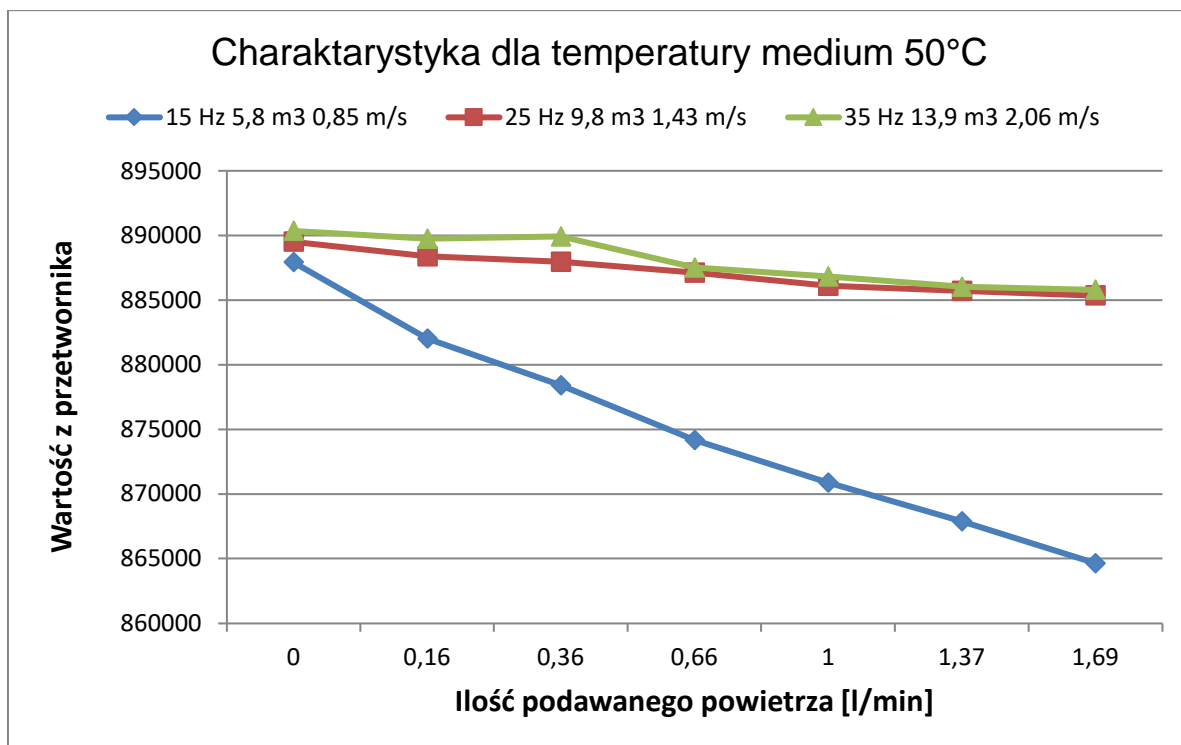
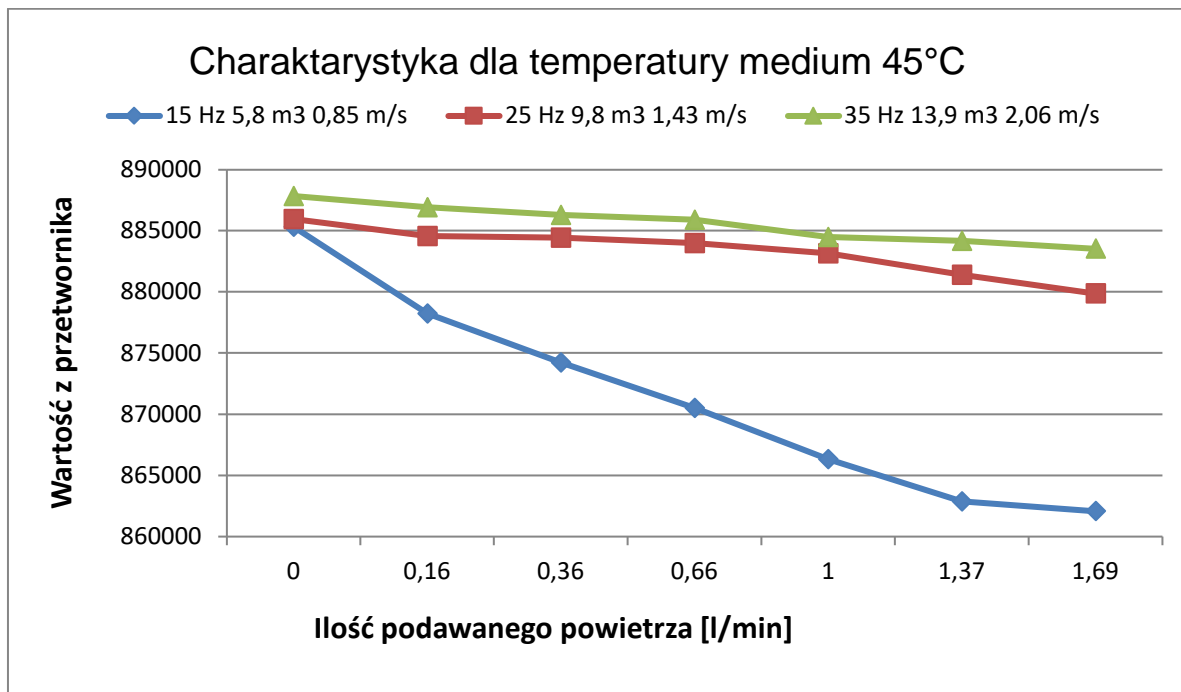
Rys. 15 Charakterystyki wartości z przetwornika w funkcji ilość podawanego metanu



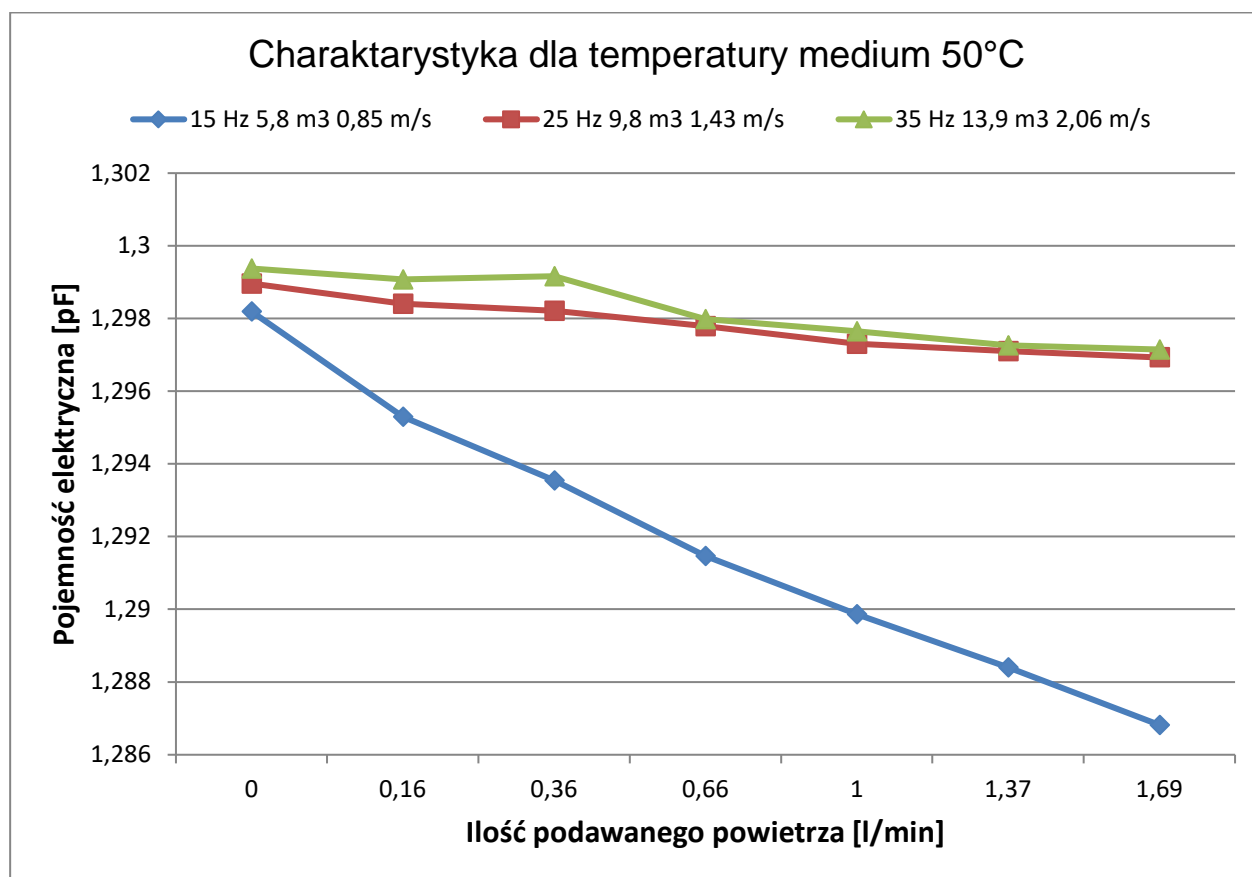
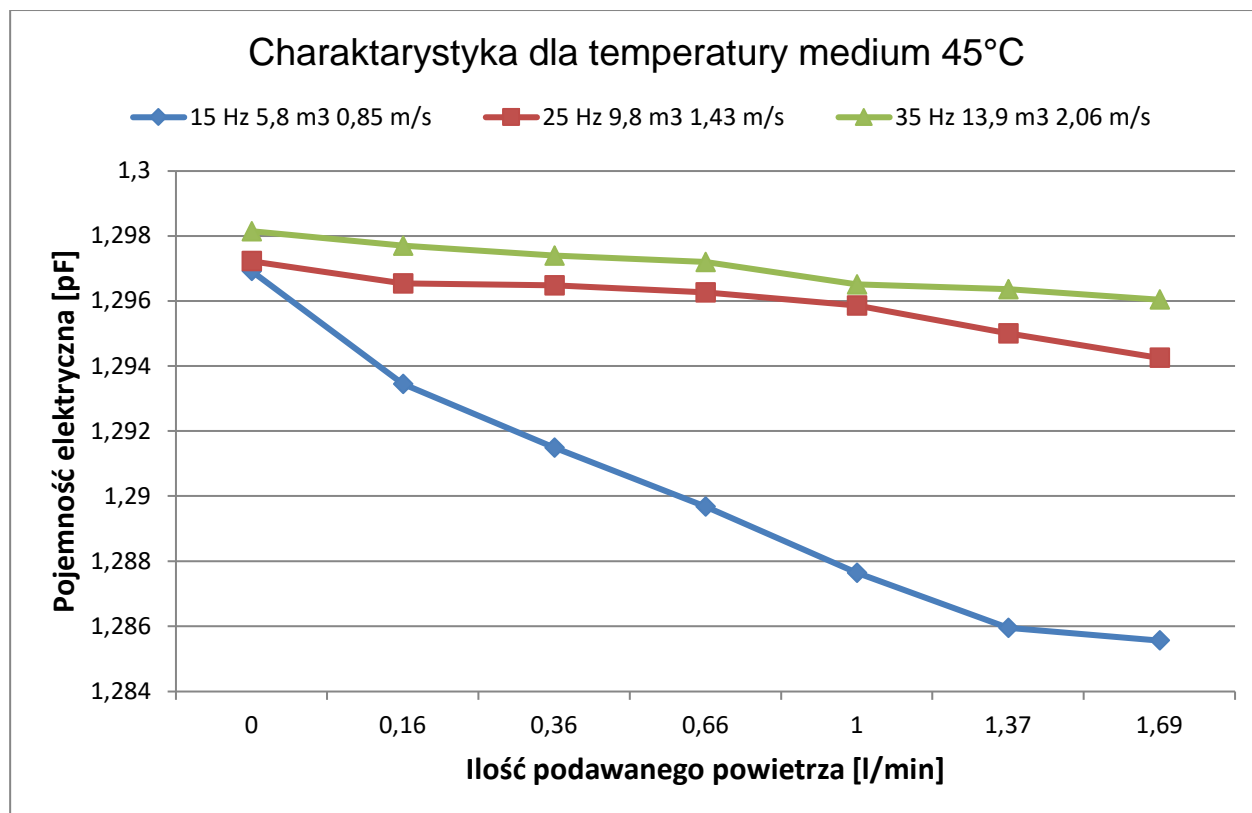
Rys. 16 Charakterystyki pojemności elektrycznej w funkcji ilości podawanego metanu



Rys. 17 Charakterystyki wartości z przetwornika w funkcji ilość podawanego powietrza



Rys. 18 Charakterystyki 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.

Temat 504. 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.

Badania przeprowadzone zostały w następującym porządku:

Dzień pierwszy pomiarów. Rozgrzanie medium do 45°C i utrzymywanie jej oraz pomiar wartości z przetwornika przez 2,5 godz co 2 min. Następnie rozgrzanie medium do 50°C z jednoczesnym pomiarem wartości z przetwornika co 1°C. Następnie utrzymywanie temperatury 50°C i pomiar wartości z przetwornika przez 2 godz co 2 min.

Dzień drugi pomiarów. Rozgrzanie medium do 50°C i utrzymywanie jej oraz pomiar wartości z przetwornika przez 2 godz co 2 min. Następnie ostudzenie medium do 45°C z jednoczesnym pomiarem wartości z przetwornika co 1°C. Następnie utrzymywanie temperatury 45°C i pomiar wartości z przetwornika przez 20 min co 2 min.

Tabela 10 Badania sprawdzające stabilność zera w przyrządzie

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
23	11:54	878130
24	11:56	878001
25	11:58	878013
26	12:00	877849
27	12:02	877866
28	12:04	877989
29	12:06	878059
30	12:08	878091
31	12:10	878217
32	12:12	878284
33	12:14	878473
34	12:16	878480
35	12:18	878241
36	12:20	878363
37	12:22	878193
38	12:24	878176
39	12:26	878026
40	12:28	878204
41	12:30	878014
42	12:32	878062
43	12:34	878000
44	12:36	877971
45	12:38	878176
46	12:40	878080
47	12:42	877946
48	12:44	878051
49	12:46	878040
50	12:48	878039
51	12:50	877906
52	12:52	878026
53	12:54	877901
54	12:56	877840
55	12:58	877830
56	13:00	877866
57	13:02	877788
58	13:04	878026
59	13:06	877950
60	13:08	877911
61	13:10	877918
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

22	15:12	881115
23	15:14	880974
24	15:16	880797
25	15:18	880745
26	15:20	880977
27	15:22	880455
28	15:24	880367
29	15:26	880443
30	15:28	880023
31	15:30	880206
32	15:32	880003
33	15:34	879977
34	15:36	879723
35	15:38	879952
36	15:40	879763
37	15:42	879744
38	15:44	879993
39	15:46	879912
40	15:48	879905
41	15:50	879918
42	15:52	879822
43	15:54	879910
44	15:56	879971
45	15:58	879954
46	16:00	879858
47	16:02	879802
48	16:04	879795
49	16:06	879834
50	16:08	879735
51	16:10	879653
52	16:12	879531
53	16:14	879511
54	16:16	879459
55	16:18	879343
56	16:20	879160
57	16:22	879130
58	16:24	879187
59	16:26	879050
60	16:28	879031
61	16:30	879026

69	13:26	878013
70	13:28	878117
71	13:30	878046

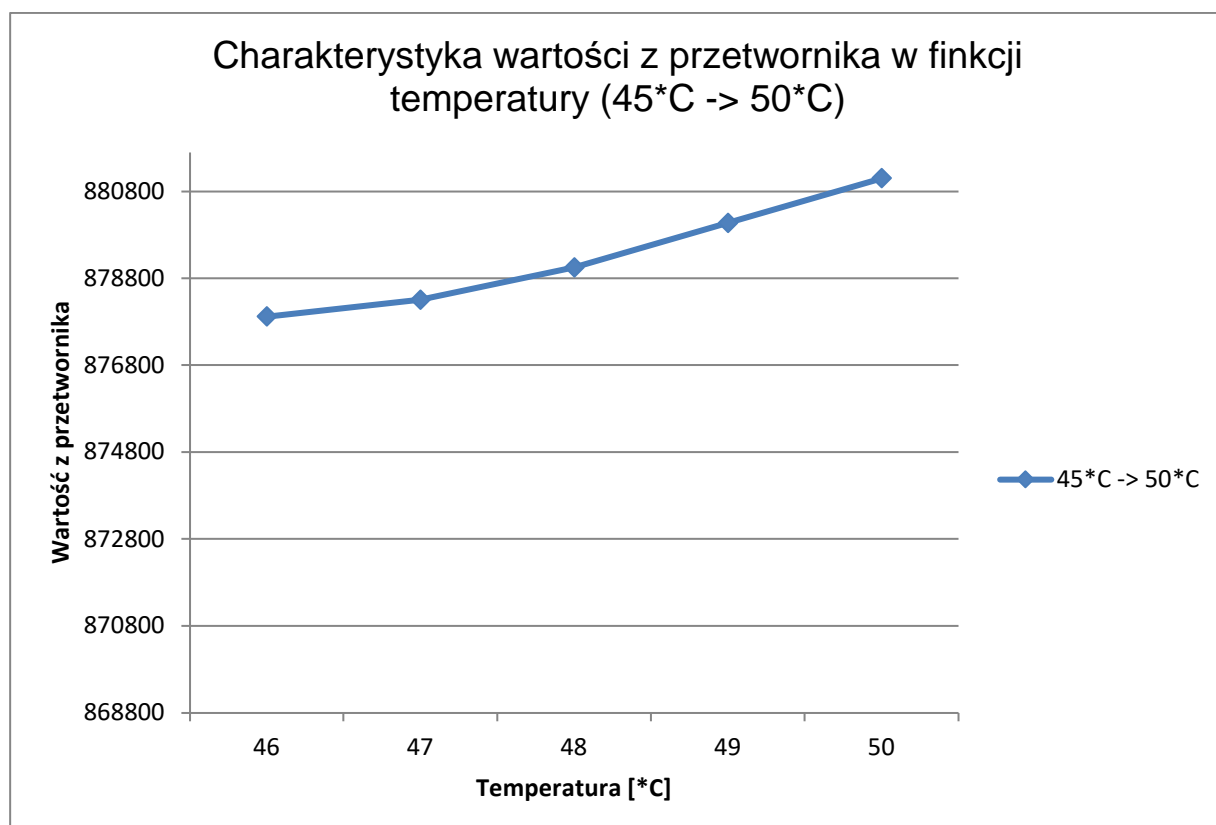
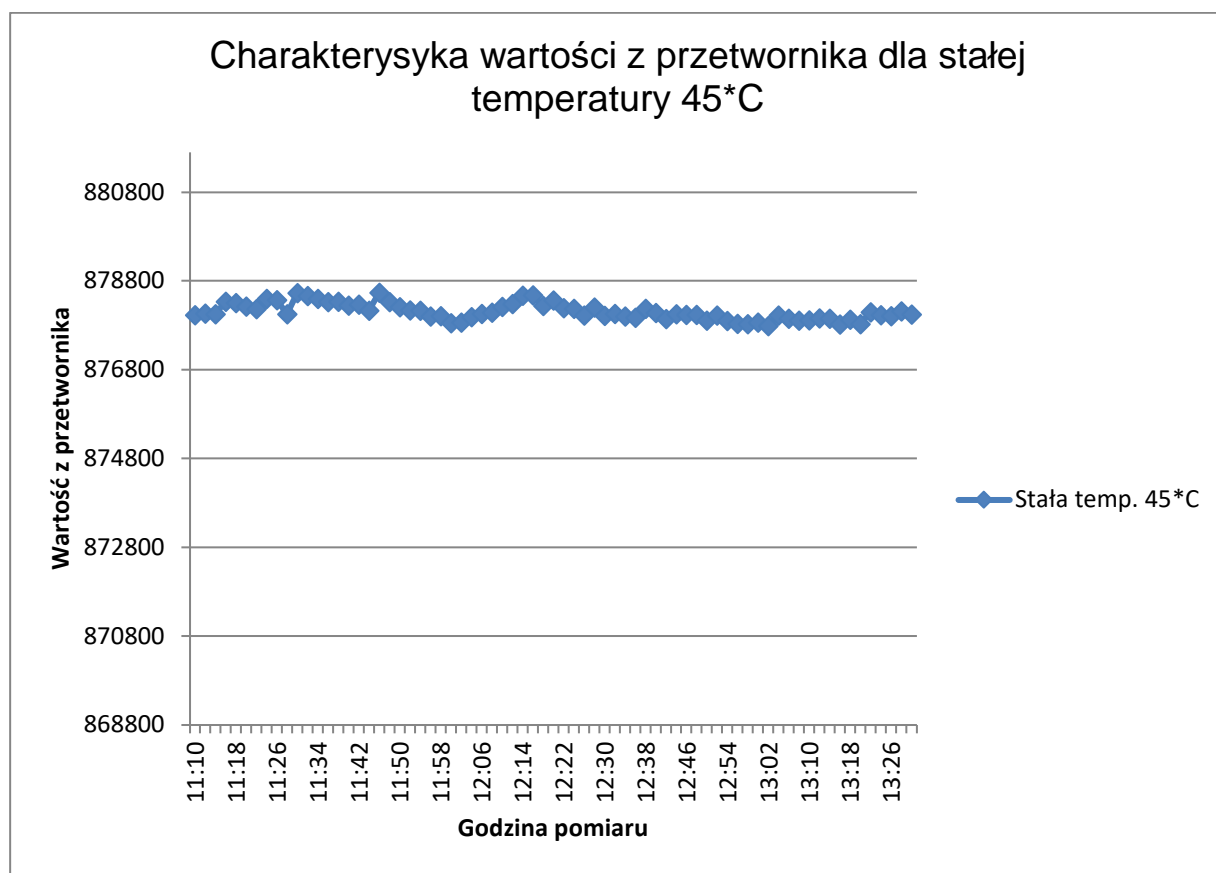
Tabela 11 Badania sprawdzające stabilność zera w przyrządzie

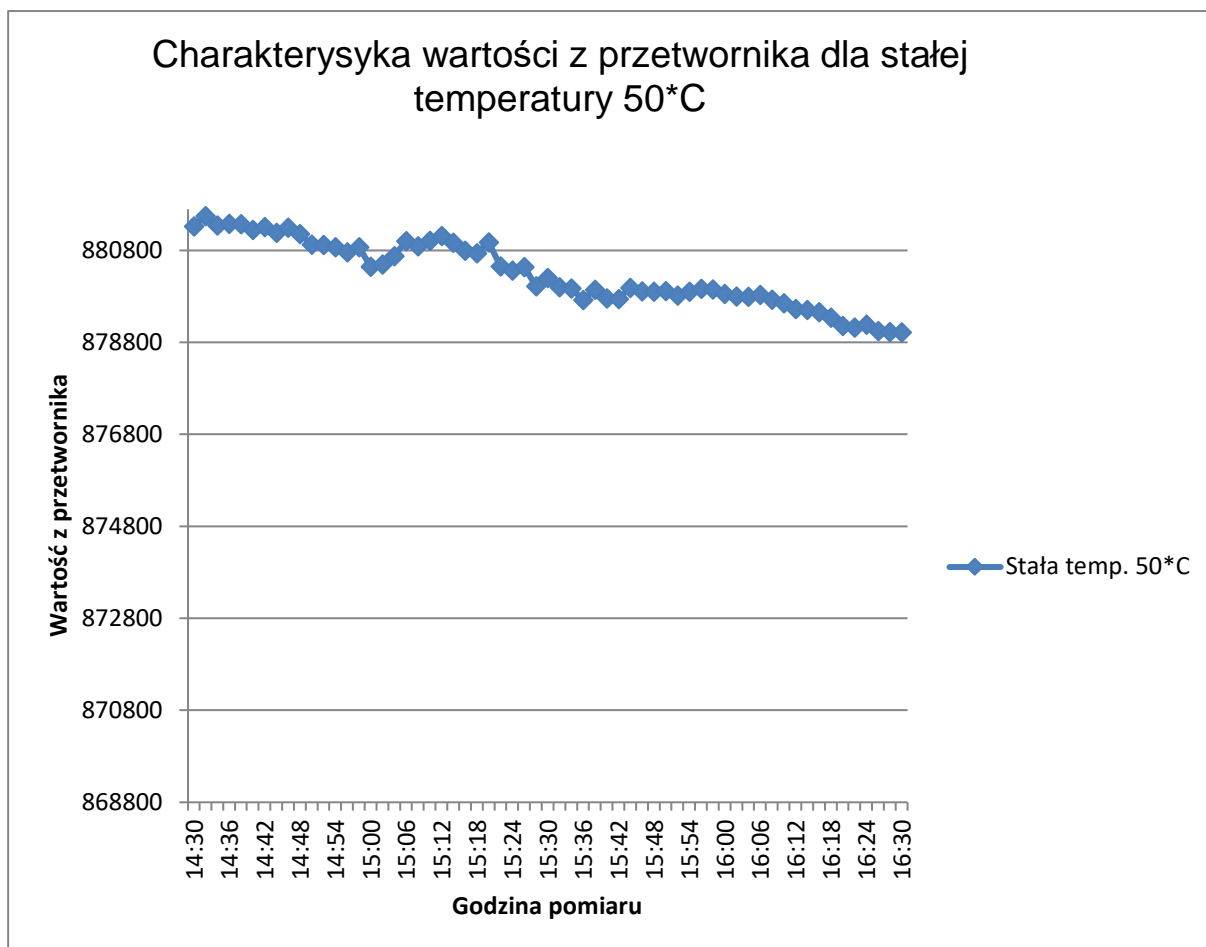
Dzień 21.06.2018 start pomiarów 11.48. Pomiary wykonywane co 2 min. Przepływ 5,70 m ³ /h 0,83 m/s								
Stała temperatura medium 50°C			Obniżenie temperatury 50°C -> 45°C			Stała temperatura medium 45°C		
	Godzina pomiaru	Wartość z przetwornika		Temperatura	Wartość z przetwornika		Godzina pomiaru	Wartość z przetwornika
1	11:48	876307	1	49	873525	1	15:12	869145
2	11:50	876541	2	48	872735	2	15:14	869057
3	11:52	876631	3	47	871526	3	15:16	868822
4	11:54	876611	4	46	870312	4	15:18	869094
5	11:56	876690	5	45	869213	5	15:20	868814
6	11:58	876850				6	15:22	868930
7	12:00	876786				7	15:24	869073
8	12:02	876890				8	15:26	869062
9	12:04	876914				9	15:28	868822
10	12:06	876705				10	15:30	868911
11	12:08	876977				11	15:32	868865
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

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

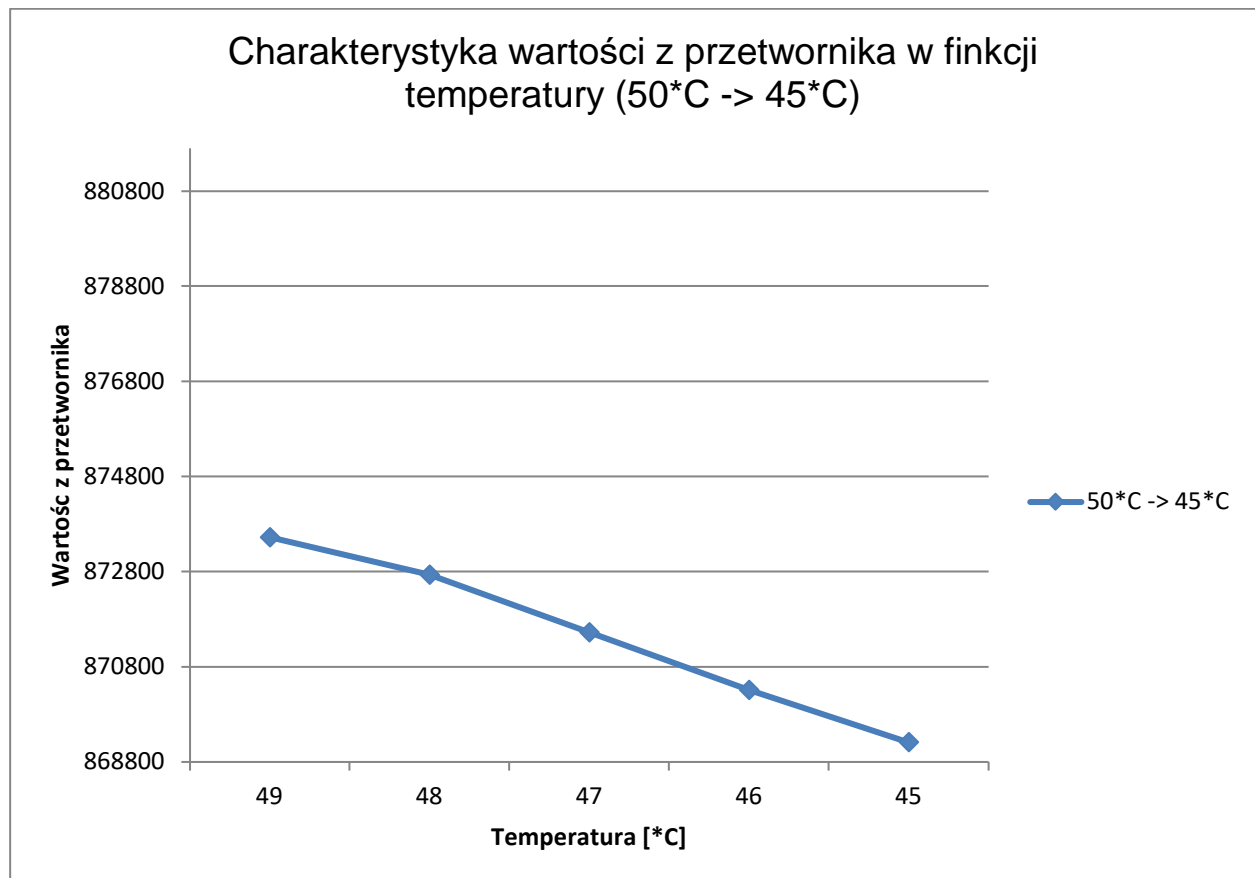
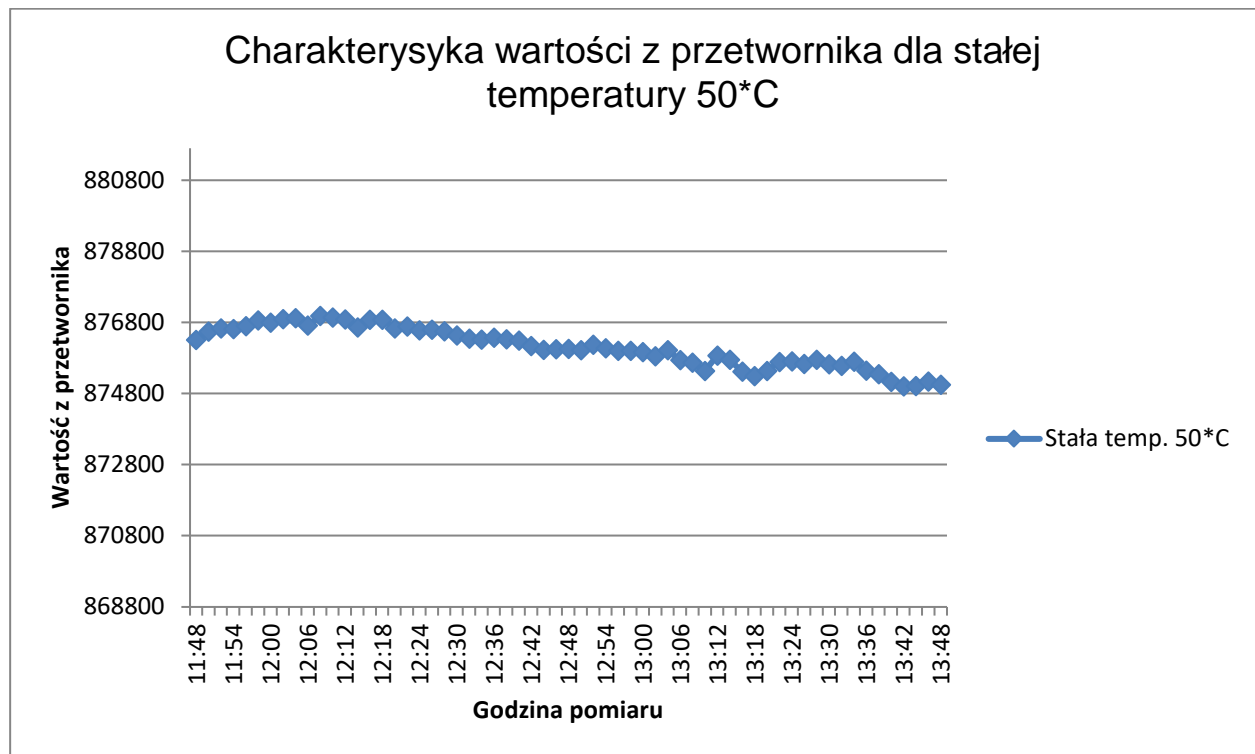
Rys. 19 Charakterystyki pojemności elektrycznej w funkcji temperatury

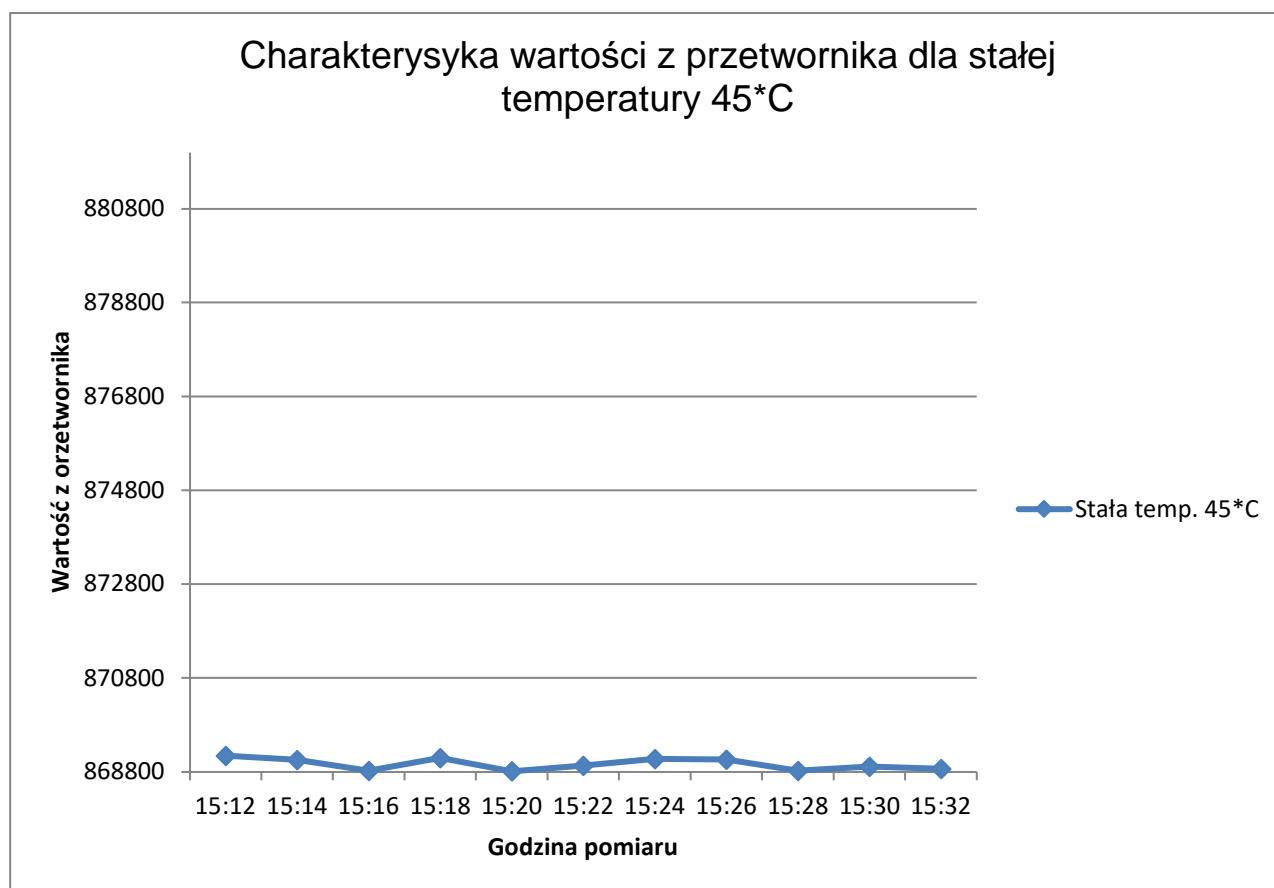




Charakterystyki dla drugiego dnia pomiarowego (dla porównania wszystkie osie z wartościami z przetwornika posiadają taki sam zakres)

Rys. 20 Charakterystyki pojemności elektrycznej w funkcji temperatury





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 510: 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.

Celem badań jest obserwacja wpływu zmian gęstości i temperatury badanego medium złożowego na wartość pojemności elektrycznej w przyrządzie. Obserwowana będzie również długoterminowa stabilność i dokładność wskazań.

Pierwszym etapem jest określenie zera i zbadanie wpływu zmiany temperatury medium. Medium złożowe zostaje podgrzane do 45°C. Wykonany jest pomiar. Następnie podgrzane do 50°C, wykonany jest pomiar. Następnie temperatura medium obniżona zostaje do 45°C i następuje wykonanie pomiaru. Badania zostały przeprowadzone w celu porównawczym. Wyniki przedstawione są poniżej.

Wyniki badania medium złożowego z podawanym metanem z przeskalowanym rotametrem.

Tabela 12. Określanie zera

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

Kolejnym etapem badań jest obserwacja wpływu zmian gęstości i temperatury badanego medium złożowego na wartość pojemności elektrycznej w przyrządzie wraz z podawaniem metanu. Wyniki przedstawione są poniżej:

Tabela 13. Zmiany pojemności elektrycznej w zależności od temperatury i ilości podawanego gazu.

		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		
Największe okładki	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		
		0	868536	1,288720	62	869107	1,288999	76	869720	1,289298	89	
		0,16	861015	1,285047	64-65	868075	1,288495	77-78	868834	1,288865	90-91	
		0,36	858492	1,283815	66-67	867463	1,288196	79-80	868869	1,288882	92-93	
		0,66	855320	1,282267	68-69	866594	1,287772	81-82	867844	1,288382	94-95	
		1	852131	1,280710	70-71	865508	1,287241	83-84	867621	1,288273	96-97	
		1,37	847561	1,278478	72-73	864601	1,286798	85-86	866797	1,287871	98-99	
		1,69	843986	1,276732	74-75	863322	1,286174	87-88	866731	1,287838	100-101	
		Temp.		45°C								

90°								
15 Hz - 5,8 m ³ 0,85 m/s			25 Hz - 9,8 m ³ 1,43 m/s			35 Hz - 13,9 m ³ 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
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								

Kolejnym etapem jest sprawdzenie „pływającego zera” i zbadanie wpływu zmiany temperatury medium. Badanie polega na wykonaniu pomiaru zera naprzemiennie na różnych temperaturach medium złożowego, 45°C i 50°C. Badanie rozpoczyna się przy 45°C a następnie kilkakrotnie podgrzane i schłodzone do uzyskania odpowiednich temperatur. Wyniki przedstawione są poniżej:

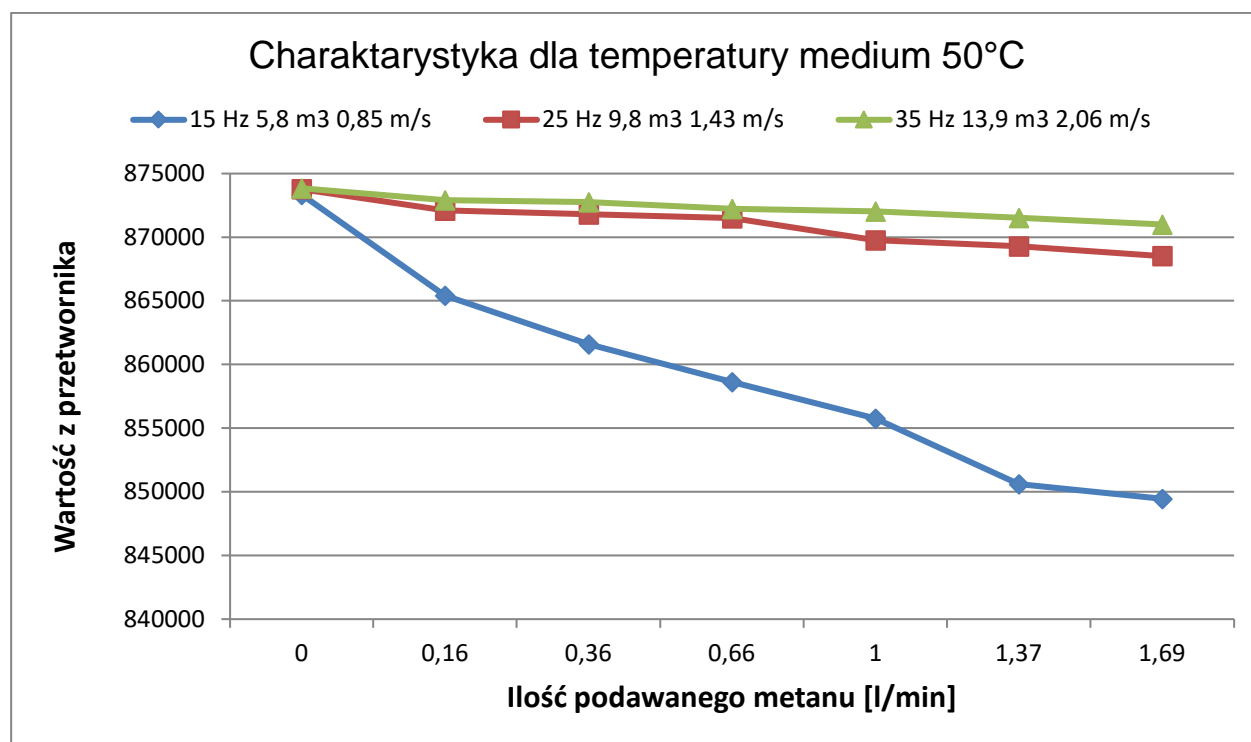
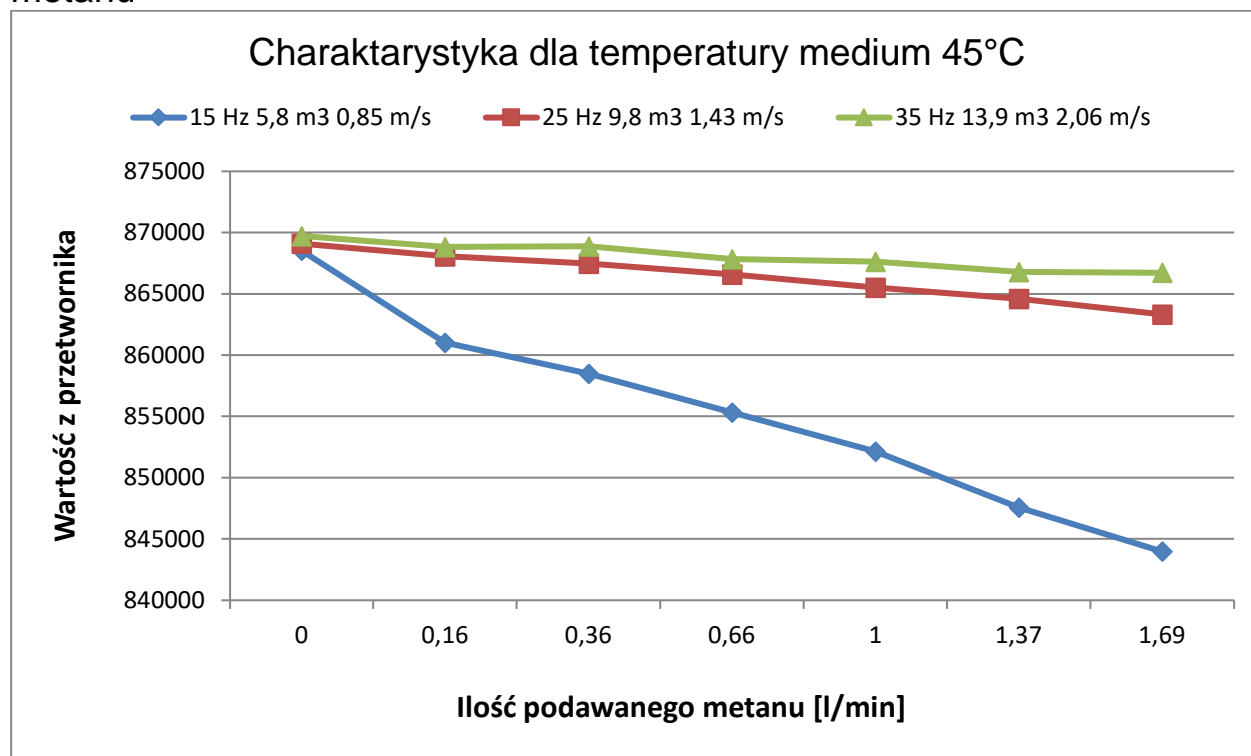
Tabela 14. Wyniki sprawdzania "pływającego zera" bez podawania gazu.

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

Kolejny etap to wyznaczenie charakterystyk pojemności elektrycznej w funkcji ilości podawanego gazu.

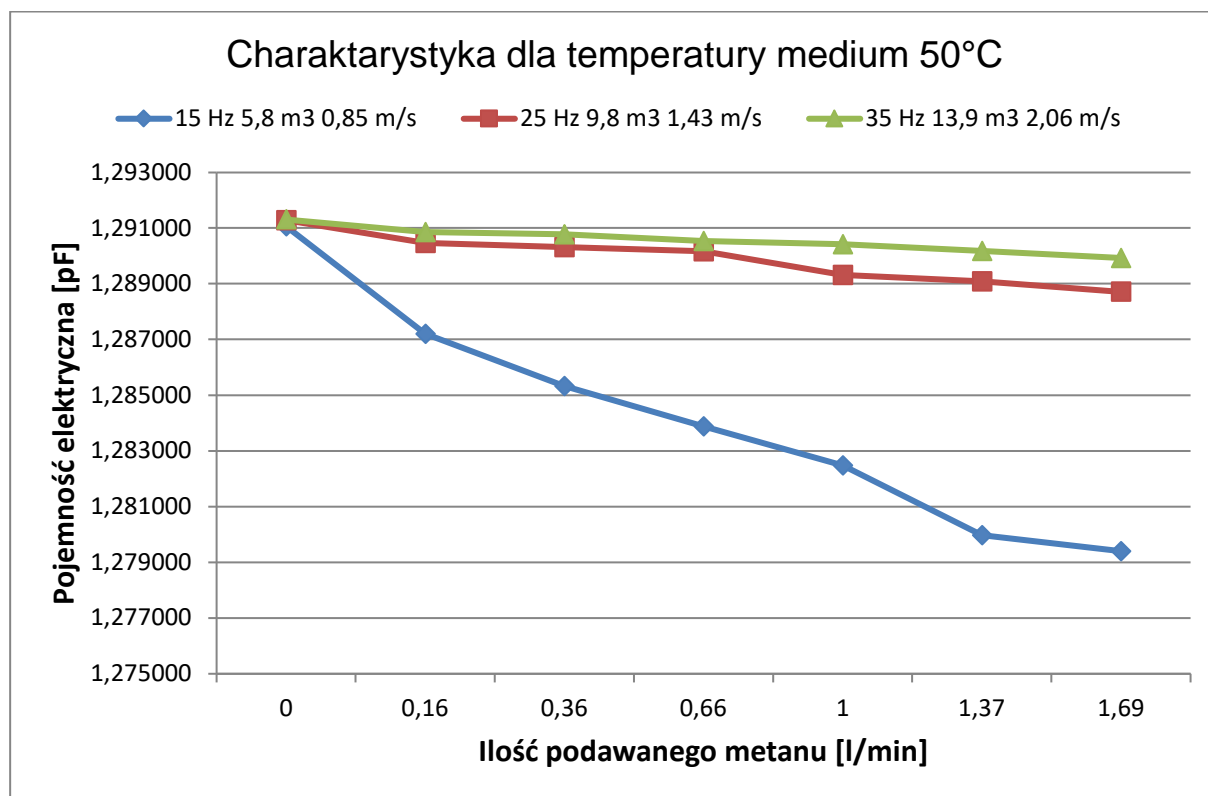
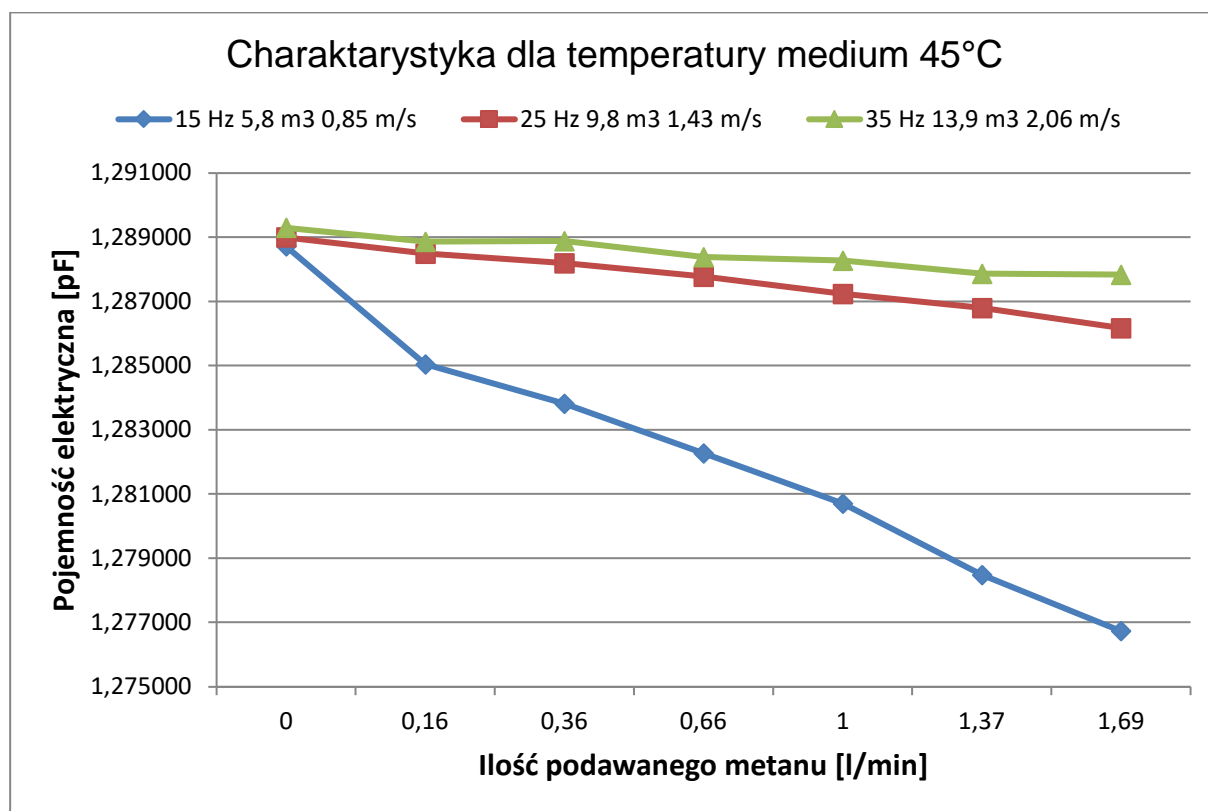
Rys. 21 Charakterystyki wartości z przetwornika w funkcji ilość podawanego metanu, okładki 45*.

Charakterystyka wartości z przetwornika w funkcji ilość podawanego metanu



Rys. 22. Charakterystyki wartości z przetwornika w funkcji ilość podawanego metanu, okładki 90*.

Charakterystyka pojemności elektrycznej w funkcji ilości podawanego metanu



Kolejny etap badań, to obserwowanie stabilności wskazania pojemności elektrycznej w następujących reżimach:

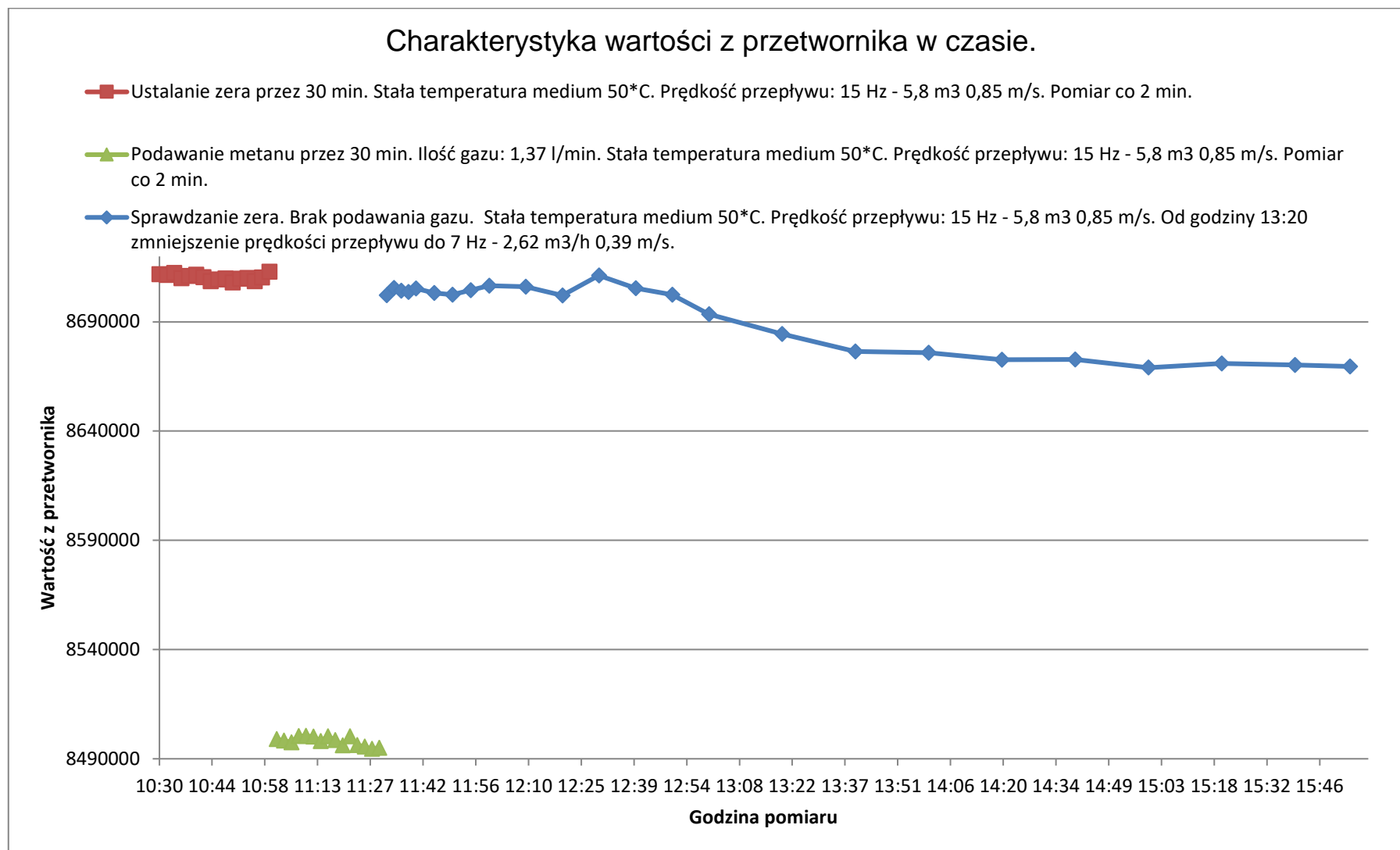
- Ustalanie zera przez 30 min. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m³ 0,85 m/s. Pomiar co 2 min.
- Podawanie metanu przez 30 min. Ilość gazu: 1,37 l/min. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m³ 0,85 m/s. Pomiar co 2 min.
- Sprawdzanie zera. Brak podawania 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.

Tabela 15. Badanie stabilności wskazań.

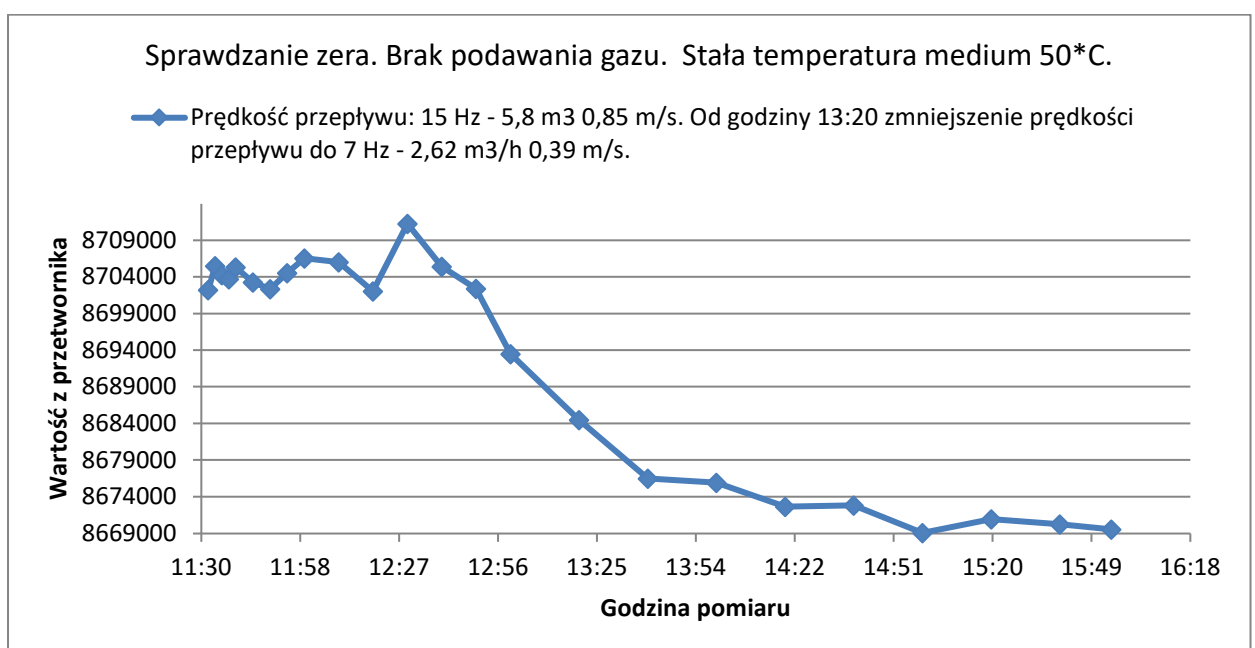
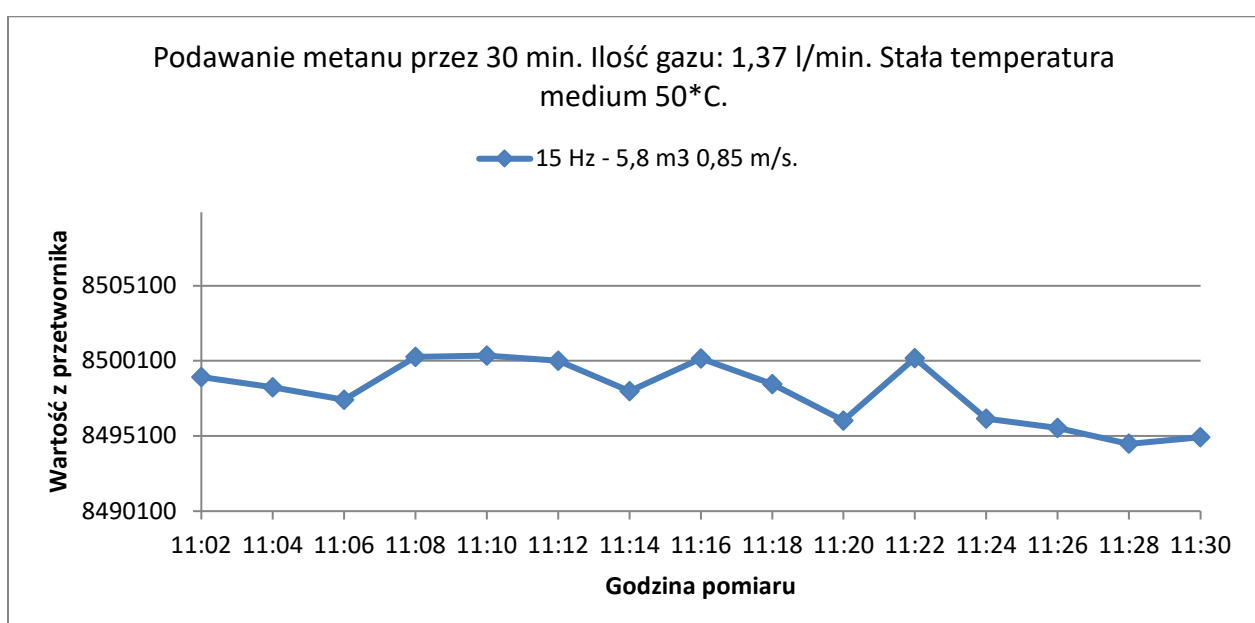
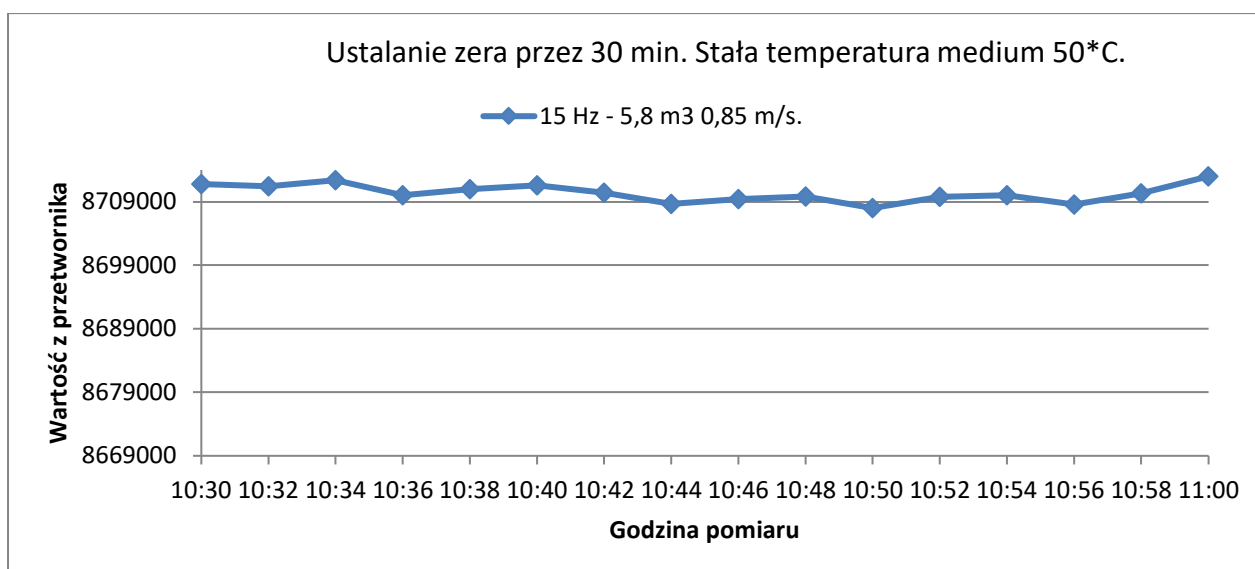
Dzień 20.06.2018 start pomiarów 11.10. Przepływ 5,68 m ³ /h 0,83 m/s								
Ustalanie zera przez 30 min. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 15 Hz - 5,8 m ³ 0,85 m/s. Pomiar co 2 min.			Podawanie metanu przez 30 min. Ilość gazu: 1,37 l/min. Stała temperatura medium 50°C. Prędkość przepływu: 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	10:30	8711779	1	11:02	8499015	1	11:32	8702233
2	10:32	8711437	2	11:04	8498342	2	11:34	8705481
3	10:34	8712364	3	11:06	8497504	3	11:36	8704267
4	10:36	8710016	4	11:08	8500369	4	11:38	8703681
5	10:38	8710988	5	11:10	8500456	5	11:40	8705317
6	10:40	8711563	6	11:12	8500114	6	11:45	8703245
7	10:42	8710420	7	11:14	8498073	7	11:50	8702361
8	10:44	8708651	8	11:16	8500259	8	11:55	8704531
9	10:46	8709394	9	11:18	8498561	9	12:00	8706552
10	10:48	8709803	10	11:20	8496111	10	12:10	8706034
11	10:50	8707996	11	11:22	8500269	11	12:20	8702038
12	10:52	8709774	12	11:24	8496243	12	12:30	8711263
13	10:54	8710033	13	11:26	8495638	13	12:40	8705392
14	10:56	8708563	14	11:28	8494581	14	12:50	8702379
15	10:58	8710298	15	11:30	8495019	15	13:00	8693485
16	11:00	8712999				16	13:20	8684456
						17	13:40	8676468
						18	14:00	8675901
						19	14:20	8672642
						20	14:40	8672807
						21	15:00	8669055
						22	15:20	8670906
						23	15:40	8670247
						24	15:55	8669523

Kolejny etap to wyznaczenie charakterystyk pojemności elektrycznej w czasie. Obrazuje ona stabilność wskazania pojemności elektrycznej w przyrządzie.

Rys. 23. Charakterystyka wartości z przetwornika w czasie.



Rys. 23. Charakterystyki wartości z przetwornika w czasie.



Prace rozwojowe nad pomiarem medium dwufazowego

Zastosowany pomiar zawartości fazy posiada wadę związaną bezpośrednio z metodą pomiaru opartą na pomiarze pojemności elektrycznej pomiędzy dwoma elektrodami umieszczonymi na rurze, przez które płynie medium. Wada ta polega na tym, że przy stałym stopniu zawartości fazy ciekłej i gazowej mierzona pojemność może zmieniać się od kilku do kilkunastu procent w zależności od rozmieszczenia przestrzennego faz. Widać to było również w przeprowadzonych pomiarach, gdyż czułość układu zależała od kąta rozmieszczenia elektrod pomiarowych.

Z tego względu po zakończeniu prac w ramach projektu, dalsze prace nad pomiarem przepływu medium dwufazowego złożonego z płynu złożowego i gazu prowadzone są w ramach doktoratu wdrożeniowego. Prowadzone prace mają na celu skonstruowanie i przebadanie przyrządu, który na celu ma dokładny pomiar zawartości fazy niezależnie od rozmieszczenia przestrzennego faz. Spełnienie tego wymagania wymusza zastosowanie układu wieloelektrodowego z wielokrotnym jednoczesnym pomiarem pojemności.

Zakończone już prace doprowadziły do skonstruowania skalowalnego miernika pojemności o częstotliwości próbkowania dochodzącej do 8kHz. Skonstruowany miernik charakteryzuje się bardzo dobrym stosunkiem sygnału do szumu przekraczającym 60dB, co daje 3 cyfry znaczące wyniku, oraz znakomitymi właściwościami dynamicznymi pozwalającymi na pomiar stanów dynamicznych. Obecnie trwa konstruowanie miernika służącego do pomiaru wieloelektrodowego opartego na istniejącym już mierniku dwuelektrodowym, który w założeniu osiągnie takie same parametry. Dalsze prace mają doprowadzić do stworzenia tomografu elektroimpedancyjnego, który poza dokładnym i szybkim określeniem zawartości faz pozwoli również na określenie rozkładu przestrzennego fazy ciekłej i gazowej.