

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

5. Dokumentacja osuszacza naftowego próbek pomiarowych gazu. D_1/2/2021d

I. Koncepcja szybkiego osuszacza próbki gazowej, badania weryfikujące na rzeczywistym modelu.

1. Koncepcja osuszacza

Osuszanie próbki gazowej niesie ze sobą wiele zagadnień, które muszą zostać efektywnie i poprawnie rozwiązane, aby badania i pomiary wykonywane w oparciu o osuszoną próbkę były wiarygodne. W niniejszym opracowaniu podjęte zostaną zagadnienia związane ze szczególnym przypadkiem próbki gazowej otrzymywanej na wiertni zarówno podczas procesu wiercenia, podczas pompowania próbnego, jak i podczas eksploatacji otworu naftowego lub gazowego.

Po pierwsze proces osuszania próbki nie może wpływać na skład próbki gazowej ze szczególnym uwzględnieniem proporcji pomiędzy składnikami węglowodorowymi.

Po drugie badanie próbki z reguły wykonuje się za pomocą chromatografów gazowych. Chromatografy mogą pracować w oparciu o różne technologie rozdzielania i detekcji gazów. W przypadku zastosowania chromatografu opartego o czujnik termokonduktometryczny, w skrócie TCD, występuje problem związany z utożsamianiem propanu i pary wodnej. Prowadzi to do wymagania, aby szczątkowa wilgoć w próbce gazowej po osuszeniu nie przekraczała poziomu 1 ppm. Inne typy detektorów, w szczególności detektor płomieniowo-jonizacyjny, w skrócie FID (Flame-Ionization-Detector), są pod tym względem dużo mniej wymagające, wymagany poziom osuszenia próbki gazowej musi uniemożliwić kondensację pary wodnej w jakimkolwiek elemencie chromatografu, aby nie doprowadzić do ewentualnego uszkodzenia urządzenia. Można przyjąć, że temperatura punktu rosy nie może przekraczać poziomu 0°C, dla bezpieczeństwa można realizować wymaganie temperatury punktu rosy na poziomie -10°C.

Po trzecie podczas wiercenia skład próbki gazowej zmienia się dynamicznie w miarę postępów wiercenia, natomiast zarówno podczas pompowania próbnego, jak i eksploatacyjnego z reguły próbka gazowa pobierana jest do przenośnego zbiornika magazynującego, w związku z czym dysponujemy ograniczoną objętością próbki gazowej. Uwarunkowania te wymuszają wymagania, aby proces osuszania był procesem szybkim. Z reguły akceptowalny jest czas osuszania na poziomie kilku sekund, w szczególnych przypadkach kilkunastu sekund. W związku z tym należy dążyć do tego, aby proponowana koncepcja osuszacza pozwoliła na osuszenie próbki gazowej w czasie 2-3 sekund lub szybciej.

Po czwarte urządzenia analityczne, czyli chromatograf gazowy lub analizator sumy węglowodorów wymagają z reguły dostarczenia próbki gazowej pod stosunkowo niewielkim ciśnieniem nie przekraczającym 2 bar, przy przepływie nie mniejszym 0,1-1 NI/min. Osuszacz powinien efektywnie pracować w takim zakresie przepływów i ciśnień.

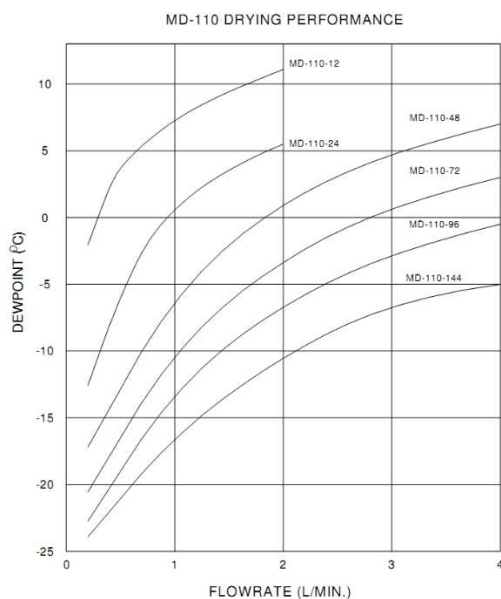
Proponowane rozwiązanie oparto na rurce nafionowej. Nafion jest zbudowany na bazie obojętnego polimeru fluorowęglowego w którym znajdują się rozciągające się pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną ścianką rurki kanały jonowe zawierające kwasowe grupy sulfonowe. Dzięki odwracalnym reakcjom elektrochemicznym kwasowych grup sulfonowych z wodą zawarta para wodna transportowana jest poprzez ściankę rurki nafionowej. Jednocześnie dla innych związków chemicznych, w szczególności dla węglowodorów prostych, ścianka rurki nafionowej stanowi skuteczną barierę. Zastosowanie filtra nafionowego pozwala na spełnienie pierwszego wymagania postawionego dla osuszacza.

Pozostałe wymagania należy spełnić poprzez wybór właściwego modelu filtra nafionowego, tak aby mógł on pracować przy wymaganych ciśnieniach i przepływach przy jednoczesnym ograniczeniu objętości wewnętrznej osuszacza, tak aby czas przepływu próbki gazowej przez osuszacz nie przekraczał 2-3 sekund. Dodatkowo należy zapewnić takie warunki pracy filtra nafionowego, aby osiągnięta temperatura punktu rosy była jak najniższa.

Korzystając z materiałów producenta filtrów nafionowych można wyróżnić szereg parametrów, które w znaczący sposób wpływają na poprawność i skuteczność działania, jak również narzucają wymagania dla zewnętrznych elementów, które wymuszają warunki pracy filtra nafionowego:

- temperatura pracy : maksymalna 150°C, producent nie podaje minimalnej temperatury pracy,
- ciśnienie: mniejsze niż 80 psig (80 bar),
- objętość osuszacza – zależna od modelu, zmienna jest średnica rurki, długość rurki, ilość rurek połączonych równolegle,
- szybkość osuszania i skuteczność osuszania próbki – producent podaje te parametry w formie wykresów pokazujących temperaturę punktu rosy w zależności od szybkości przepływu osuszanej próbki, przykładowy wykres dla filtrów z rodziny MD-110 przedstawiono na Rysunku 1, jednocześnie w materiałach producenta można znaleźć informacje, że szybkość osuszania przez filtr nafionowy uwarunkowana jest szybkością reakcji elektrochemicznych i rośnie z temperaturą, jednocześnie temperatura możliwego do uzyskania końcowego punktu rosy maleje z temperaturą filtra nafionowego, ponadto podana jest również informacja, że temperatura możliwego do uzyskania końcowego punktu rosy zależy od ciśnienia cząsteczkowego pary wodnej.

Opierając się o przytoczone wymagania i właściwości filtrów nafionowych do realizacji osuszacza wybrany został filtr MD-110-144. Jednocześnie do części badawczej wybrany został tańszy filtr MD-110-24. W celu zbadania optymalnych warunków pracy filtra układ próbny powinien zapewnić możliwość niezależnej regulacji temperatury i ciśnienia zarówno dla próbki, jak i powietrza suszącego.



Rysunek 1 Skuteczność osuszania dla filtrów nafionowych z rodziny MD-110.

2. Rzeczywisty układ badawczy i pomiary

Układ badawczy skonstruowany został w następujące podzespoły:

- Zasilacz 15V 13,5A
- Grzałka oporowa 15V 80W
- Chłodnica oparta o moduł Peltiera 15V 65W
- Dwie pompki ssąco-tłoczące
- Dwa czujniki wilgotności względnej HIH-3030
- Regulatory przepływu
- Rotametry
- Elementy podłączeń pneumatycznych dla ciśnień nie przekraczających 15bar
- Źródło suchego powietrza osuszonego metodą chemiczną o szczątkowej zawartości wilgoci poniżej 1ppm
- Źródło suchego powietrza z butli osuszonego metodą ciśnieniową o zawartości wilgoci na poziomie około 1%
- Filtr nafionowy MD-110-144
- Filtr nafionowy MD-110-24
- Szybkowar ciśnieniowy wyposażony w przyłącza pneumatyczne

Celowo nie został przedstawiony schemat blokowy układu badawczego, gdyż podczas przeprowadzania badań układ był wielokrotnie modyfikowany, aby w ostatecznym rezultacie uzyskać najlepsze osuszenie próbki gazowej. Etap badawczy dokonywany był przy użyciu tańszego filtra nafionowego typu MD-110-24. Dopiero końcowe badanie w układzie bardzo zbliżonym do układu docelowego zaplanowane zostało przy użyciu wytypowanego do układu docelowego filtra nafionowego typu MD-110-144. Wszystkie serie pomiarów wykonane zostały przy temperaturze grzałki 80°C i temperaturze chłodnicy 0°C. Ponadto zastosowane pompki pozwoliły na uzyskanie nadciśnienia +0,5bar i podciśnienia -0,3bar.

Nr.	Rodzaj badania	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
0	Powietrze atmosferyczne	39450	
1	Powietrze z butli	13400	
2	Bez tłumienia	38200	38800
3	Tłumienie próbki na wyjściu	38100	36950
4	Tłumienie powietrza technicznego na wyjściu	37900	39250
5	Tłumienie obu medium na wyjściu	38000	35750
6	Podciśnienie powietrza technicznego	37900	37000
7	Podciśnienie próbki	38000	36800
8	Podciśnienie obu medium	38000	36350
9	Podciśnienie próbki, tłumienie powietrza technicznego	38000	36800
10	Tłumienie próbki, podciśnienie powietrza technicznego	37600	36700

Tabela 1 Badania filtra nafionowego przy różnych układach połączeń pneumatycznych.

Wilgotność wyjściowa ulega niewielkim zmianom, podczas sprawdzenia przyczyny okazało się, że uszkodzeniu uległ wilgotnościomierz na wyjściu filtra nafionowego. Kolejne badania zostały przeprowadzone po wymianie czujnika wilgotności na wyjściu filtra nafionowego na sprawny.

Zaznaczyć należy, że pomiary wilgotności powietrza atmosferycznego i z butli dokonane zostały przy pomocy czujnika użytego do pomiaru wilgotności na wejściu filtra nafionowego. Do pomiarów 2-10 jako medium suszące, czyli powietrze techniczne, użyte zostało powietrze z butli, natomiast jako próbka gazowa powietrze atmosferyczne.

Odczyty wilgotności zostały zdjęte jako bezpośrednie wartości z przetwornika analogowo-cyfrowego o zakresie wyniku wyjściowego 0-65535, mniejsza wartość oznacza mniejszą wilgotność. Odczyt na poziomie 11000 oznacza wilgotność szczątkową niemożliwą do pomiaru za pomocą zastosowanego czujnika.

Nr.	Rodzaj badania	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
0	Powietrze atmosferyczne	38400	
1	Powietrze z butli	12450	
2	Bez tłumienia	38400	26650
3	Tłumienie próbki na wyjściu	38600	22000
4	Tłumienie powietrza technicznego na wyjściu	38400	27100
5	Tłumienie obu medium na wyjściu	38350	24150
6	Podciśnienie powietrza technicznego	38600	23400
7	Podciśnienie próbki	38450	27500
8	Podciśnienie obu medium	38500	26400
9	Podciśnienie próbki, tłumienie powietrza technicznego	38200	28600
10	Tłumienie próbki, podciśnienie powietrza technicznego	38200	20700

Tabela 2 Badania filtra nafionowego przy różnych układach połączeń pneumatycznych po wymianie czujnika wilgotności na wyjściu.

Poza wymianą czujnika na wyjściu filtra nafionowego pomiary zostały dokonane w takich samych warunkach jak pomiary wcześniejsze. Przede wszystkim zauważyć można wyraźny spadek odczytu z czujnika wilgotności na wyjściu filtra nafionowego, co oznacza poprawne działanie czujników i filtra. Najlepszy wynik, czyli najniższy odczyt wilgotności uzyskano dla pomiaru 10 przy podwyższonym ciśnieniu próbki i obniżonym ciśnieniu powietrza suszącego. Wszystkie kolejne pomiary dokonane zostały dla takiej konfiguracji układu pneumatycznego współpracującego z filtrem nafionowym.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	33854	26420
1	33700	17400
0,75	33940	16920
0,5	33824	16600
0,25	33600	16328

Tabela 3 Pomiary referencyjne bez użycia grzania i chłodzenia.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	32464	30000
1	32000	15600
0,75	32000	15100
0,5	32000	14900
0,25	31800	14800

Tabela 4 Pomiary z grzaniem próbki.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	33870	28700
1	33883	17500
0,75	33600	17000
0,5	33800	16800
0,25	33200	16700

Tabela 5 Pomiary z grzaniem powietrza suszącego.

Analizując wyniki zebrane w Tabelach 3-5 zauważyć można, że podwyższenie temperatury próbki poprawiło wyraźnie skuteczność suszenia przez filtr nafionowy, natomiast podwyższenie temperatury powietrza suszącego nieznacznie pogorszyło skuteczność osuszania. Jednocześnie zmniejszenie przepływu próbki poprawia stopień osuszenia próbki.

Ponieważ powietrze suszące ma ograniczoną zdolność absorpcji wilgoci kolejne pomiary dokonano po zwiększeniu przepływu powietrza suszącego. Wyniki zebrano w Tabeli 6.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	30200	26000
1	29700	15000
0,75	29500	14650
0,5	29200	14350
0,25	29200	14150

Tabela 6 Pomiarzy z grzaniem próbki i zwiększonym przepływem powietrza suszącego.

Zwiększenie przepływu powietrza suszącego znacząco poprawiło jakość osuszania próbki, co świadczy o tym, że faktycznie podczas poprzednich pomiarów pewnym ograniczeniem była zdolność powietrza suszącego do absorpcji wilgoci.

Kolejny etap badań polegał na jednoczesnym zastosowaniu grzania i chłodzenia. Przy uwzględnieniu wykrytej zależności, że wzrost temperatury próbki poprawia skuteczność osuszania, a wzrost temperatury powietrza suszącego pogarsza skuteczność osuszania postanowiono podgrzewać próbkę i chłodzić powietrze suszące.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	30950	26355
1	30200	14650
0,75	30000	14300
0,5	30000	14000
0,25	29640	13800

Tabela 7 Pomiarzy z grzaniem próbki, oraz zwiększonym przepływem i jednoczesnym chłodzeniem powietrza suszącego.

Przyjęty sposób zastosowania jednoczesnego grzania i chłodzenia okazał się być prawidłowy, gdyż uzyskano obniżenie wilgotności próbki na wyjściu filtra nafionowego w stosunku do wszystkich poprzednich badań.

Na tym etapie badań uznano, że znalezione zostały optymalne warunki pracy filtra nafionowego możliwe do uzyskania w układzie badawczym. Kolejne badanie zostało dokonane zatem z użyciem docelowego filtra nafionowego typu MD-110-144. Aby badanie było bardziej zbliżone do możliwe najtrudniejszych warunków możliwych do wystąpienia w zastosowaniu docelowym na wiertni próbka przed podaniem na wejście filtra nafionowego została mocno zawilgocona w podgrzonym szczelnym reaktorze skonstruowanym na bazie szybkiwaru ciśnieniowego.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
< 0,1	58400	13700
1	58400	13300
1,5	58400	13200
2	58400	13300
2,5	58400	13200

Tabela 8 Pomiarzy z grzaniem i dodatkowym zawilgoceniem próbki, zwiększonym przepływem i jednoczesnym chłodzeniem powietrza suszącego, oraz przy zastosowaniu docelowego filtra nafionowego typu MD-110-144.

Pomimo znaczącego utrudnienia warunków pracy w postaci dodatkowego zawilgocenia próbki otrzymano kolejną poprawę skuteczności osuszania. Świadczy to o lepszym dopasowaniu wybranego filtra docelowego typu MD-110-144 do wymaganych warunków pracy. Jednocześnie

zauważyć można, że wydajność tańszego filtra typu MD-110-24 była niewystarczająca, gdyż podczas badań testowych obserwowano wyraźny spadek wilgotności wraz ze spadkiem przepływu próbki. Świadczyło to o tym, że filtr po prostu nie był w stanie zdążyć skutecznie osuszyć próbki. Dla porównania dla filtra docelowego typu MD-110-144 skuteczność osuszania praktycznie nie zależy od przepływu próbki, niewielkie pogorszenie dla minimalnego przepływu związane jest ze zbyt małym przepływem próbki, co powoduje, że pomiar dokonywany jest na mieszaninie osuszonej próbki i niewielkiej ilości wilgotniejszego powietrza otaczającego stanowisko testowe.

Wcześniejsze badania pozwoliły na zweryfikowanie wszystkich założeń, jakie powinien spełniać osuszacz za wyjątkiem opóźnienia wprowadzanego przez osuszacz.

Opóźnienie to zależy od następujących czynników:

- szybkości przepływu próbki przez osuszacz
- objętości wewnętrznej toru przepływu próbki przez osuszacz
- ciśnienia panującego wewnątrz toru przepływu próbki osuszacza

Można wyrazić je następującym wzorem:

$$T[s] = \frac{V[l] * P[bar] * 60s}{Q[\frac{l}{min}]}$$

gdzie:

- V [l] – objętość toru próbki,
- P [bar] – ciśnienie absolutne toru próbki,
- Q [l/min] – przepływ objętościowy próbki.

Ciśnienie i przepływ są wielkościami mierzonymi i wynoszą odpowiednio 1,5[bar] i od 1 do 2 [l/min] dla układu badawczego. Natomiast objętość toru próbki należy oszacować przez posumowanie objętości filtra nafionowego, grzałki i przyłączy pneumatycznych. Ponieważ zarówno przyłącza pneumatyczne, jak i grzałkę można modyfikować w dość szerokim zakresie, niezmienna jest natomiast objętość filtra nafionowego. Obliczyć tę objętość można opierając się na danych producenta, czyli średnicy wewnętrznej filtra 0,086" i długości 144". Po obliczeniu otrzymujemy objętość toru próbki filtra nafionowego wynoszącą 0,014 [l].

Oznacza to, że opóźnienie wprowadzane przez sam filtr nafionowy dla układu badawczego wynosi 0,63-1,26 [s]. Jeśli założymy, że objętość pozostałych elementów toru przepływu próbki osuszacza wynosi około 10 [cm³], czyli 0,01 [l] otrzymamy całkowite opóźnienie wprowadzane przez osuszacz na poziomie 1 [s] lub 2 [s] dla przepływu próbki odpowiednio 2 [l/min] i 1 [l/min].

3. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można zauważyć, że najlepsze wyniki osuszania za pomocą filtra nafionowego można uzyskać stosując następujące warunki pracy:

- temperatura próbki powinna zostać podniesiona,
- temperatura powietrza suszącego powinna zostać obniżona,
- ciśnienie próbki w filtrze nafionowym powinno zostać podniesione,
- ciśnienie powietrza suszącego powinno zostać obniżone.

Połączenie układu badawczego w taki sposób, aby spełnić powyższe wymagania i zastosowaniu temperatury grzałki 80°C, temperatury chłodnicy 0°C, ciśnienia próbki +0,5bar, ciśnienia powietrza -0,3bar pozwoliło na uzyskanie wilgotności względnej na poziomie mniejszym niż 3% dla temperatury 20°C, czyli na temperaturę punktu rosy poniżej -25°C, czyli wilgotność bezwzględną na poziomie 600ppm. Oznacza to, że osuszacz z pewnością spełni swoje zadanie przy założeniu, że do badania składu próbki gazowej zastosowany zostanie chromatograf mający sensor nieczuły na parę wodną (np. FID), zastosowanie chromatografu z detektorem TCD wymagać będzie znaczącego obniżenia temperatury powietrza chłodzącego (np. do poziomu od -20 do -30°C), obniżenia ciśnienia powietrza suszącego do poziomu -0,5 bar, lub niższego, oraz podniesienia ciśnienia próbki. Należy zaznaczyć, że wartości takie nie mogły zostać osiągnięte w układzie badawczym, jednocześnie detekcja śladowej wilgoci byłaby mocno utrudniona przy użyciu zastosowanych czujników wilgotności. Jednakże powinno to pozwolić na osiągnięcie temperatury punktu rosy poniżej -60°C, czyli wilgotności bezwzględnej na poziomie 10ppm. Należy zaznaczyć, że wilgotność ta powinna być stała przy utrzymaniu stabilnych warunków pracy. Jest to wartość na tyle niska, że w przypadku zastosowania chromatografu TCD pomimo utożsamienia propanu i pary wodnej można zastosować obróbkę cyfrową wyniku w celu uzyskania właściwego stężenia metanu dzięki wyeliminowaniu stałego przesunięcia wyniku wprowadzanego przez parę wodną.

Wybór do zastosowania docelowego filtra nafionowego typu MD-110-144 okazał się być prawidłowym. Filtr działał zgodnie z oczekiwaniami i wykazywał wystarczającą wydajność do planowanego zastosowania. Oszacowane opóźnienie wprowadzane przez osuszacz na poziomie 1-2 [s] jest w pełni akceptowalne. Należy jedynie zadbać o właściwy przepływ próbki przez osuszacz na poziomie około 1-2 [NI/min], co jest wielkością wystarczającą do prawidłowego działania urządzeń analitycznych, a jednocześnie mieści się w zakresie przepływów wymaganych dla zapewnienia odpowiedniego czasu trwania i szybkości pomiaru.

II. Model sterowania nafionowego osuszacza próbki gazowej, konstrukcja i badania stabilności pracy.

1. Model sterowania i konstrukcja osuszacza nafionowego

Przeprowadzone wcześniej badania filtra nafionowego wykazały, że w stosunkowo łatwy sposób uzyskano punkt rosy na poziomie -25°C. Oznacza to, że w większości zastosowań parametry pracy, czyli temperatura i nadciśnienie próbki, oraz temperatura i podciśnienie powietrza suszącego nie są krytyczne, gdyż uzyskano stopień osuszenia znacząco lepszy niż wymagany. Wyjątkiem jest zastosowanie osuszacza do przygotowania próbki dla chromatografu TCD, który utożsamia parę wodną i propan. W tym przypadku wymagane jest spełnienie szeregu wymagań, aby osuszacz w pełni spełniał swoje zadanie:

- Obniżenie temperatury powietrza suszącego do temperatury -25°C, lub niższej, granicą są możliwości techniczne systemu chłodzenia.
- Podwyższenie temperatury próbki do temperatury 80°C, lub wyższej. Maksymalną temperaturę ograniczają kilka czynników, które zostaną przeanalizowane.
- Podciśnienie powietrza suszącego, granicą są możliwości zastosowanej pompki ssąco-tłoczącej. Aby uniknąć nadmiernego rozbudowywania konstrukcji osuszacza należy przyjąć zastosowanie kompaktowej pompki umożliwiającej utrzymanie podciśnienia -0,5bar dla przepływu 1[l/min].

- Nadciśnienie próbki , granicą są możliwości zastosowanej pompki ssąco-tłoczącej. Aby uniknąć nadmiernego rozbudowywania konstrukcji osuszacza należy przyjąć zastosowanie kompaktowej pompki umożliwiającej utrzymanie nadciśnienia +1bar dla przepływu 1[l/min].
- Zakładamy dolną granicę czułości chromatografu TCD na poziomie 5ppm. Wówczas w przypadku, gdyby możliwa do uzyskania wilgotność absolutna próbki zawierała się w zakresie 5-100ppm istotne będzie zapewnienie stabilności wszystkich wymienionych wyżej czynników, aby uzyskać stałą poziom wilgoci próbki na wyjściu osuszacza. Dla mniejszej zawartości pary wodnej nie zakłóci ona pomiaru chromatografu, dla większej zawartości pary wodnej niezbędne będzie dodatkowe chemiczne osuszanie próbki.

W poniższych tabelach przedstawiono wyniki przeprowadzonych wcześniej badań, które posłużą do szczegółowej analizy przedstawionych zagadnień. Pomiaru wykonano zostały przy temperaturze grzałki 80°C i temperaturze chłodnicy 0°C, zastosowane pompki pozwoliły na uzyskanie nadciśnienia +0,5bar i podciśnienia -0,3bar.

Nr.	Rodzaj badania	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
0	Powietrze atmosferyczne	38400	
1	Powietrze z butli	12450	
2	Bez tłumienia	38400	26650
3	Tłumienie próbki na wyjściu	38600	22000
4	Tłumienie powietrza technicznego na wyjściu	38400	27100
5	Tłumienie obu medium na wyjściu	38350	24150
6	Podciśnienie powietrza technicznego	38600	23400
7	Podciśnienie próbki	38450	27500
8	Podciśnienie obu medium	38500	26400
9	Podciśnienie próbki, tłumienie powietrza technicznego	38200	28600
10	Tłumienie próbki, podciśnienie powietrza technicznego	38200	20700

Tabela 1 Badania filtra nafionowego przy różnych układach połączeń pneumatycznych po wymianie czujnika wilgotności na wyjściu.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	33854	26420
1	33700	17400
0,75	33940	16920
0,5	33824	16600
0,25	33600	16328

Tabela 2 Pomiaru referencyjne bez użycia grzania i chłodzenia.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	32464	30000
1	32000	15600
0,75	32000	15100
0,5	32000	14900
0,25	31800	14800

Tabela 3 Pomiary z grzaniem próbki.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	33870	28700
1	33883	17500
0,75	33600	17000
0,5	33800	16800
0,25	33200	16700

Tabela 4 Pomiary z grzaniem powietrza suszącego.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	30200	26000
1	29700	15000
0,75	29500	14650
0,5	29200	14350
0,25	29200	14150

Tabela 5 Pomiary z grzaniem próbki i zwiększonym przepływem powietrza suszącego.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
Full	30950	26355
1	30200	14650
0,75	30000	14300
0,5	30000	14000
0,25	29640	13800

Tabela 6 Pomiary z grzaniem próbki, oraz zwiększonym przepływem i jednoczesnym chłodzeniem powietrza suszącego.

Przepływ próbki [l/min]	Wilgotność na wejściu	Wilgotność na wyjściu
< 0,1	58400	13700
1	58400	13300
1,5	58400	13200
2	58400	13300
2,5	58400	13200

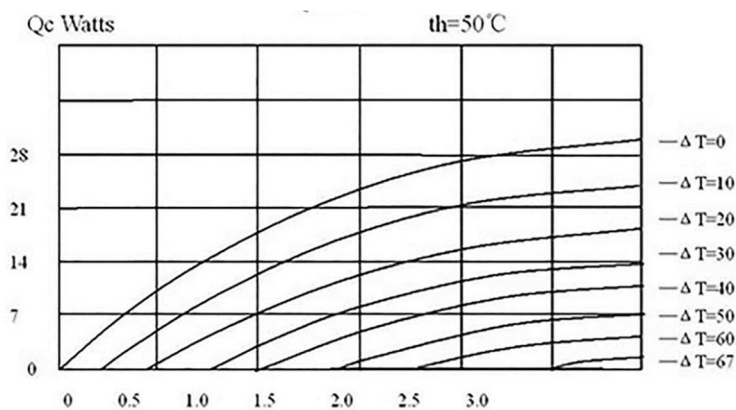
Tabela 7 Pomiary z grzaniem i dodatkowym zawilgoceniem próbki, zwiększonym przepływem i jednoczesnym chłodzeniem powietrza suszącego, oraz przy zastosowaniu docelowego filtra nafionowego typu MD-110-144.

b. Minimalna temperatura powietrza suszącego

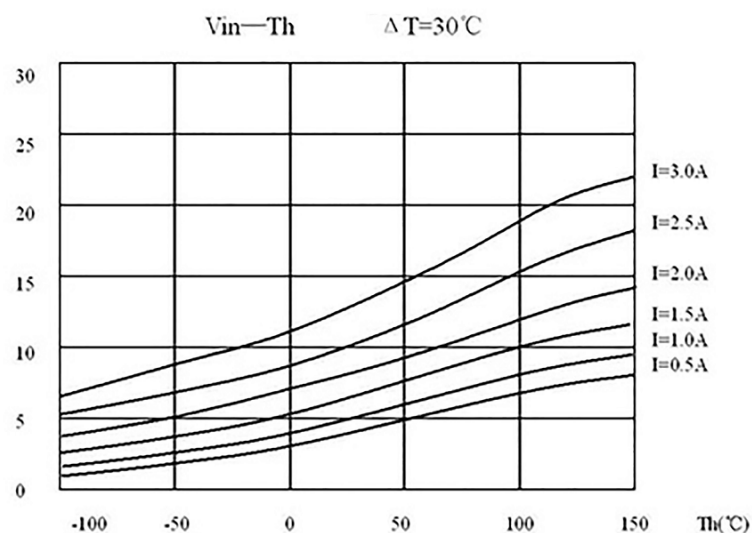
Do chłodzenia powietrza suszącego w układzie badawczym zastosowano chłodnicę opartą o moduł Peltiera. Na Rysunku 1 przedstawiono listę parametrów przykładowego modułu Peltiera, natomiast na Rysunku 2 i 3 wykresy obrazujące zakres pracy modułu.

No.	Items	Symbol	Parameter	Condition
1	Max. Operating Tem.	T	200°C	
2	Max. Cooling Power	Q _{max}	33	Vacuum testing Tem Th=30°C
3	Tem. Difference Max	ΔT _{max}	68	Vacuum testing Tem Th=30°C
4	Input Voltage Max.	V _{max}	15.4	Vacuum testing Tem Th=30°C
5	Max. Current	I _{max}	3.0	Vacuum testing Tem Th=30°C
6	Resistance	R	3.2-3.5	Ambient Tem Th=25°C
7	Parallel		≤0.05 mm	

Rysunek 2 Lista parametrów modułu Peltiera PM-40x40-38.



Rysunek 3 Rodzina charakterystyk mocy odprowadzanej przez moduł Peltiera PM-40x40-38 dla określonych różnic temperatur w zależności od prądu zasilającego dla temperatury strony gorącej 50°C.



Rysunek 4 Rodzina charakterystyk napięcia zasilającego moduł Peltiera PM-40x40-38 dla określonych prądów zasilających w zależności od temperatury strony gorącej modułu dla różnicy temperatur 30°C.

Niestety sposób przedstawienia parametrów modułu Peltiera nie daje jednoznacznej odpowiedzi, jaka jest możliwa do uzyskania minimalna temperatura powietrza suszącego. Jednakże wstępnie przyjmijmy, że temperatura otoczenia w pomieszczeniu nie przekracza 25°C, oraz założmy zastosowanie wydajnego systemu chłodzenia gorącej strony modułu Peltiera o rezystancji termicznej na poziomie 0,15 K/W. Oszacowana maksymalna moc dostarczana do modułu Peltiera na podstawie Rysunku 1 wynosi 3[A]*15,4[V]=46,2[W]. Pozwala to na oszacowanie możliwej do uzyskania temperatury gorącej strony modułu na poziomie $T_h=25^\circ\text{C} + 0,15^\circ\text{K/W} * 46,2[\text{W}]=32^\circ\text{C}$.

Kolejnym etapem jest określenie mocy, która musi zostać pochłonięta przez zimną stronę modułu Peltiera w celu ochłodzenia powietrza suszącego. Jeśli założymy temperaturę końcową powietrza na poziomie -25°C, to w stosunku do przyjętej temperatury pomieszczenia otrzymujemy różnicę temperatur $\Delta T = 50[\text{K}]$. Przy przepływie 1[Nl/min] i gęstości powietrza 1,3[g/l] otrzymujemy strumień masy na poziomie:

$$Q = 1[\text{l}/\text{min}] * 1,3[\text{g}/\text{l}] = 1,3[\text{g}/\text{min}] = 0,0217[\text{g}/\text{s}].$$

Jeśli dodatkowo uwzględnimy ciepło właściwe suchego powietrza przy stałym ciśnieniu równe $c_p=1[\text{J}/(\text{g} * \text{K})]$, to otrzymamy moc równą:

$$P[\text{W}] = Q[\text{g}/\text{s}] * \Delta T[\text{K}] * c_p[\text{J}/(\text{g} * \text{K})] = 1,08[\text{J}/\text{s}] = 1,08[\text{W}]$$

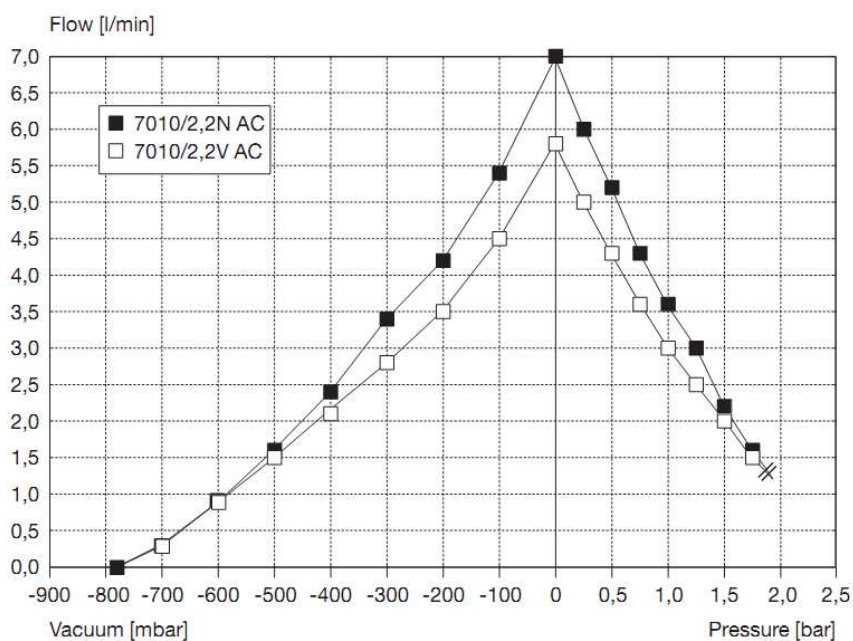
Ponieważ moc ta jest wielokrotnie mniejsza od mocy elektrycznej dostarczanej do modułu Peltiera możemy przyjąć, że Moduł Peltiera będzie w stanie wytworzyć maksymalną możliwą różnicę temperatur. Dla temperatury strony gorącej równej 30°C analizowany moduł pozwala na wytworzenie różnicy temperatur $\Delta T=68[\text{K}]$, co oznacza iż możliwa do uzyskania minimalna temperatura powietrza suszącego to $T_{\text{min}}=T_h - \Delta T=32^\circ\text{C} - 68[\text{K}]=-36^\circ\text{C}$. Uwzględniając straty, oraz konieczny do regulacji margines błędu można przyjąć, że zastosowany system chłodzenia będzie w stanie utrzymać temperaturę powietrza suszącego na poziomie -25°C, co zostało przyjęte na początku.

c. Maksymalna temperatura próbki

Dopuszczalna temperatura pracy filtru nafionowego to 150°C. Maksymalna temperatura grzałki wynosi w zależności od konstrukcji grzałki nawet ponad 500°C. Temperatura samozapłonu badanych i możliwych do wystąpienia gazów palnych: metan 595°C, etan 510°C, propan 470°C, butan 365°C, pentan 260°C, wodór 530°C, tlenek węgla 605°C. Oznacza to, że maksymalną temperaturę próbki ograniczają możliwości filtru nafionowego. Ponieważ z reguły elementy i urządzenia pracujące w warunkach zbliżonych do maksymalnych, lub minimalnych charakteryzują się skróconym czasem pracy, a osuszacz ma być urządzeniem przeznaczonym do pracy ciągłej należy jako bezpieczną przyjmując maksymalną temperaturę próbki na poziomie 120-130°C.

d. Podciśnienie powietrza suszącego

Do utrzymywania podciśnienia powietrza suszącego wytypowana została pompka-ssąco tłocząca typu 7010AC. Na Rysunku 4 przedstawiono charakterystykę wybranej pompki. Z wykresu można odczytać, że dla pompki wytwarza podciśnienie -0,5[bar] dla przepływu 1,5 [l/min]. Oznacza to, że uwzględniając zużycie pompki powinna ona spełnić określone wcześniej warunki pracy przy wymaganiu pracy ciągłej.



Rysunek 5 Charakterystyka ciśnieniowo-przepływowa pompki 7010AC.

e. Nadciśnienie próbki

Do utrzymywania nadciśnienia próbki wytypowana została pompka ssąco-tłocząca typu 7010AC. Na Rysunku 4 przedstawiono charakterystykę wybranej pompki. Z wykresu można odczytać, że dla pompki wytwarza nadciśnienie +1,5[bar] dla przepływu 2 [l/min]. Oznacza to, że uwzględniając zużycie pompki powinna ona spełnić określone wcześniej warunki pracy przy wymaganiu pracy ciągłej.

f. Stabilność regulowanych i ustawianych parametrów

Do określenia wymaganej do współpracy z chromatografem TCD stabilności temperatur i ciśnień kluczowe jest oszacowanie jaką wilgotność próbki można osiągnąć przy pomocy osuszacza zbudowanego na bazie filtru nafionowego. Ponadto niezbędne będzie określenie wrażliwości wilgotności wyjściowej próbki na zmiany tych parametrów.

Zastosowane do badań czujniki wilgotności dla zmiany wilgotności 0-100% dawały odczyt z przetwornika analogowo-cyfrowego od 12500 do 58400. Oznacza to 459 jednostek na każdy 1% wilgotności względnej, przy czym pomiary były dokonywane w temperaturze otoczenia 20 [°C].

Określenie wpływu nadciśnienia próbki na wilgotność wyjściową. Z Tabeli 1 można odczytać, że wprowadzenie tłumienia próbki na wyjściu filtru, co spowodowało podniesienie ciśnienia próbki wewnątrz filtru o 0,5[bar] spowodowało spadek odczytu wilgotności wyjściowej z 26650 na 22000. Ponieważ jednocześnie odczyt wilgotności wejściowej wyniósł około 38400, a zerowej wilgotności odpowiada odczyt 12500, to podniesienie ciśnienia o +0,5[bar] spowodowało zwiększenie skuteczności osuszania z $(38400-26650)/(38400-12500)=45\%$ na $(38400-22000)/(38400-12500)=63\%$. Jeśli przyjmujemy, że skuteczność osuszania będzie dążyć do 100% dla bardzo dużych ciśnień, to musimy założyć jakiś model matematyczny tych zmian. Najprościej będzie założyć, że dla wzrostu ciśnienia niedokładność osuszania, czyli różnica między skutecznością osuszania a skutecznością 100% również maleje proporcjonalnie. Dla przykładu, przy takim modelu dla nadciśnienia +0,5[bar]

skuteczność osuszania wzrosła z 45% do 63%, czyli niedokładność osuszania spadła z 55% do 37%, przyjęty model oznacza, że dla nadciśnienia +1[bar] otrzymamy niedokładność osuszania na poziomie $37\%/2=19\%$, a dla nadciśnienia +1,5[bar] około 13%.

Podobny model zostanie przyjęty dla podciśnienia powietrza suszącego, przy czym dodatkowo wystąpi tu ograniczenie fizyczne podciśnienia do wartości nie większej niż -1[bar]. Analogicznie przeprowadzone obliczenia dla podciśnienia -0,3[bar] dają wzrost skuteczności osuszania z 45% na 58%, oraz spadek niedokładności osuszania z 55% na 42%. Oszacowana wg modelu niedokładność osuszania dla podciśnienia -0,5[bar] wyniesie około 25%.

Do oszacowania wpływu temperatury próbki na skuteczność i niedokładność osuszania przyjęto wartości z Tabeli 3 dla przepływu próbki 0,25[l/min]. Przy czym przyjęto jako skuteczność i niedokładność bazową wartości obliczone na podstawie Tabeli 1 w pozycji 10. Wyniki wyniosły odpowiednio 68% i 32%. Analogicznie jak dla ciśnień przeprowadzone obliczenia dały skuteczność osuszania 88% i niedokładność osuszania 12%. Ponieważ temperatura próbki podczas pomiarów wynosiła 80[°C] przy temperaturze otoczenia 20[°C], to przyjęcie podobnego modelu zmian jak dla ciśnień dają oszacowanie przy temperaturze próbki 120[°C] skuteczności osuszania na poziomie 92,8%, oraz niedokładności osuszania 7,2%.

Oszacowanie wpływu temperatury chłodzenia powietrza suszącego na działania filtru nafionowego może zostać dokonane przez porównanie danych z Tabel 5 i 6. Schłodzenie powietrza suszącego do 0[°C] powoduje wzrost skuteczności osuszania z 93,8% na 95% i spadek niedokładności osuszania z 6,2% na 5%. Dla temperatury powietrza suszącego -25[°C] można oszacować skuteczność osuszania na poziomie 97,2% i niedokładność osuszania 2,8%

Ponieważ dla docelowego modelu filtru nafionowego odczyty wilgotności praktycznie nie zależały od szybkości przepływu próbki, zakładamy, że parametr ten nie ma wpływu na skuteczność i niedokładność osuszania w interesującym nas zakresie.

Kolejny etap, to oszacowanie możliwej do uzyskania skuteczności i niedokładności osuszania. Jako wartości bazowe użyte zostaną wartości z Tabeli 7. Obliczona na tej podstawie skuteczność osuszania wynosi 98,5%, a co za tym idzie niedokładność osuszania wyniesie 1,5%. Wartości te zostały uzyskane dla temperatury próbki 80[°C], temperatury powietrza suszącego 0[°C], nadciśnienia próbki +0,5[bar], oraz podciśnienia powietrza suszącego -0,3[bar]. Zastosowanie wyżej przedstawionych procedur dla warunków pracy: temperatura próbki 120[°C], temperatura powietrza suszącego -25[°C], nadciśnienie próbki +1,5[bar], podciśnienie powietrza suszącego -0,5[bar] daje w rezultacie oszacowanie skuteczności osuszania na poziomie 99,9% i niedokładność osuszania 0,1%.

Ponieważ niedokładność osuszania obliczona została w oparciu o pomiary wilgotności względnej można przyjąć, że odpowiada ona wilgotności względnej z dużą dokładnością. Jednocześnie pomiary wilgotności dokonywane były w oddaleniu od filtru nafionowego w temperaturze otoczenia wynoszącej 20[°C]. Obliczenie wilgotności bezwzględnej daje rezultat 23ppm pary wodnej.

Jeśli założymy dopuszczalny błąd pomiaru chromatografem TCD na poziomie 5ppm, to dopuszczalne zmiany wilgotności próbki zawierać się mogą w zakresie 21,5-25,5 ppm. Oznacza to, że dopuszczalne wahania wilgotności wyniosą $\pm 10\%$. Ponieważ są to stosunkowo niewielkie zmiany można z dobrym przybliżeniem założyć liniową zależność wilgotności wyjściowej osuszacza od wszystkich wpływających na nią parametrów. W związku z czym sumaryczna zmiana wszystkich parametrów nie może być większa od $\pm 10\%$.

g. Model sterowania

Temperatura grzałki ustalana będzie w cyklu automatycznym za pomocą regulatora PWM, który pozwoli na niemalże liniową regulację mocy grzałki. Zastosowany zostanie nieliniowy model sterowania. Dla dużych różnic temperatury ustawionej i rzeczywistej grzałka będzie włączona na 100% mocy (lub całkowicie wyłączona). Dla małej różnicy ww. temperatur do ustawienia stopnia wypełnienia regulatora PWM uwzględniana będzie aktualna różnica ww. temperatur i szybkość zmian temperatury rzeczywistej. Współczynniki sterujące zostaną dobrane doświadczalnie. Oczekiwana stabilność to około $0,5^{\circ}\text{C}$, czyli około 0,5%.

Identyczny będzie model sterowania chłodnicy opartej na module Peltiera. Jedynie oczekiwany będzie odwrotny kierunek zmian temperatury, oraz zastosowana zostanie dodatkowa obserwacja temperatury gorącej strony moduły w celu zabezpieczenia modułu przed uszkodzeniem. Oczekiwana stabilność to około $0,5^{\circ}\text{C}$, czyli około 1,1%.

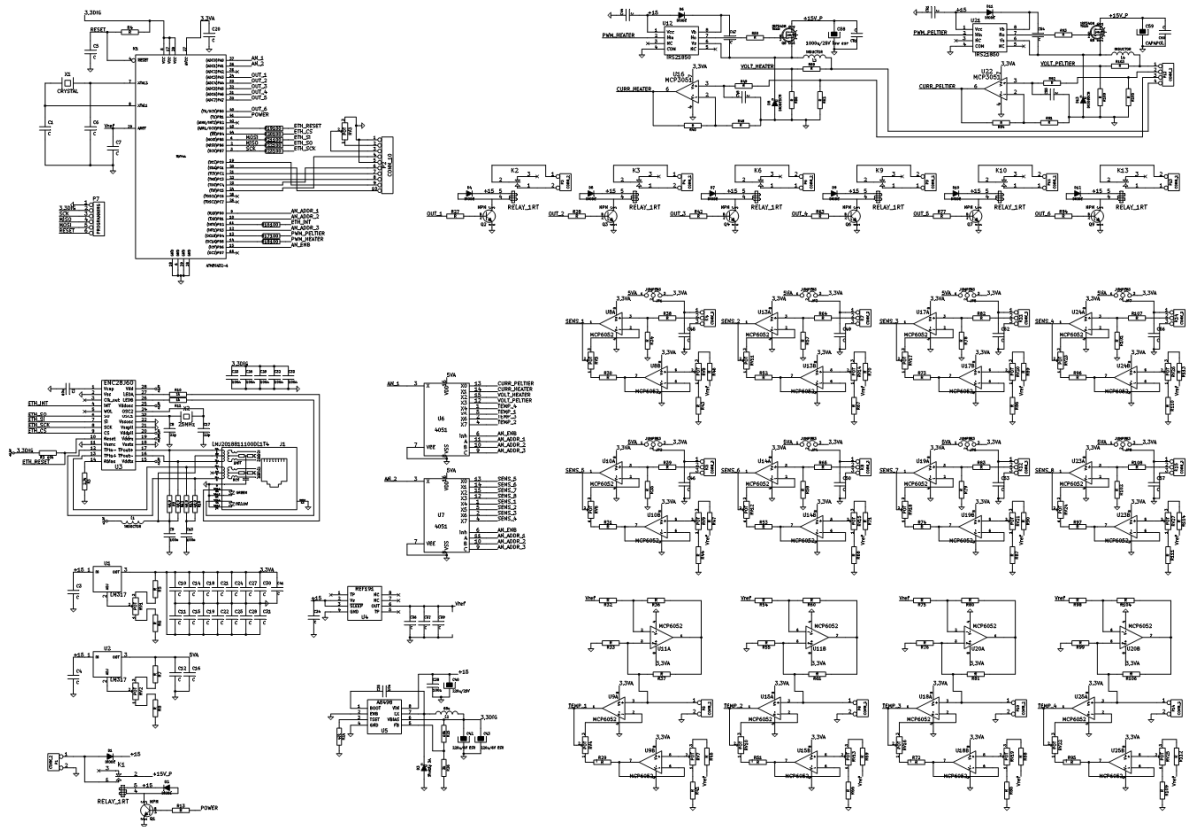
Ponieważ zarówno pompka utrzymująca nadciśnienie próbki, jak i pompka utrzymująca podciśnienie powietrza suszącego zasilane są napięciem przemiennym 230[V], 50[Hz] i nie są skonstruowane z myślą o regulacji model sterowania nie zakłada regulacji wydajności pompek. Przepływy i ciśnienia będą utrzymywane na stałym poziomie za pomocą regulatorów, które zostaną ręcznie wyregulowane w procesie uruchamiania osuszacza.

h. Konstrukcja

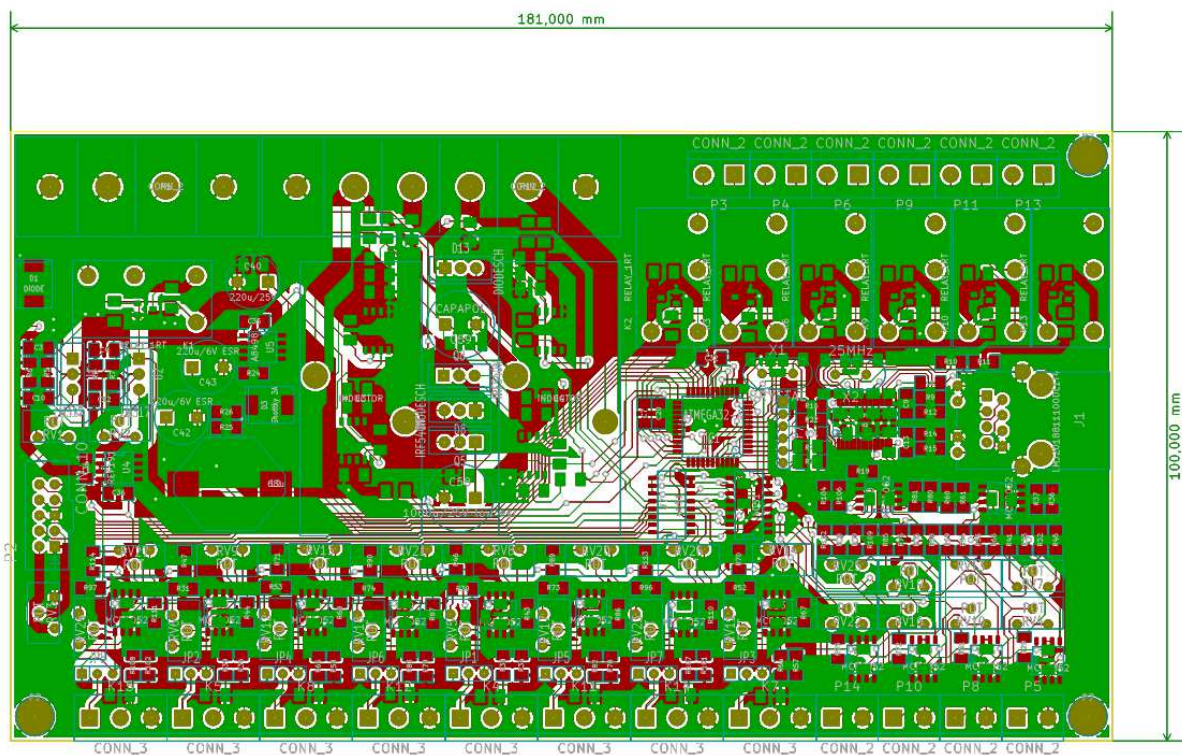
Konstrukcja układu sterowania osuszacza opartego o filtr nafionowy została zbudowana na bazie układu uniwersalnego sterownika wyposażonego w interfejs komunikacyjny ETHERNET, dwa kanały PWM średniej mocy, osiem uniwersalnych wejść analogowych, cztery wejścia pomiaru temperatury przeznaczona do czujników RTD, sześć wyjść przekaźnikowych. Po zmontowaniu sterownika i odpowiednim oprogramowaniu powstała konstrukcja umożliwiająca przebadanie działanie układu osuszacza. Układ sterownika realizował będzie następujące funkcje:

- Pomiar i sterowanie temperatury grzałki
- Pomiar i sterowanie temperatury chłodnicy
- Pomiar wilgotności na wejściu filtra nafionowego
- Pomiar wilgotności na wyjściu filtra nafionowego
- Pomiar nadciśnienia próbki
- Pomiar podciśnienia powietrza suszącego

Na Rysunku 5 przedstawiono schemat układu sterownika, na Rysunku 6 przedstawiono projekt płytki PCB sterownika, na Rysunku 7 przedstawiano wygląd zmontowanej płytki sterownika.



Rysunek 6 Schemat układu sterownika uniwersalnego.



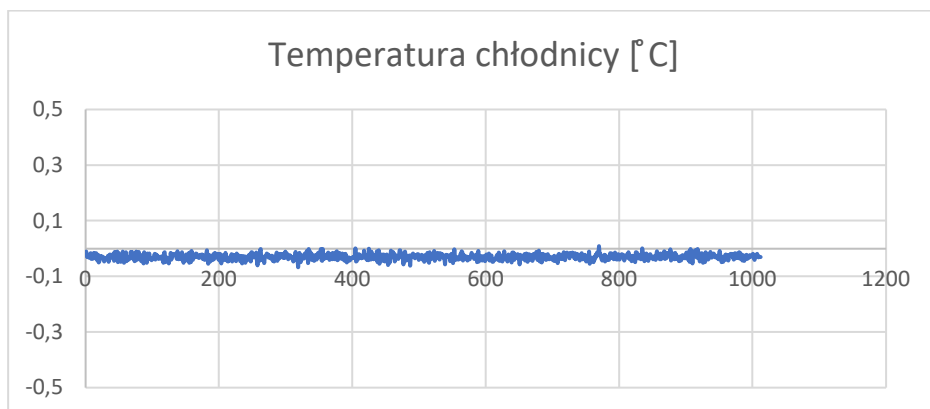
Rysunek 7 Projekt płytki PCB układu sterownika uniwersalnego.

4. Badania stabilności pracy układu sterowania osuszacza nafionowego

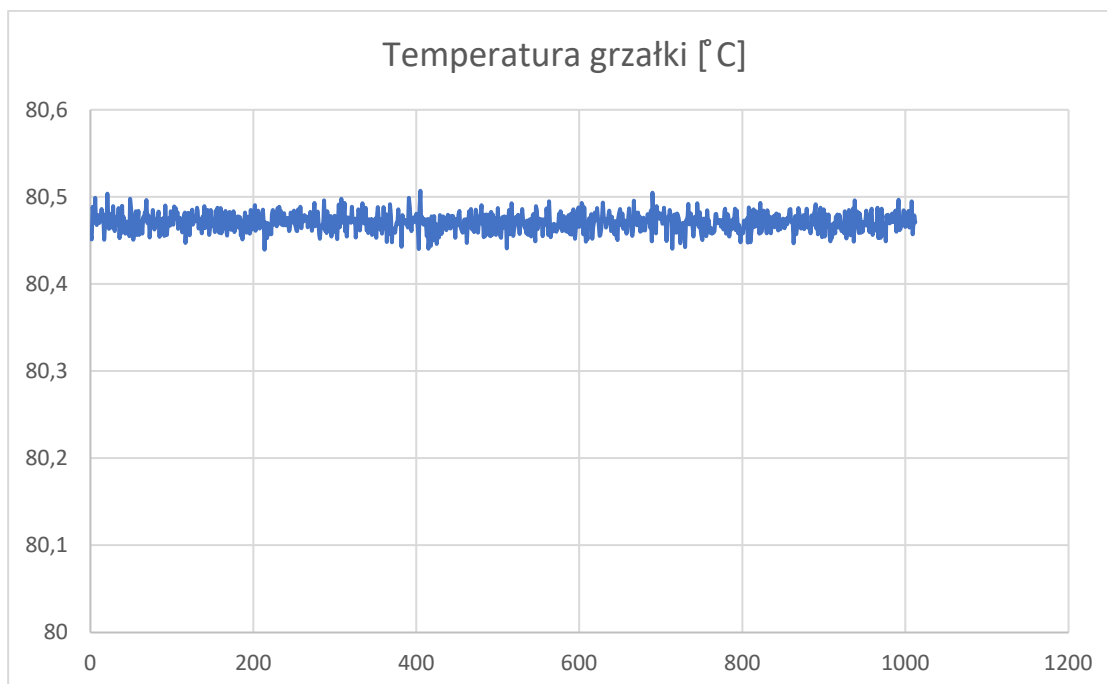
Ze względu na ograniczenia sprzętowe zdecydowano się pozostawić parametry sterowane na takim samym poziomie, jak podczas badań testowych, czyli:

- temperatura chłodnicy 0[°C]
- temperatura grzałki 80[°C]
- podciśnienie powietrza suszącego -0,3[bar]
- nadciśnienie próbki +0,5[bar]

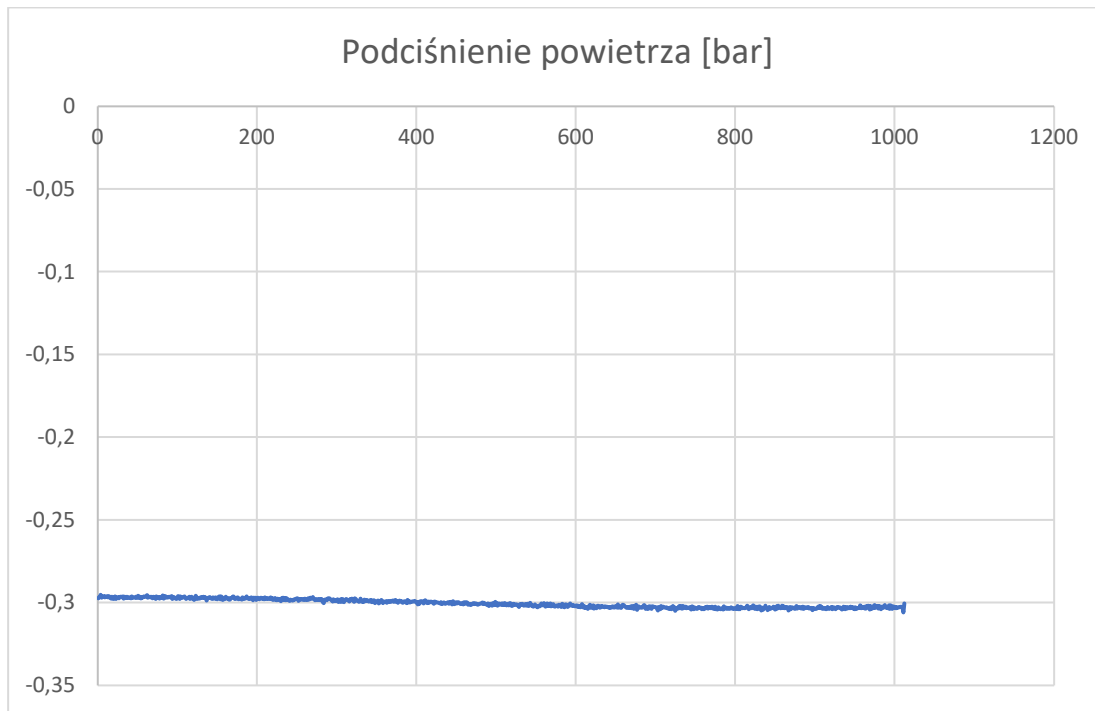
Badania polegały na zarejestrowaniu w okresie tygodnia czasu wymienionych parametrów co 1 sekundę. Następnie na tej podstawie obliczone zostały: wartość średnia, odchylenie maksymalne, odchylenie standardowe. Poniżej przedstawiono wykresy zarejestrowanych wartości, uśrednione co 10 minut w celu ograniczenia rozmiaru wykresu i poprawy czytelności. W Tabeli 8 przedstawiono obliczone wielkości statystyczne dla każdej z mierzonych wielkości.



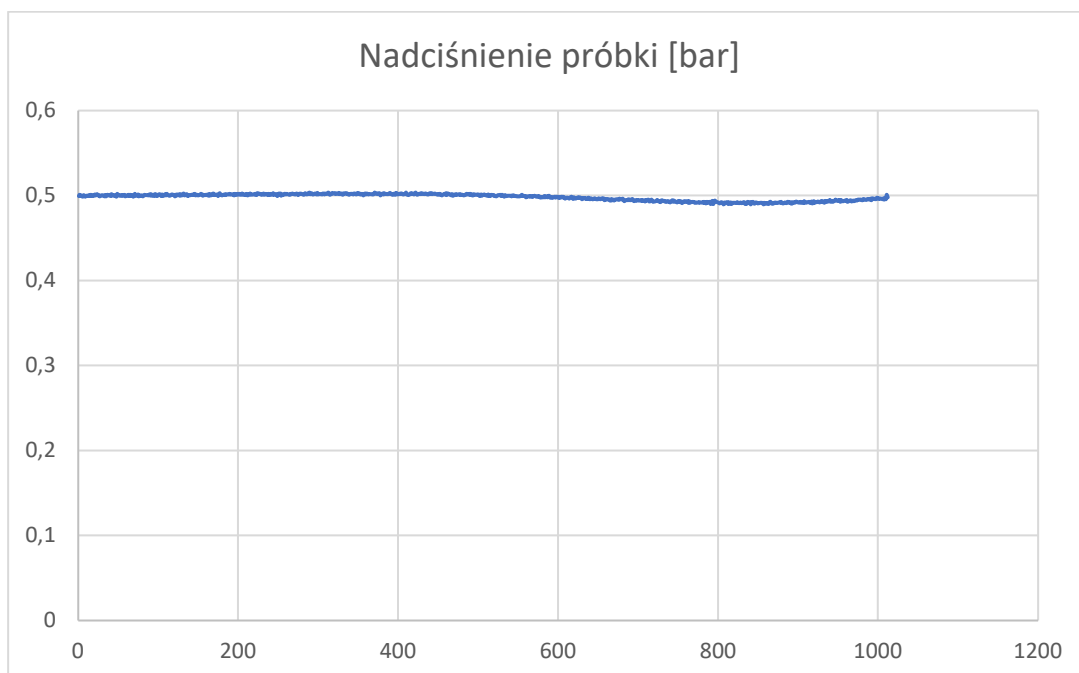
Rysunek 8 Wykres uśrednionych pomiarów temperatury chłodnicy.



Rysunek 9 Wykres uśrednionych pomiarów temperatury grzałki.



Rysunek 10 Wykres uśrednionych pomiarów podciśnienie powietrza suszącego.



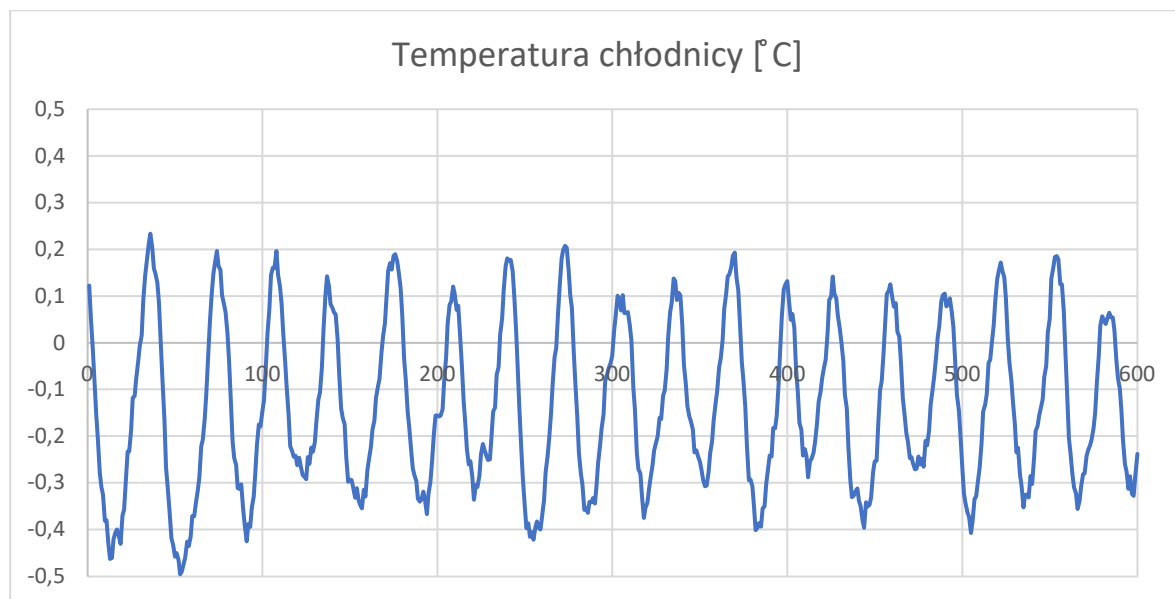
Rysunek 11 Wykres uśrednionych pomiarów nadciśnienia próbki.

	wartość średnia	wartość maksymalna	wartość minimalna	odchylenie standardowe
temperatura chłodnicy [°C]	-0,140	0,360	-0,769	0,194
temperatura grzałki [°C]	80,17	80,77	79,78	0,150
podciśnienie powietrza [bar]	-0,301	-0,272	-0,328	0,015
nadciśnienie próbki [bar]	0,498	0,532	0,461	0,018

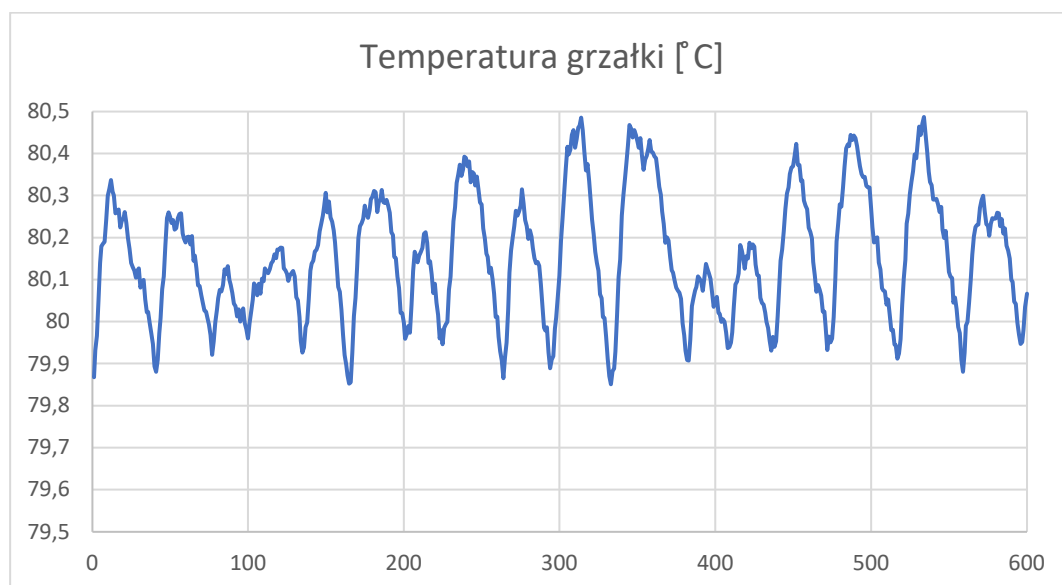
Tabela 8 Parametry statystyczne mierzonych parametrów

Ze względu na uśrednianie na przedstawionych wykresach bardzo mocno został zniwelowany szum wysokoczęstotliwościowy, który w przypadku ciśnień wynika z pulsacyjnego charakteru pracy pompki, zniwelowany został również szum o okresie rzędu sekund wynikający z działania pętli sprzężenia zwrotnego dla temperatur. Na Rysunkach 11 i 12 przedstawione zostały przykładowe nieuśrednione wykresy temperatur za okres 10min.

Zauważyć można, że ze względu na automatyczną regulację na wykresach temperatur nie widać żadnych długoterminowych tendencji wzrostu, lub spadku. Natomiast na obu wykresach ciśnień widać niewielkie płynięcie uśrednionego ciśnienia, które w znaczący sposób pogarsza dokładność.



Rysunek 12 Wykres nieuśrednionych pomiarów temperatury chłodnicy za okres 10 minut.



Rysunek 13 Wykres nieuśrednionych pomiarów temperatury grzałki za okres 10 minut.

Zmierzona temperatura grzałki wahała się w zakresie od 79,78[°C] do 80,77[°C], dla temperatury otoczenia 20[°C] oznacza to błąd temperatury na poziomie $\pm 0,83\%$, w przypadku utrzymywania temperatury 120[°C] taka sama zmiana temperatury oznaczałaby błąd $\pm 0,50\%$.

Zmierzona temperatura grzałki wahała się w zakresie od -0,77[°C] do 0,36[°C], dla temperatury otoczenia 20[°C] oznacza to błąd temperatury na poziomie $\pm 2,8\%$, w przypadku utrzymywania temperatury -25[°C] taka sama zmiana temperatury oznaczałaby błąd $\pm 1,3\%$.

Zmierzone podciśnienie powietrza suszącego wahało się w zakresie od -0,328[bar] do -0,272[bar], oznacza to błąd ciśnienia na poziomie $\pm 9\%$, ze względu na nieautomatyczny sposób regulacji należy spodziewać się podobnego błędu niezależnie od ustawionego podciśnienia.

Zmierzone nadciśnienie próbki wahało się w zakresie od +0,456[bar] do +0,532[bar], oznacza to błąd ciśnienia na poziomie $\pm 7\%$, ze względu na nieautomatyczny sposób regulacji należy spodziewać się podobnego błędu niezależnie od ustawionego nadciśnienia.

Całkowity błąd regulacji wszystkich parametrów należy obliczyć jako sumę błędów poszczególnych parametrów i wynosi on $\pm 18\%$. Zaznaczyć należy, że decydujący udział w całkowitym błędzie regulacji mają nieautomatyczne regulacje podciśnienia i nadciśnienia. Oznacza to, że przyjęty model regulacji doskonale sprawdzi się w przypadku większości zastosowań osuszacza. W przypadku pracy z chromatografem TCD wymagana dokładność jest gorsza, niż żądana. Oznacza to konieczność pewnej modyfikacji oczekiwań, albo sposobu regulacji. Poniżej przedstawiono listę proponowanych rozwiązań zagadnienia:

- Zmniejszenie oczekiwanej rozdzielczości chromatografu do około $\pm 10\text{ppm}$.
- Zastosowanie automatycznych regulatorów ciśnień
- Zmiana modelu matematycznego korygującego wprowadzanego przez wilgoć błędu pomiaru propanu. Ze względu na długoczasowy charakter zmian ciśnienia można do korekcji propanu zastosować średnią ruchomą o okresie około 24 godzin. Procedurę tą należy uzupełnić o wprowadzenie okresowych cykli kalibracji chromatografu, dla przykładu co 10 cykl pomiarowy.

III. OPIS Osuszacza nafionowego

1. PRZEZNACZENIE

Dokładne i rzetelne wyniki analizy próbek gazowych wymagają, aby analizowana próbka była czysta i sucha. Osuszacz nafionowy jest przyrządem przeznaczonym do osuszania próbek gazowych w sposób ciągły i wysoce selektywny nie powodując strat ilościowych i jakościowych w analizowanej próbce.

2. ZASADA DZIAŁANIA

Najważniejszym elementem osuszacza nafionowego jest rurka nafionowa w której zachodzi właściwy proces osuszania próbki gazowej. Umieszczona jest ona w środku drugiej rurki przez którą przepływa powietrze odbierające wilgoć. W czasie przechodzenia gazu zawierającego parę wodną przez rurkę nafionową następuje jej absorpcja na ściankach. Woda migruje wzdłuż ścianki rurki a następnie ulega odparowaniu do otaczającego powietrza w procesie zwanym „przedparowaniem”. Siłą napędową reakcji jest gradient wilgotności aż do osiągnięcia stanu równowagi. Przepływający w przeciwnym kierunku po zewnętrznej ściance rurki nafionowej suchy gaz oczyszczający powoduje ciągłą ekstrakcję pary wodnej ze strumienia gazu przepływającego przez rurkę do momentu, aż wilgotność próbki osiągnie tą wartość,

jaką posiada suchy gaz. Dzięki zastosowaniu takiej metody osuszania, przyrząd może pracować w sposób ciągły.

3. DANE TECHNICZNE

- Napięcie zasilające: 230 V AC.
- Komunikacja z przyrządem: ethernet.
- Masa przyrządu 20 kg

KONSTRUKCJA I OPIS PRZYRZĄDU

Na wejściu próbki gazu realizowany jest pomiar wilgotności. Następnie próbka kierowana jest do pompki, która tłoczy próbkę do grzałki. Próbka jest sprężana oraz podgrzewana w celu zwiększenia efektywności osuszania. Po ogrzaniu próbka kierowana jest do rurki nafionowej, w której odbywa się właściwy proces osuszania. Na wyjściu próbki realizowany jest pomiar ciśnienia i wilgotności próbki. Zastosowanie pomiaru wilgotności na wejściu i wyjściu próbki pozwala w prosty sposób określić efektywność osuszania. Drugim obiegiem w osuszaczu nafionowym jest obieg powietrza odbierającego wilgoć z powierzchni rurki nafionowej. W dolnej części obudowy znajdują się 2 wejścia suchego powietrza. Przełączane są one za pomocą elektrozaworu. Powietrze kierowane jest do bloku chłodzącego, aby zwiększyć efektywność osuszania próbki. Blok chłodzony jest za pomocą modułu peltiera. Następnie powietrze kierowane jest do rurki, która okala rurkę nafionową. Powietrze osuszające rurkę nafionową przepływa w przeciwnym kierunku do próbki. Na wyjściu znajduje się pompka, która wytwarza podciśnienie w rurce zewnętrznej. Złączki skręcane przeznaczone do powietrza osuszającego na płycie dolnej obudowy przeznaczone są na wężyk 8/6 zaś złączki na próbkę na wężyk 6/4.

Wnętrze obudowy osuszacza nafionowego:



Opis elementów: 1 – elektronika, 2 – zasilacz, 3 – moduł ogrzewania próbki,

4 – moduł nafionowy, 5 – pompka podciśnienia, 6 – pompka nadciśnienia, 7 – moduł chłodzący, 8 – pomiar ciśnienia próbki na wejściu, 9 – pomiar ciśnienia próbki na wyjściu.

Widok dolnej płyty obudowy:



Opis elementów: 1,2 – wejścia powietrza osuszającego, 3 – złącze Ethernet, 4 – wejście próbki, 5 – wyjście próbki, 6 – wlot skroplin z modułu chłodzącego.

Widok drzwi obudowy:



Na drzwiach obudowy znajduje się wyłącznik główny oraz lampki sygnalizujące: zasilanie, grzanie próbki, chłodzenie powietrza osuszającego oraz transmisje danych.

IV. Koncepcja oprogramowania procesowego., testy oprogramowania dla układu osuszania powietrza i układu osuszania próbki.

5. Koncepcja oprogramowania

Oprogramowanie procesowe służy do wizualizacji i sterowania procesem opróbowania złoża. Ponieważ proces opróbowania jest ciągły i nie może zostać przerwany oprogramowanie procesowe przeznaczone jest do pracy ciągłej. Jednocześnie powinno charakteryzować się maksymalną stabilnością pracy. Wymagania takie mogą zostać spełnione na wiele sposobów, z których każdy musi być dostosowany do właściwości systemu operacyjnego użytego w komputerze na którym uruchomione jest oprogramowanie procesowe. Jednocześnie powinna zostać zachowana wygoda pracy operatorów, którzy muszą spędzić przy oprogramowaniu procesowym podczas opróbowania wiele godzin lub dni przy zachowaniu pełnego skupienia.

Wymienione wymagania doprowadziły do następujących założeń dotyczących oprogramowania procesowego, oraz środowiska pracy:

- Ze względu na przyzwyczajenia operatorów wybrano system z rodziny Windows
- Uznano, że stabilność pracy systemu operacyjnego może zostać zapewniona przez system starszy, ale bardziej dopracowany, co pozwoliło na wybranie Windows 7.
- W celu poprawy stabilności oprogramowania procesowego uznano, że oprogramowanie procesowe powinno mieć jak najmniejsze wymagania na zasoby komputera i systemu operacyjnego, z tego powodu założono, że oprogramowanie procesowe powinno zostać napisane w języku C.
- W celu poprawy stabilności oprogramowania i jednocześnie w celu optymalnego wykorzystania zasobów komputera uznano, że aplikacja powinna składać się z szeregu niezależnych wątków, z których każdy odpowiadać będzie za obsługę innego zadania. Jednocześnie zostanie wprowadzony mechanizm obsługi wątków, który pozwoli na niezależną kontrolę pracy oprogramowania.
- Zapis pomierzonych parametrów, jak również historia nastaw sterowniczych musi zostać zarejestrowana. Maksymalną stabilność i efektywność pracy można uzyskać dzięki użyciu gotowego sterownika bazy danych np. MySQL, Postgres. Jednocześnie rozwiązanie takie ułatwia integrację z narzędziami obsługi sieciowej.

6. Oprogramowanie procesowe w wersji testowej dla układu osuszania powietrza i układu osuszania próbki

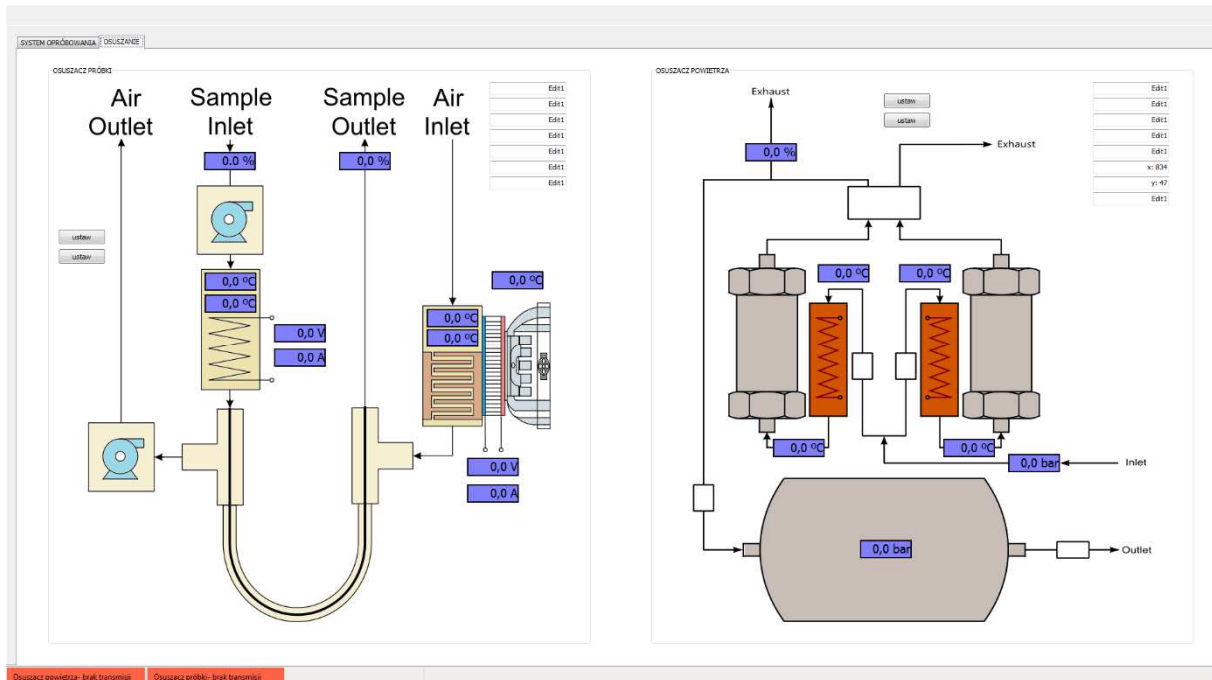
Wersja testowe oprogramowania procesowego stworzona została w środowisku Embarcadero C++ Builder XE5. Zawiera wszystkie niezbędne atrybuty wizualne oprogramowania procesowego, czyli:

- przejrzysty wygląd aplikacji
- graficzne przedstawienie mierzonego i sterowanego procesu

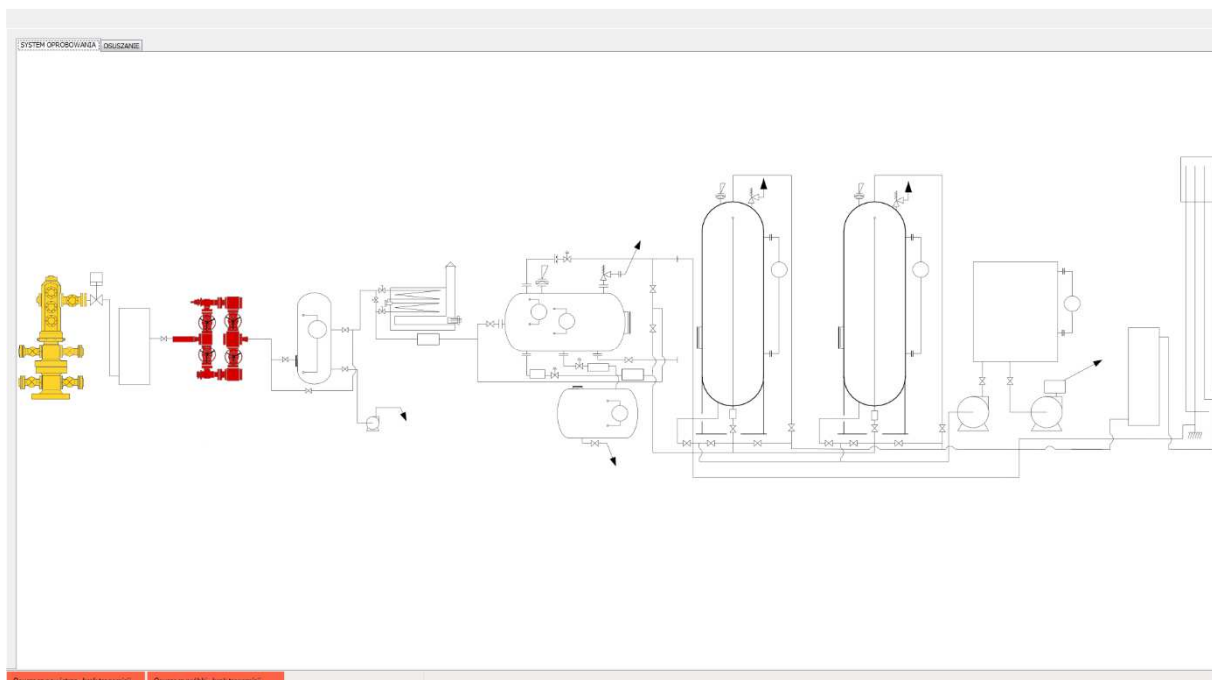
Jednocześnie w celu umożliwienia podstawowych badań oprogramowanie procesowe zostało napisane jako aplikacja wielowątkowa. Ponieważ została stworzona jedynie wersja testowa, ilość wątków została ograniczona do następujących:

- wążek główny – służy do obsługi graficznego interfejsu użytkownika i nadzoruje pracę pozostałych wążków
- wążek obsługi osuszacza powietrza
- wążek obsługi osuszacza próbki

Na poniższych rysunkach przedstawiono wygląd oprogramowania procesowego w wersji testowej.



Rysunek 14 Oprogramowanie procesowe, panele służące do wizualizacji sterowania pracą osuszacza powietrza i osuszacza próbki.



Rysunek 15 Oprogramowanie procesowe, testowy i nieaktywny panel obsługi głównego procesu próbowania złoża.

7. Testy oprogramowania

Testy oprogramowania procesowego polegały na kilkudniowej ciągłej pracy. Pozwoliło to na określenie następujących właściwości oprogramowania w wersji testowej:

- Oprogramowanie pracuje stabilnie, nie stwierdzono ani jednego przypadku niestabilnej pracy
- Nie występuje tzw. wyciek pamięci, oprogramowanie w czasie pracy nie wymaga coraz większej ilości pamięci operacyjnej
- Oprogramowanie posiada niskie zapotrzebowanie na zasoby systemowe: zajętość procesora nie przekracza 1%, zajętość pamięci poniżej 25MB, operacje dyskowe poniżej 5/sek, wykorzystanie przepustowości interfejsu sieciowego poniżej 0,1%

Powyższe właściwości pozwalają stwierdzić, że wybrana koncepcja i realizacja wersji testowej dla oprogramowania procesowego są właściwe.