

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

8. Dokumentacja analizatora sumy węglowodorów D_1/2/2021g

Konstrukcja miernika analizatora sumy węglowodorów (TotalGas) opisana w niniejszym rozdziale konstrukcja jest oryginalnym nowym urządzeniem wytworzonym w ramach realizacji projektu.

Total-Gas jest urządzeniem służącym do ciągłego pomiaru sumy zawartości węglowodorów w próbce mierzonego gazu. Konstrukcja przyrządu została zoptymalizowana pod kątem zastosowań w Laboratorium pomiarowym podczas prowadzenia opróbowań na ropno-gazowych otworach poszukiwawczych. Mierzony będzie gaz występujący w przestrzeniach wokół urządzeń roboczych podczas prowadzonych opróbowań.

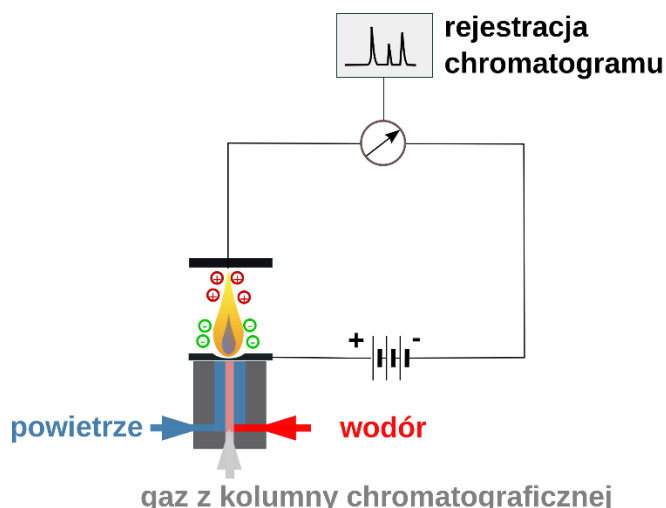
Zastosowanie takie wymaga uzyskania następujących parametrów:

- wynik podawany jest jako tzw. odpowiednik metanowy określany ilością atomów węgla w cząsteczce gazu, oznacza to, że 100% metan podany na wejście przyrządu wywoła wskazanie 100%, natomiast podanie etanu o takim samym stężeniu wywoła wskazanie 200%,
- duża czułość przyrządu – powinny być wykrywane gazy dostarczane do Total-Gas o minimalnej zawartości węglowodorów około 1ppm,
- szeroki zakres pomiarowy – maksymalna zawartość gazu może przekraczać w ekstremalnym przypadku 100%,
- szybki czas reakcji – istotne jest wykrywanie porcji gazu pojawiających się w interwałach czasowych poniżej 1 min., co wymusza czas reakcji na poziomie 15 sekund, lub lepszym,
- trwałość i wytrzymałość – przyrząd powinien pracować w warunkach przemysłowych w trybie ciągłym 24 godziny na dobę.

Wzmacniacz izolacyjny do detektora płomieniowo-jonizacyjnego

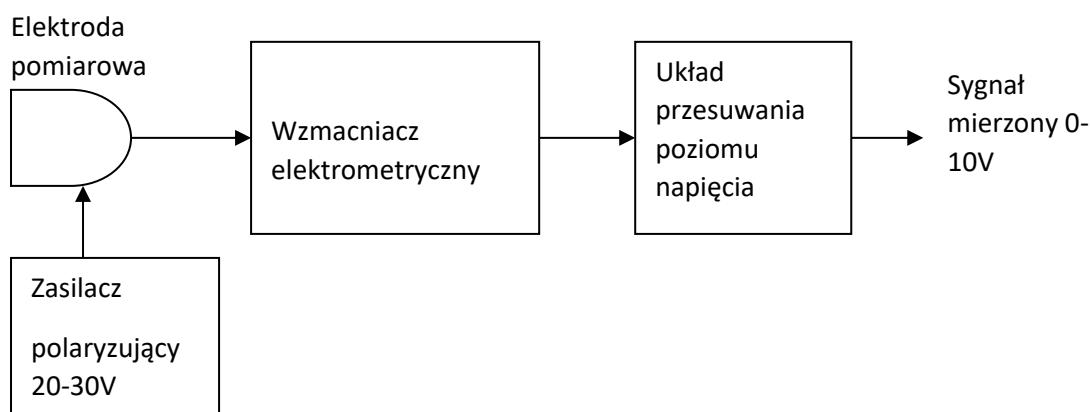
1. Detektor płomieniowo –jonizacyjny

Działanie detektora polega na kontrolowanym spalaniu badanej substancji zawierającej związki węgla w płomieniu wodorowym. Pod wpływem spalania płomień ulega jonizacji. Jednocześnie konstrukcja detektora pozwala na spolaryzowanie płomienia i pomiar prądu płynącego przez zjonizowany gaz. Typowe napięcie polaryzujące, jak sposób jego doprowadzenia, zależy od konstrukcji detektora i może wynosić od kilku do ponad 200V. Jednocześnie mierzone prądy mogą mieć wartości na poziomie pA. Zasadę działania detektora przedstawia Rysunek 1.



Rysunek 1 Detektor płomieniowo-jonizacyjny Standardowy wzmacniacz do detektora płomieniowo-jonizacyjnego

Zajmiemy się detektorem w którym polaryzowana jest elektroda zbiorcza (pomiarowa) i napięcie to jest dodatnie na poziomie około 20-30V. Stosowany w takim przypadku wzmacniacz ma budowę przedstawioną na Rysunku 2.



Rysunek 2 Standardowy wzmacniacz do detektora płomieniowo-jonizacyjnego

Wzmacniacz taki charakteryzuje się prostotą i posiada stosunkowo dobrą czułość w warunkach laboratoryjnych. Jego główną wadą jest stosunkowo mała odporność na zakłócenia elektromagnetyczne. Wynika to z tego, że na bardzo słaby sygnał mierzony na elektrodzie pomiarowej nakłada się wielokrotnie wyższe napięcie zasilacza polaryzującego. Jednocześnie wszystkie elementy układu posiadają wspólną masę co prowadzi do nieuniknionego powstania przewodzącej pętli na której odkładają się wszelkie zakłócenia. Oczywiście poziom zakłóceń może zostać obniżony poprzez zastosowanie ekranowania, jednak ze względu na strukturę wzmacniacza może nie być możliwe obniżenie poziomu zakłóceń do wartości akceptowalnych, szczególnie w środowisku przemysłowym o dużym poziomie zakłóceń.

1. Wzmacniacz izolacyjny do detektora płomieniowo-jonizacyjnego

Odporność na zakłócenia elektromagnetyczne można znacząco podnieść dzięki zastosowaniu izolacji galwanicznej, dzięki której nie powstaje przewodząca pętla. Wzmacniacz działający według tej zasady przedstawiono na Rysunku 3.

Dzięki zastosowaniu takiej struktury wzmacniacza eliminujemy przewodzącą pętlę w układzie wzmacniającym. Elektroda pomiarowa jest połączona galwanicznie z masą tylko jednym przewodem poprzez zasilacz polaryzujący. Układ izolacji galwanicznej pozwala zmianę potencjału sygnału mierzonego. Zasilacz z izolacją zapewnia niezbędne zasilanie wzmacniacza elektromagnetycznego.

Układ taki dzięki podwyższeniu odporności na zakłócenia pozwala na poprawę czułości w środowisku o podwyższonym poziomie zakłóceń elektromagnetycznym.

Dodatkowo możliwe jest stosowanie większych wartości napięcia polaryzującego bez obniżenia parametrów wzmacniacza.

2. Standardowy wzmacniacz do detektora płomieniowo-jonizacyjnego

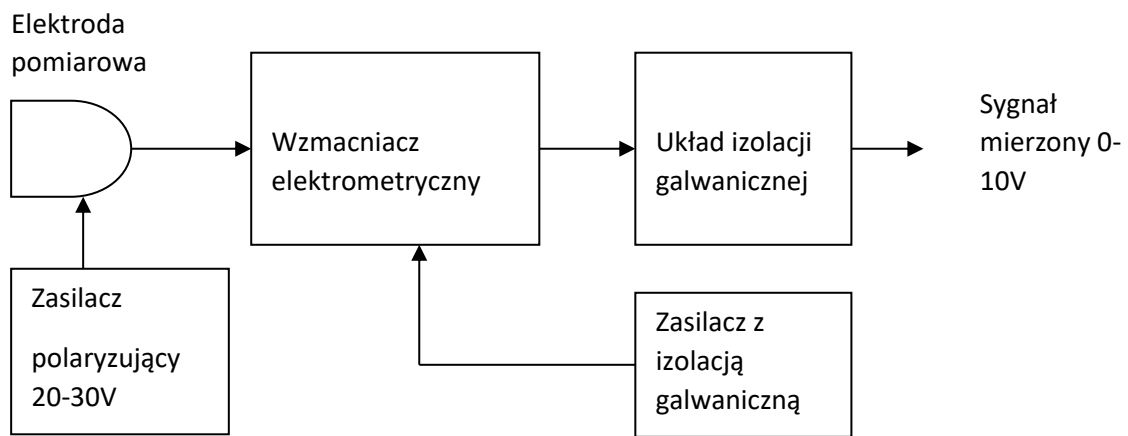
Zajmiemy się detektorem w którym polaryzowana jest elektroda zbiorcza (pomiarowa) i napięcie to jest dodatnie na poziomie około 20-30V.

Stosowany w takim przypadku wzmacniacz ma budowę przedstawioną na Rysunku 2.

Wzmacniacz taki charakteryzuje się prostotą i posiada stosunkowo dobrą czułość w warunkach laboratoryjnych. Jego główną wadą jest stosunkowo mała odporność na zakłócenia elektromagnetyczne. Wynika to z tego, że na bardzo słaby sygnał mierzony na elektrodzie pomiarowej nakłada się wielokrotnie wyższe napięcie zasilacza polaryzującego. Jednocześnie wszystkie elementy układu posiadają wspólną masę co prowadzi do nieuniknionego powstania przewodzącej pętli na której odkładają się wszelkie zakłócenia. Oczywiście poziom zakłóceń może zostać obniżony poprzez zastosowanie ekranowania, jednak ze względu na strukturę wzmacniacza może nie być możliwe obniżenie poziomu zakłóceń do wartości akceptowalnych, szczególnie w środowisku przemysłowym o dużym poziomie zakłóceń.

3. Wzmacniacz izolacyjny do detektora płomieniowo-jonizacyjnego

Odporność na zakłócenia elektromagnetyczne można znacząco podnieść dzięki zastosowaniu izolacji galwanicznej, dzięki której nie powstaje przewodząca pętla. Wzmacniacz działający według tej zasady przedstawiono na Rysunku 3.



Rysunek 3 Wzmacniacz izolacyjny do detektora płomieniowo-jonizacyjnego

Dzięki zastosowaniu takiej struktury wzmacniacza eliminujemy przewodzącą pętlę w układzie wzmacniającym. Elektroda pomiarowa jest połączona galwanicznie z masą tylko jednym przewodem poprzez zasilacz polaryzujący. Układ izolacji galwanicznej pozwala zmianę potencjału sygnału mierzonego. Zasilacz z izolacją zapewnia niezbędne zasilanie wzmacniacza elektromagnetycznego.

Układ taki dzięki podwyższeniu odporności na zakłócenia pozwala na poprawę czułości w środowisku o podwyższonym poziomie zakłóceń elektromagnetycznym.

Dodatkowo możliwe jest stosowanie większych wartości napięcia polaryzującego bez obniżenia parametrów wzmacniacza

Do prawidłowego działania czujnika FID niezbędne jest ciągle dostarczanie pozbawionego zanieczyszczeń wodoru i powietrza. Układy regulacji przepływu pozwalają na uzyskanie stabilnego płomienia wewnątrz czujnika. Zastosowane zostały układy działające w oparciu o proporcjonalne regulatory ciśnienia i automatyczne regulatory. Poniżej przedstawiono schemat blokowy układu regulacji przepływu. Dodatkowo regulator przepływu badanego gazu został skonstruowany w taki sposób, aby czas przepływu gazu przez regulator był jak najkrótszy w celu uzyskania szybkiej reakcji przyrządu na zmianę stężenia węglowodorów w badanym gazie.

W celu zapewnienia prawidłowej pracy całego przyrządu zastosowany został układ sterownika mikroprocesorowego pozwalający na zrealizowanie wszystkich niezbędnych funkcji:

- pomiar następujących wartości analogowych: sygnał z detektora FID, sygnały ciśnień z regulatorów, napięcia zasilające wewnątrz urządzenia, napięcie i prąd grzałki detektora FID
- generacja sygnałów sterujących dla: regulatorów przepływu, grzałki detektora FID, ekranu wizualizacyjnego, dodatkowych zaworów elektromagnetycznych,
- przetwarzanie cyfrowe mierzonych wartości w celu obliczenia procentowej zawartości odpowiednika metanowego w mierzonym gazie
- wysyłanie wyników pomiarów i stanu przyrządu do ekranu wizualizacyjnego
- wysyłanie wyników pomiarów i stanu przyrządu do komputera sterującego za

pomocą interfejsu ETHERNET

- odbieranie nastaw z ekranu wizualizacyjnego
- odbieranie nastaw z komputera sterującego
- działanie automatyki pomiarowej pozwalające na dopasowanie parametrów pracy przyrządu do mierzonych warunków zewnętrznych, w szczególności do poziomu mierzonego gazu.

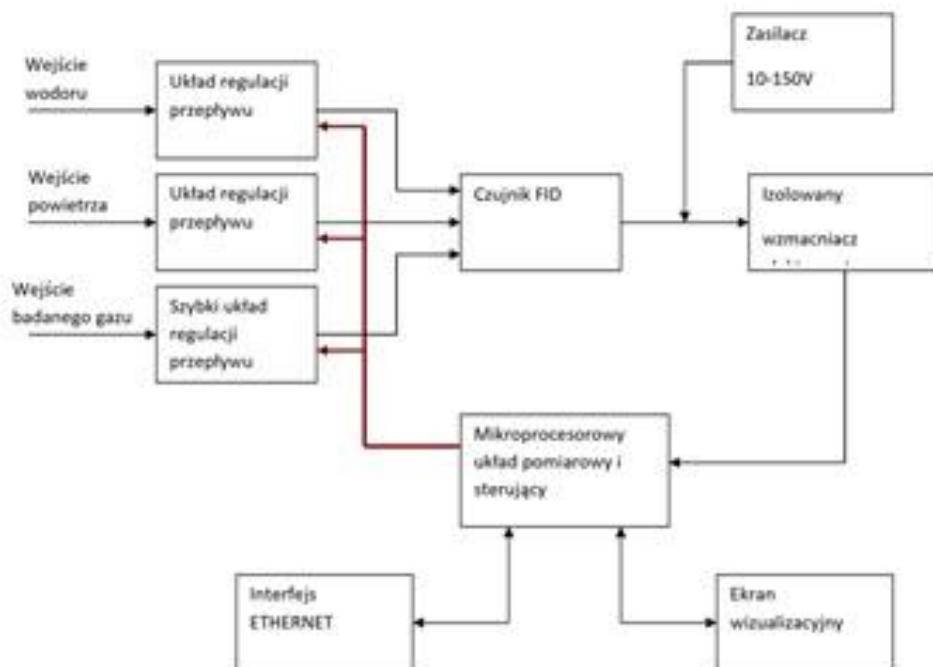
Ekran wizualizacyjny pozwala na wyświetlenie wartości i wykresów obrazujących pracę przyrządu, jednocześnie wyposażony został w ekran dotykowy pozwalający na

97 wprowadzanie wszystkich nastaw. W szczególności ekran wizualizacyjny pozwala na zrealizowanie następujących funkcjonalności:

- wyświetlenie aktualnego poziomu metanu
- wyświetlenie wykresu obrazującego zmiany poziomu metanu w okresie czasu do 24 godzin
- wyświetlenie napięć, ciśnień i prądów występujących w urządzeniu
- wyświetlenie aktualnego stanu automatyki urządzenia
- ustawienie parametrów wyświetlania wykresu
- wprowadzenie wartości kalibracyjnych urządzenia
- wprowadzenie nastaw regulatorów przepływu
- wprowadzenie nastaw grzałki detektora FID.

Do prawidłowego działania czujnika FID niezbędne jest ciągle dostarczanie pozbawionego zanieczyszczeń wodoru i powietrza. Układy regulacji przepływu pozwalają na uzyskanie stabilnego płomienia wewnątrz czujnika. Zastosowane zostały układy działające w oparciu o proporcjonalne regulatory ciśnienia i automatyczne regulatory. Poniżej przedstawiono schemat blokowy układu regulacji przepływu. Dodatkowo regulator przepływu

badanego gazu został skonstruowany w taki sposób, aby czas przepływu gazu przez regulator był jak najkrótszy w celu uzyskania szybkiej reakcji przyrządu na zmianę stężenia węglowodorów w badanym gazie.



Rys. 4 Schemat blokowy układu regulacji przepływu

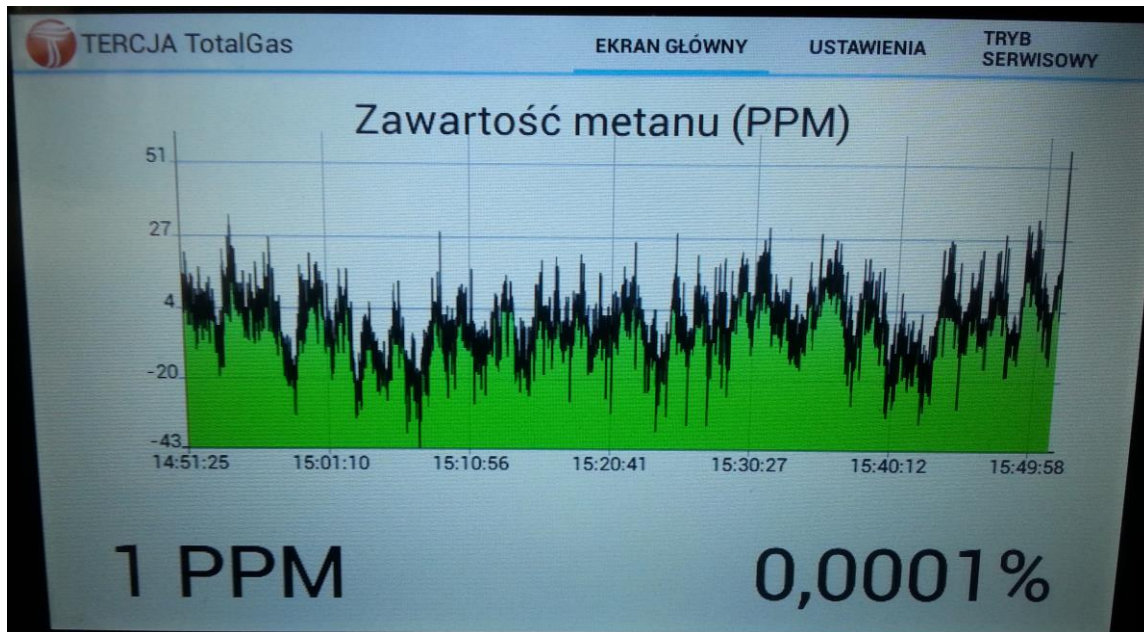
W ramach projektu przeprowadzono Badanie i analizę wyników długoterminowej stabilności zerowego punktu pracy analizatora gazów wybuchowych. Określono sposoby poprawienia stabilności zerowego punktu pracy analizatora gazów wybuchowych. Sprawdzono na układzie praktycznym wpływ zastosowanych modyfikacji. Zoptymalizowano rozwiązania w celu uzyskania maksymalnej stabilności zerowego punktu pracy analizatora Gazów wybuchowych.

1. Badanie długoterminowej stabilności punktu zerowego analizatora gazów wybuchowych

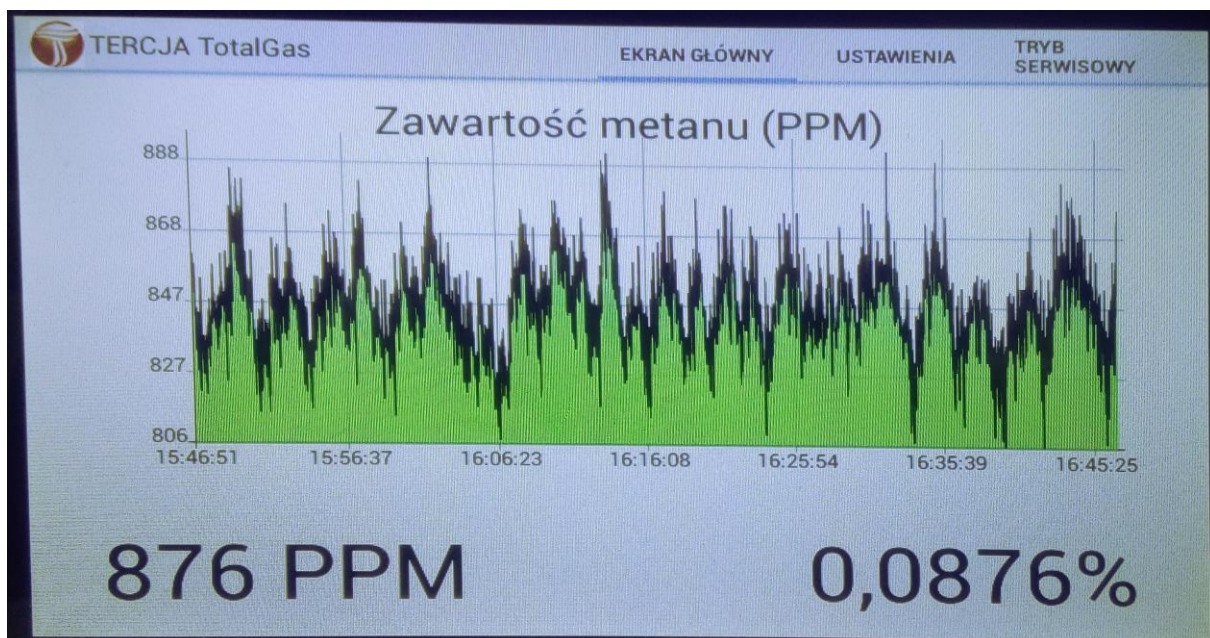
Do płomienia wodoru palącego się w powietrzu podawany jest mierzony gaz. W przypadku wystąpienia w mierzonym gazie związków węgla ulegają one spaleni, a powstałe w ten sposób cząstki dwutlenku węgla ulegają jonizacji. Jednocześnie płomień jest polaryzowany napięciem stałym. Powoduje to powstanie prądu proporcjonalnego do zawartości związków węgla w gazie mierzonym. Uzyskiwana czułość detektora FID może być lepsza niż 1ppm. Na rysunku można zauważyć, że pomiar dokonywany jest na gazie opuszczającym kolumnę chromatograficzną. Jest to typowe zastosowanie detektora FID. Pomiar chromatograficzny trwa z reguły od kilkudziesięciu sekund do kilkudziesięciu minut, a rejestrowane piki gazów trwają zazwyczaj od kilku do kilkudziesięciu sekund. Powoduje to, że długoterminowe zmiany punktu zerowego nie wpływają na pomiar chromatograficzny.

Inaczej wygląda to w przypadku pomiaru analizatora gazów wybuchowych. Analizator ten mierzy w sposób ciągły sumę zawartości wszystkich związków węgla. Oznacza to, że nie występują w sposób naturalny okresy czasu w których do detektora nie są dostarczane mierzone gazy. Powoduje to, że brakuje poziomu odniesienia oznaczającego zerową zawartość węglowodorów w mierzonym gazie i narzuca zwiększone wymagania na stabilność punktu zerowego detektora.

W celu znalezienia punktu wyjścia przeprowadzono badania trwające kilkanaście dni, mające dać odpowiedź, jakich zmian punktu zerowego można oczekiwać. Na Rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykładowe zdjęcia obrazujące uzyskane wyniki. Należy zaznaczyć, że przedstawione wyniki zostały zrobione kolejno w 2 i 6 dniu badań.



Rysunek 5 Przykładowe wyniki pomiaru punktu zerowego, skala pionowa w jednostkach przetwornika A/C, 2 dzień pomiarów.



Rysunek 6 Przykładowe wyniki pomiaru punktu zerowego, skala pionowa w jednostkach przetwornika A/C, 6 dzień pomiarów.

2. Próby poprawy stabilności punkty zerowego analizatora gazów wybuchowych

Podstawowym problemem było usunięcie błędów programowych powodujących niestabilną pracę urządzenia. Okazało się, że winna była procedura odczytująca wartości z przetwornika analogowo-cyfrowego w połączeniu z izolowanym interfejsem. Rozwiązanie polegało na zmniejszeniu szybkości transmisji i dodaniu cyklu automatycznego resetu interfejsu.

W następnej kolejności należało skupić się na poprawieniu stabilności punktu zerowego detektora. Już wcześniej została zastosowana stabilizacja temperatury detektora i doprowadzanych gazów za pomocą termostatu. Z tego powodu należało skupić się na korekcji programowej. Pomysł korekcji opierał się na tym, że zmiany punktu zerowego są bardzo wolne i następują w okresach czasu mierzonych godzinami, natomiast czas reakcji detektora, jak i elementów regulacyjnych analizatora mierzony jest w ułamkach sekund, lub pojedynczych sekundach. W takiej sytuacji można wprowadzić w kontrolowany sposób cykliczne zaburzenie przepływu mierzonego gazu. W przypadku występowania w gazie mierzonym węglowodorów uzyskamy z detektora odpowiedź odpowiadającą wprowadzonemu zaburzeniu. W przypadku braku węglowodorów nie nastąpi żadna zmiana.

Pierwsza próba polegała na wprowadzeniu zmiany przepływu badanego gazu co 10 sekund na zmianę na poziomie nominalnym N i poziomie $1,5 \cdot N$.

Dla takiego przypadku powinniśmy uzyskać następujące odczyty:

$$O_1 = k \cdot N + Z$$

$$O_2 = k \cdot 1,5 \cdot N + Z$$

, gdzie:

O_1 – odczyt przy przepływie nominalnym

O_2 – odczyt przy przepływie 1,5 razy większym niż nominalny

k – stała kalibracyjna

Z – odczyt dla poziomu zerowego.

Należy zwrócić uwagę, że Z został założony identyczny dla obu równań z uwagi na poczynione obserwacje, że szybkość zmian poziomu zerowego jest bardzo mała i w krótkich okresach czasu może on być traktowany jako stały. Jednocześnie założono liniową odpowiedź detektora. Wartość $k \cdot N$ możemy w takim przypadku potraktować jako zawartość węglowodorów w gazie $G = k \cdot N$. Po przekształceniu powyższych równań otrzymujemy:

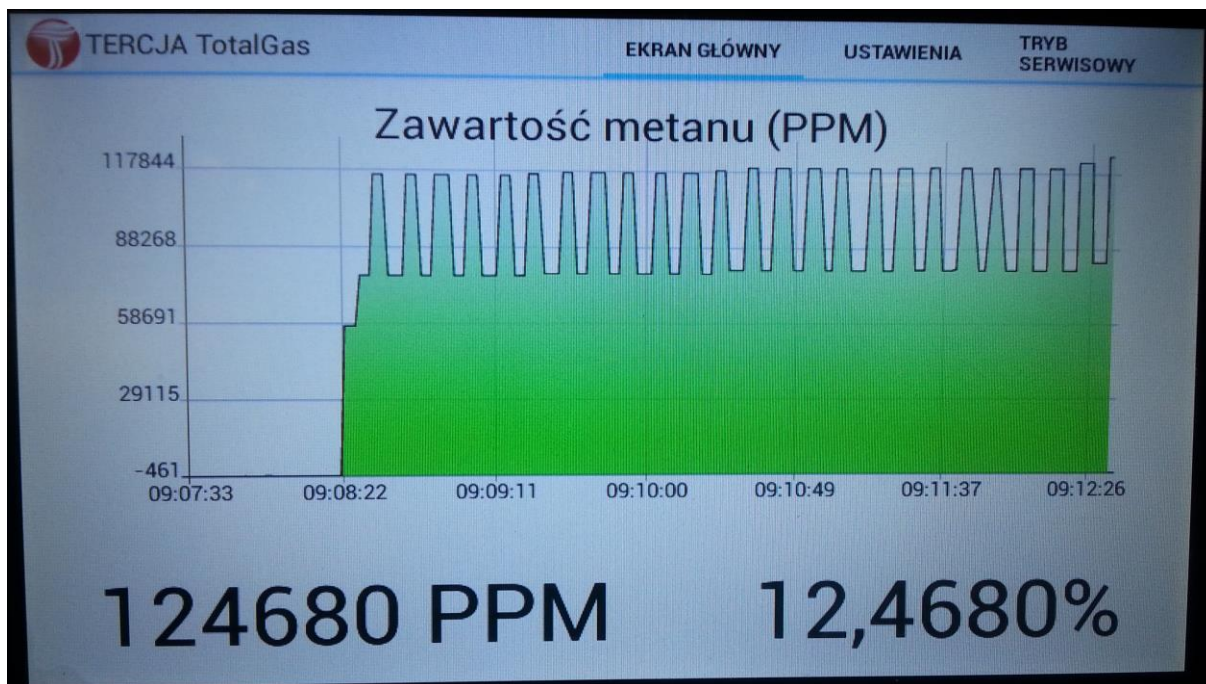
$$Z = 2 \cdot O_2 - 3 \cdot O_1$$

Oraz skorygowane wartości gazu odpowiednio dla nominalnego i zwiększonego przepływu:

$$G = O_1 - Z$$

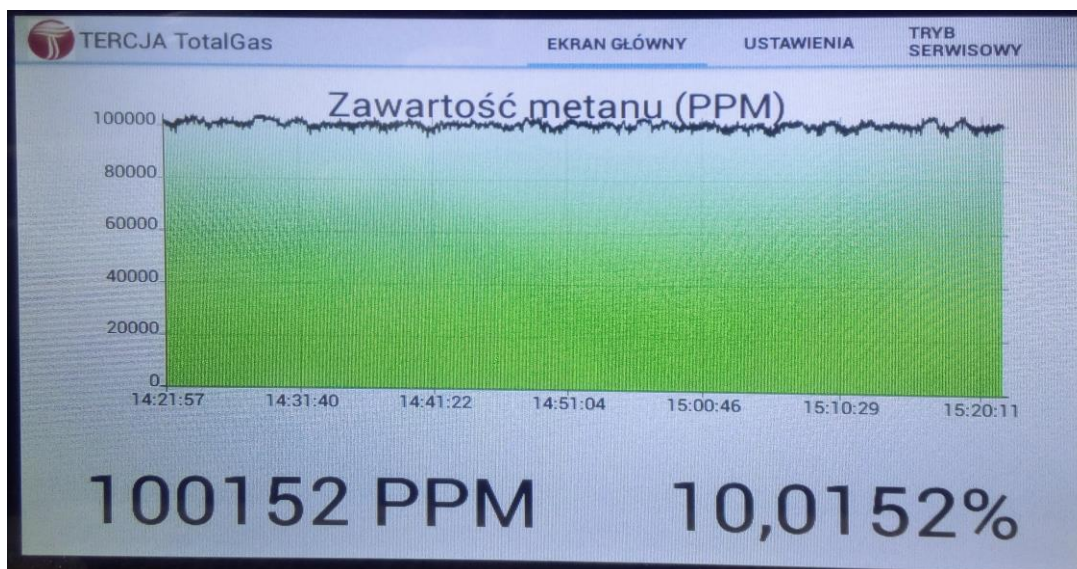
$$G = \frac{O_2 - Z}{1,5}$$

Po odpowiednim zmodyfikowaniu oprogramowania analizatora przeprowadzono kolejne próby. Na Rysunku 4 przedstawiono wynik prób.



Rysunek 7 Wynik pomiarów po dodaniu funkcji wyliczającej poziom zerowy.

Widać, że na wykresie podczas pomiaru gazu zawierającego węglowodory występują cykliczne zmiany poziomu w rytm zmian przepływu. Po analizie okazało się, że praca regulatora przepływu mierzonego gazu nie jest liniowa co spowodowało, że zmiana przepływu nie następuje o czynnik 1,5 i zastosowane wzory nie są właściwe. Zdecydowano się skorygować wzory w taki sposób, aby uwzględniały rzeczywiste ciśnienie regulatora. Po wprowadzeniu zmian w oprogramowaniu uzyskano prawidłowe przebiegi podczas pomiaru gazu zawierającego węglowodory (Rysunek 5). Jednocześnie pomiary podczas pomiaru gazu pozbawionego składników palnych wykazały znaczącą poprawę stabilności punktu zerowego, obserwowano jedynie przebiegi zbliżone do przedstawionych na Rysunku 2.



Rysunek 8 Wyniki pomiarów po modyfikacji funkcji wyliczającej poziom zerowy.

W ramach projektu przeprowadzono Badania analizatora gazów wybuchowych pod kątem optymalizacji czułości sensora FID. Analiza uzyskanych wyników i modyfikacja oprogramowania sterującego analizatora gazów wybuchowych.

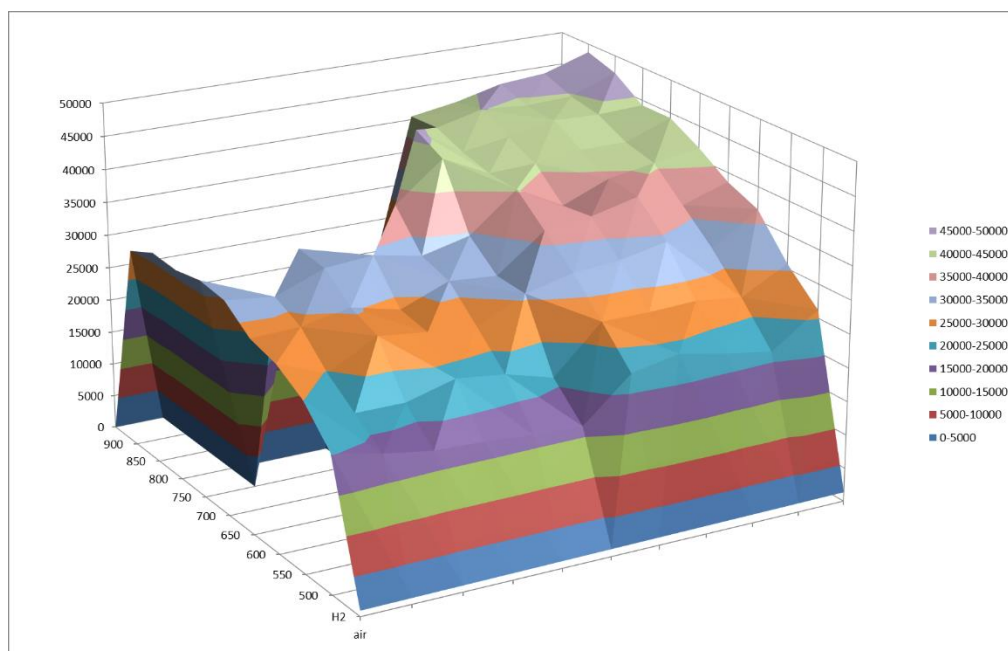
1. Badania analizatora gazów wybuchowych pod kątem czułości

Wcześniej prowadzone prace i badania pozwoliły na osiągnięcie stabilnej wartości zerowej analizatora. Poprawiły jednocześnie ogólną stabilność pracy, czyli płomienia czujnika FID, oraz dokładność i powtarzalność pracy regulatorów przepływu wodoru, powietrza i próbki gazu.

Kolejnym naturalnym etapem pracy jest znalezienie takich wartości parametrów kontrolujących pracę analizatora, które zapewnią jak najlepszą czułość urządzenia jednocześnie nie wpływając negatywnie na osiągnięte we wcześniejszych pracach rezultaty. Badania rozpoczęto od sprawdzenia wpływu poziomów przepływów wodoru i powietrza na czułość detektora FID. Poniżej w Tabeli 1, oraz na Wykresie 1 przedstawiono otrzymane wyniki.

	air										
H2	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350
500	20 282	18 592	17 465	17 183	16 620	16 338	22 535	23 944	22 535	21 408	26 197
550	25 070	21 690	21 690	23 662	22 817	20 845	27 606	27 606	27 887	27 042	30 704
600	27 606	24 789	28 732	27 887	27 324	30 704	32 394	32 958	34 366	32 113	36 620
650	28 732	29 014	30 423	28 732	31 549	30 986	36 338	37 183	38 873	36 338	38 592
700	31 831	30 986	33 803	34 366	32 958	34 648	40 282	36 620	39 437	40 563	41 690
750	32 394		34 366		38 310	43 944	40 563	40 845	41 690	41 690	44 225
800	31 549					46 197	41 690	42 817	44 225	43 944	44 225
850	31 831						43 380	45 070	44 507	44 789	47 324
900	29 859						43 099	44 225	45 915	46 479	48 732

Tabela 1 Wyniki pomiarów podczas badania wpływu zmian przepływu wodoru i powietrza na czułość detektora FID



Wykres 1 Wyniki pomiarów podczas badania wpływu zmian przepływu wodoru i powietrza na czułość detektora FID

Pomiary były wykonywane przy ustawieniu regulatora przepływu wodoru od 500 do 900, co odpowiada przepływowi wodoru od 50 do 90 $\mu\text{l}/\text{min}$, oraz przy ustawieniu regulatora przepływu powietrza od 850 do 1350, co odpowiada przepływowi powietrza od 600 do 950 $\mu\text{l}/\text{min}$. Podczas pomiarów utrzymywane było stałe ustawienie regulatora przepływu próbki gazowej na poziomie , co odpowiada przepływowi bazowemu próbki ma poziomie 15 $\mu\text{l}/\text{min}$. Do badań zastosowana została mieszanina gazowa 521ppm metanu w powietrzu.

Przedstawione wyniki wyrażone są w jednostkach przetwornika analogowo-cyfrowego. Uwzględniona została również wartość zerowa, która ulegała zmianie po każdorazowej zmianie przepływów, aby zmiany te nie wpływały na wyniki pomiarów.

Na przedstawionych wynikach zauważyć można, że czułość detektora wzrasta wraz ze wzrostem przepływów powietrza i wodoru. Zachowanie takie spowodowało wątpliwości, co do dokładności pracy regulatora przepływu próbki podczas przełączania przepływu przy procedurze autozerowania. Nominalnie zmiana przepływu wynosi wówczas 1,5:1, bo o tyle zmieniana jest nastawa regulatora. Jednakże rzeczywista zmiana przepływu może być inna ze względu na nieliniowość pracy regulatora, lub przesunięcie punktu zerowego regulatora.

Z tego powodu przeprowadzone zostały dodatkowe pomiary za pomocą przepływomierza elektronicznego, które miały na celu dokładne określenie stosunku przepływu próbki podczas procedury autozerowania. Otrzymano wskazania przepływów na poziomie V i V, co przy wskazaniu dla zerowego przepływu na poziomie V odpowiada przepływowi ml/min i ml/min , oraz stosunkowi przepływów 1,355:1. Uzyskane wyniki zostały również uwzględnione w przedstawionych wcześniej wynikach. Jednocześnie uzyskane wyniki zostały zaimplementowane w oprogramowaniu sterującym analizatora gazów wybuchowym.

Oznacza to, że optymalną czułość detektora FID uzyskuje się przy maksymalnych poziomach przepływów wodoru i powietrza. Jednocześnie we wcześniejszych badaniach określono, że uzyskiwany poziom sygnału z detektora FID wzrasta proporcjonalnie do przepływu próbki. Ponieważ nadmierny wzrost przepływu próbki powodował niestabilną pracę detektora ze względu na niestabilność płomienia, do badań zastosowano maksymalny możliwy poziom przepływu próbki, który takich niestabilności jeszcze nie powoduje. Zauważyć można, że uzyskany poziom sygnału przekracza 40 tys. jednostek przetwornika analogowo-cyfrowego. Jednocześnie podczas badań obserwowany poziom szumów kształtował się na poziomie około ± 20 jednostek przetwornika analogowo-cyfrowego. Oznacza to, że poziom sygnału był ponad 2 tys. razy większy od poziomu szumów, co dla gazu o stężeniu 521 ppm metanu oznacza czułość na poziomie około 0,25 ppm.

Ponieważ uzyskana czułość jest wystarczająca, proponowany punkt pracy analizatora to nastawa regulatora wodoru na poziomie 800 i nastawa regulatora powietrza 1250. Pozwoli to na uzyskanie bardzo dobrej czułości i jednocześnie stosunkowo oszczędne korzystanie ze źródeł gazów, co ma szczególne znaczenie w przypadku wodoru, chociaż w szczególnych przypadkach może być istotne w przypadku powietrza.

W ramach projektu prze[proawdzono; Badania czasu reakcji analizatora gazów wybuchowych. Modyfikacja układu pneumatycznego analizatora gazów wybuchowych. Badanie wpływu wprowadzonych zmian.

Badanie dokładności pomiaru i liniowości analizatora gazów wybuchowych przy bardzo wysokim stężeniu gazów wybuchowych.

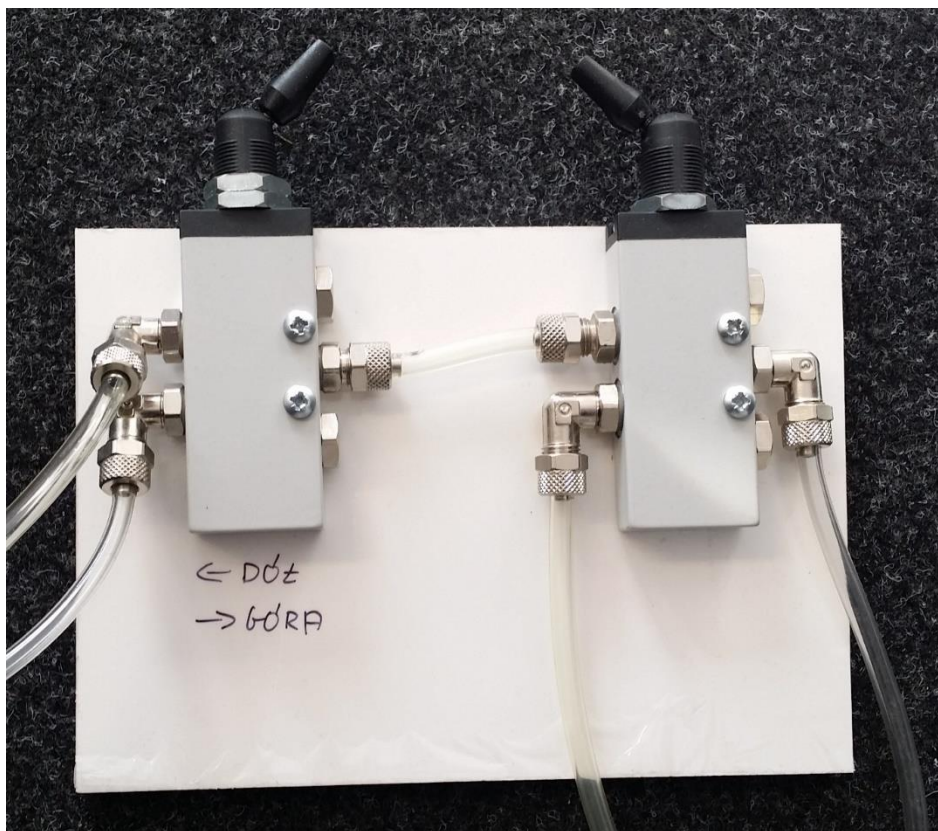
Koncepcja zmian w automatyce analizatora gazów wybuchowych mająca na celu poprawę parametrów urządzenia.

Implementacja opracowanych zmian i badania określające wpływ wprowadzonych zmian na pracę analizatora gazów wybuchowych.

1. Badania czasu reakcji analizatora gazów wybuchowych

Czas reakcji analizatora gazów można zdefiniować na różne sposoby. W praktyce istotne jest opóźnienie pomiędzy zmianą stężenia gazu na wejściu analizatora, a wskazaniem analizatora. Z tego powodu do badań zdefiniujemy czas reakcji analizatora jako czas, po jakim wskazanie analizatora osiągnie 90% wskazania końcowego w odpowiedzi na skokową zmianę stężenia metanu w gazie podawanym na wejścia analizatora.

W celu przeprowadzenia takich badań skonstruowany został pneumatyczny układ zaworów ręcznych, dzięki któremu możliwe jest podanie na wejście analizatora jednego z trzech gazów. Ponieważ spodziewany czas reakcji nie będzie lepszy niż kilka sekund, czas manualnego przełączenia zaworu wynoszący ułamek sekundy nie wpłynie znacząco na wyniki badań. Poniżej na Rysunku 1 przedstawiono zdjęcie skonstruowanego układu pneumatycznego.



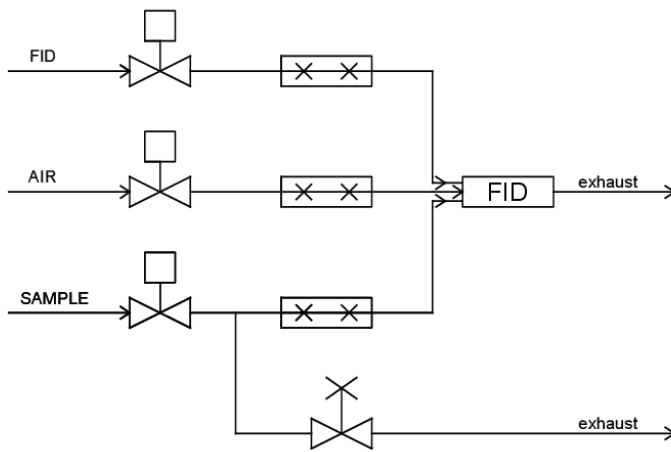
Rysunek 9 Wygląd ręcznego przełącznika gazów.

Badania zostały przeprowadzone przy użyciu mieszaniny wzorcowej metanu 521 ppm w powietrzu. Drugim podłączonym do analizatora gazem było sprężone powietrze. Uzyskany czas reakcji wyniósł od 40 do 45 sekund przy kilkukrotnym przełączaniu gazu podawanego na wejście analizatora.

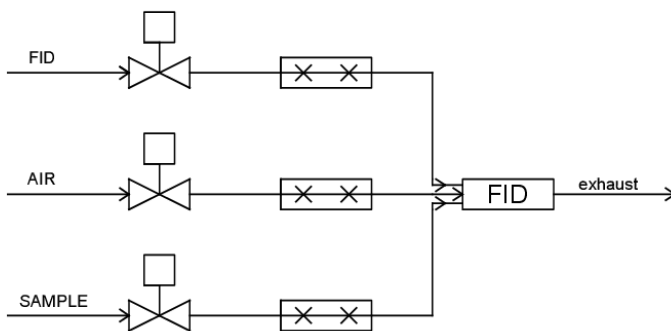
2. Modyfikacje układu pneumatycznego i badanie wpływu wprowadzonych zmian

Otrzymany podczas wcześniejszych badań związanych z autozerowaniem czas reakcji na zmianę przepływu próbki wynosił około jednej sekundy. Oznacza to, że za czas reakcji wynoszący powyżej 40 sekund odpowiada czas przepływu próbki od wejścia analizatora do czujnika FID. Wynika to z małego przepływu próbki przez czujnik, który wynosi około 15 $\mu\text{L}/\text{min}$, oraz ze stosunkowo dużej objętości rurek doprowadzających próbkę do analizatora i rurek wewnątrz analizatora.

W celu przyspieszenia przepływu próbki postanowiono pomiędzy regulatorem przepływu a kapilarą wstawić odejście gazu, które wymusza zwiększony przepływ próbki przez wejściowe połączenia pneumatyczne analizatora. Na Rysunku 2 przedstawiono schemat pneumatyki przed modyfikacją, natomiast na Rysunku 3 przedstawiono schemat po modyfikacji.



Rysunek 10 Schemat pneumatyki analizatora po modyfikacji układu regulacji przepływu próbki.



Rysunek 11 Schemat pneumatyki analizatora przed modyfikacją układu regulacji przepływu próbki.

Wstępnie za pomocą tłumika ustawiono przepływ przed odejście gazu na poziomie 0,4 l/min. Uzyskany czas reakcji wyniósł około 10 sekund. Następnie zwiększono przepływ przez odejście do 1l/min otrzymując czas reakcji od 4 do 5 sekund. Oznacza to, że przyjęto prawidłowe założenie i wprowadzona modyfikacja w pełni spełniła swoje zadanie.

3. Badania liniowości analizatora

Badania liniowości zostały przeprowadzone przy użyciu kilku gazów wzorcowych o stężeniach metanu w powietrzu kolejno:

- 521 ppm (0,0521 %) – gaz A
- 1,02 % - gaz B
- 5,47 % - gaz C
- 100 % - gaz D

W Tabeli 2 przedstawiono uzyskane wyniki. Dla gazu C zrealizowano dwa pomiary, dla dużego wzmocnienia i dla małego wzmocnienia, gdyż układ wzmacniacza przy dużym wzmocnieniu uległ przesterowaniu i nie pracował prawidłowo. Dla gazu D zrealizowano trzy pomiary ponieważ okazało się, że dla standardowych ustawień przepływów nie cały metan ulega spaleniemu ze względu na niedostatek tlenu. Po zwiększeniu przepływu powietrza okazało się, że przy tak wysokim przepływie powietrza płomień staje się niestabilny przy mniejszych stężeniach metanu. Z tego względu ostatni pomiar wykonano przy standardowym przepływie powietrza i zmniejszonym przepływie próbki.

Tabela 2 Wyniki badań liniowości analizatora

Gaz wzorcowy	Wzmocnienie	Wartość z przetwornika A/C	Odczyt z przetwornika po korekcie zera N	Przepływ w próbki	Przepływ w powietrza	Współczynnik kalibracyjny N/stężenie metanu [ppm]
gaz A	100	69 100	44 200	850	1250	84,84
gaz B	100	889 900	865 000	850	1250	84,80
gaz C	100	2 350 000	2 325 100	850	1250	42,51
gaz C	1	47 950	45 950	850	1250	84,00 (x)
gaz D	1	452 000	450 000	850	1250	45,00 (x)
gaz D	1	840 000	838 000	850	2500	83,80 (x)
gaz D	1	427 000	425 000	400	1250	90,31 (x)

(x) – wynik został pomnożony przez 100, aby skompensować zmianę wzmocnienia.

Koncepcja zmian mających na celu poprawę parametrów analizatora

Dla małych i bardzo małych stężeń gazu liniowość analizatora jest bardzo dobra i nie wymaga żadnych korekt. Natomiast dla średnich i dużych stężeń gazu, czyli dla 5,47% i 100% metanu nastąpiły dwa zjawiska, które mogą w niekorzystny sposób wpływać na liniowość i dokładność pomiaru. Po pierwsze konieczna jest zmiana wzmocnienia wzmacniacza elektrometrycznego. Zmiana ta musi zostać uwzględniona przy obliczaniu mierzonego stężenia gazu wejściowego. Teoretycznie wzmocnienie zarówno przy pracy z dużym wzmocnieniem, jak i przy pracy z małym wzmocnieniem jest znane, jednak możliwy błąd wzmocnienia wymusza konieczność wprowadzenia dodatkowej kalibracji wzmocnienia. Drugie źródło dodatkowego błędu leży w konieczności zmiany przepływu próbki, lub powietrza przy bardzo wysokich stężeniach metanu w mierzonej próbce. Zmiana przepływu powietrza powoduje zmianę punktu pracy detektora FID. Co prawda pętla autozerowania skoryguje ten błąd, jednak wymaga to długiego czasu. Natomiast zmiana przepływu próbki związana jest z błędem wynikającym z nieliniowości regulatora przepływu. Uwzględniając przewidywane problemy zaplanowano zmiany w dwóch grupach, zmiany w cyklu pracy i zmiany w kalibracji.

4.1. Zmiany w cyklu pracy

Cały zakres pomiarowy podzielony zostanie na kilka podzakresów:

- zakres 1 - bardzo małe gazy poniżej 100ppm – ustawione duże wzmocnienie, włączona funkcja autozerowania, zwiększony czas uśredniania filtru metanu,
- zakres 2 - małe gazy od 100ppm do 1000ppm – ustawione duże wzmocnienie, włączona funkcja autozerowania, normalny czas uśredniania filtru metanu,
- zakres 3 - średnie gazy od 1000ppm do 1,5% - ustawione duże wzmocnienie, wyłączona funkcja autozerowania, normalny czas uśredniania filtru metanu,
- zakres 4 - duże gazy od 1,5% do 40% - ustawione małe wzmocnienie, wyłączona funkcja autozerowania, normalny czas uśredniania filtru metanu,
- zakres 5 - bardzo duże gazy – powyżej 40% - ustawione małe wzmocnienie, wyłączona funkcja autozerowania, normalny czas uśredniania filtru metanu, zmniejszony przepływ próbki gazu.

Przejścia pomiędzy poszczególnymi zakresami pracy będą zachodziły z histerezą, która zabezpieczy przyrząd przed niestabilną pracą.

4.2. Zmiany w kalibracji

Pełna kalibracja analizatora gazów będzie przebiegać w pełni automatycznie i będzie obejmować kilka szczegółowych zadań kalibracyjnych:

- kalibracja regulatora przepływu – zostanie zdjęta kilkupunktowa zależność pomiędzy nastawą regulatora, a wskazaniem poziomu mierzonego metanu, charakterystyka ta będzie używana podczas procedury autozerowania, oraz przy pracy z bardzo dużymi gazami, gdy zostaje zmniejszony przepływ próbki,
- kalibracja zera dla dużego wzmocnienia – zostanie wyznaczony punkt zerowy, od którego będzie rozpoczynała pracę procedura autozerowania,

- kalibracja gazu dla dużego wzmocnienia – zostanie wyznaczony punkt wyznaczający zależność odczytu z przetwornika A/C od stężenia mierzonego gazu, konieczne będzie ręczne wpisanie stężenia gazu kalibracyjnego,

- kalibracja zera dla małego wzmocnienia – zostanie wyznaczony punkt kalibracyjny dla powietrza jako gazu wejściowego analizatora, punkt ten ze względu na niską czułość wzmacniacza nie będzie korygowany podczas procedury autozerowania.

- kalibracja gazu dla małego wzmocnienia – będzie przebiegać analogicznie do kalibracji dla dużego wzmocnienia.

Będzie możliwe również uruchomienie poszczególnych punktów kalibracji osobno, ale tylko w przypadku, gdy wcześniej została już wykonana pełna procedura kalibracyjna.

4. Badania sprawdzające wpływ wprowadzonych zmian

5.1. Badanie zmian cyklu pracy

Badanie polegało na sztucznym symulowaniu warunków pracy w poszczególnych zakresach, oraz wymuszaniu warunków powodujących przejścia pomiędzy poszczególnymi zakresami. Przełączanie pomiędzy poszczególnymi zakresami uzyskiwano poprzez zmiany przepływu próbki, tak aby wskazanie zbliżyć do progu przełączania, a następnie poprzez zmianę stałych kalibracyjnych wymuszano przełączenie. Poniżej wyniki przeprowadzonych badań:

- zakres 1 – praca na czystym powietrzu bez metanu, uzyskano poziom szumów na poziomie 0,3ppm peak-to-peak, czas reakcji wydłużył się do około 20 sekund

- przełączanie z zakresu 1 na 2 – nie stwierdzono nieprawidłowych reakcji, wynik w pełni stabilny

- przełączanie z zakresu 2 na 1 – nie stwierdzono nieprawidłowych reakcji, wynik w pełni stabilny

- zakres 2 – czas reakcji około 4 sekund, poziom szumu 2ppm peak-to-peak, czyli mniej niż 1% odchylenia od wartości średniej

- przełączanie z zakresu 2 na 3 – nie stwierdzono nieprawidłowych reakcji, wynik w pełni stabilny

- przełączanie z zakresu 3 na 2 – nie stwierdzono nieprawidłowych reakcji, wynik w pełni stabilny

- zakres 3 – czas reakcji około 4 sekund, poziom szumu 2ppm peak-to-peak, czyli mniej niż 1% odchylenia od wartości średniej

- przełączanie z zakresu 3 na 4 – nastąpiła zmiana wskazania o +0,47%, przełączenie stabilne

- przełączanie z zakresu 4 na 3 – nastąpiła zmiana wskazania o -0,48%, przełączenie stabilne

- zakres 4 – czas reakcji około 6 sekund, poziom szumu 80ppm peak-to-peak, czyli mniej niż 1% odchylenia od wartości średniej

- przełączanie z zakresu 4 na 5 – następuje dodatni pik wskazania gazu związany z przełączeniem przepływu próbki i uwzględnieniem przepływu próbki w obliczeniu stężenia mierzonego gazu

- przełączanie z zakresu 5 na 4 – następuje ujemny pik wskazania gazu związany z przełączeniem przepływu próbki i uwzględnieniem przepływu próbki w obliczeniu stężenia mierzonego gazu

- zakres 5 – czas reakcji około 6 sekund, poziom szumu 150ppm peak-to-peak, czyli mniej niż 1% odchylenia od wartości średniej

Zauważyć można, że wprowadzone zmiany dały bardzo dobre rezultaty. Niekorzystny efekt związany ze zmianą wzmocnienia jest wystarczająco niski, aby można go było pominąć. Natomiast szkodliwe piki powstające przy przełączaniu pomiędzy zakresami 4 i 5 należy usunąć stosując obróbkę cyfrową. Ponieważ regulacja jest taka sama jak przy funkcji autozerowania zostały zastosowane filtry używane przy tej funkcji. Powtórne badanie potwierdziło prawidłowość koncepcji, zamiast pików uzyskano jedynie niewielkie zafalowania trwające kilka sekund.

5.1. Badanie zmian kalibracji

- kalibracja regulatora przepływu – początkowo planowana była kalibracja polegająca na zdjęciu charakterystyki, a następnie aproksymacji pośrednich wartości, w trakcie testów okazało się, że nadmiernie skomplikowana procedura aproksymacji nie działa zbyt precyzyjnie, z tego względu kalibracja regulatora przepływu została dołączona do kalibracji gazu dla małego wzmocnienia, która została zmodyfikowana

- kalibracja zera dla dużego wzmocnienia – procedura została zaimplementowana i działa prawidłowo,

- kalibracja gazu dla dużego wzmocnienia – procedura została zaimplementowana i działa prawidłowo,

- kalibracja zera dla małego wzmocnienia – procedura została zaimplementowana i działa prawidłowo,

- kalibracja gazu dla małego wzmocnienia – procedura została zmodyfikowana, zamiast kalibracji dla ustawionego przepływu próbki wprowadzona została kalibracja dla dwóch przepływów próbki, pierwsza dla przepływu normalnego ustawionego dla zakresów pomiarowych od 1 do 4, oraz druga dla zmniejszonego przepływu próbki ustawionego dla zakresu 5, wprowadzone zmiany przyniosły właściwy efekt, czyli eliminację błędu związanego ze zmianą przepływu próbki.

W ramach prac konstrukcyjnych stworzono aplikację do sterowania i wizualizacji urządzenia mierzącego poziom gazów wybuchowych.

W ramach pracy przygotowano aplikację uruchamianą na tablecie pracującym pod kontrolą systemu operacyjnego Android. Tablet został sprzętowo dopasowany jako integralny element urządzenia TotalGas do pomiaru zawartości metanu w przepływającym gazie.

Wykorzystanie tabletu jako HMI (Human-Machine Interface) wymagało niestandardowych przeróbek programistycznych nie tylko na poziomie API Androida, ale też na poziomie systemu operacyjnego pod kontrolą którego pracuje sam Android – Linuxa. Wymieniono grafiki i animacje startowe. Zostały one przygotowane i wgrane w odpowiedni sposób poprzez zmianą obrazu partycji startowej.

