

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

9. Dokumentacja systemu kontroli warunków pogodowych (zewnętrznych) i zanieczyszczeń D_1/2/2021g

I. Koncepcja i projekt układu analizy warunków pogodowych. Wykonanie i badania prototypu.

1. Koncepcja układu analizy warunków pogodowych

Podczas prac na terenie wiertni stacja pogodowa może spełniać wiele przydatnych funkcji. Przede wszystkim jest to informacja o kierunku i sile wiatru, co pozwala na określenie kierunku ewakuacji w przypadku pojawienia się niebezpiecznego gazu jak metan czy siarkowodór. Poza tym inne parametry stanu pogodowego mogą w istotny sposób wpływać na prowadzone prace. Dla przykładu wysokie nasłonecznienie może niekorzystnie wpływać na widoczność flary, niska lub wysoka temperatura może wpływać na prowadzone prace. Z tego powodu zaplanowany został układ analizy warunków pogodowych obejmujący pomiar jak największej ilości parametrów.

Z reguły urządzenie pracujące w obrębie wiertni muszą posiadać certyfikat ATEX, aby taki certyfikat uzyskać urządzenie musi mieć specjalną konstrukcję, która gwarantuje, że urządzenie nie stanie się przyczyną wybuchu, oraz przejść szereg badań, które to sprawdzają. Powoduje to znaczący wzrost kosztów urządzenia. Ponieważ warunki pogodowe na wiertni i w jej otoczeniu będą takie same, należy zaplanować, że układ pracować będzie w pewnym oddaleniu od wiertni. Dzięki temu certyfikacja ATEX nie będzie konieczna. Komunikacja z systemem pomiarowym, w zależności od potrzeb, może odbywać się przewodowo i wówczas jednocześnie zapewnia się zasilanie układu, jak i bezprzewodowo, i wówczas układ musi posiadać własne zasilanie pozwalające na co najmniej kilkadziesiąt godzin bezobsługowej pracy. Dodatkowo należy przewidzieć możliwość podłączenia dodatkowego źródła zasilania w postaci akumulatora lub źródła przetwarzającego energię odnawialną np. niewielkiej turbiny wiatrowej, lub panelu słonecznego.

1.1. Lista mierzonych parametrów

Docelowo zaplanowany został pomiar następujących parametrów powietrza lub pogodowych:

- temperatura powietrza
- wilgotność względna powietrza
- ciśnienie powietrza
- siła wiatru
- kierunek wiatru
- zapylenie
- natężenie światła (nasłonecznienie)
- opady

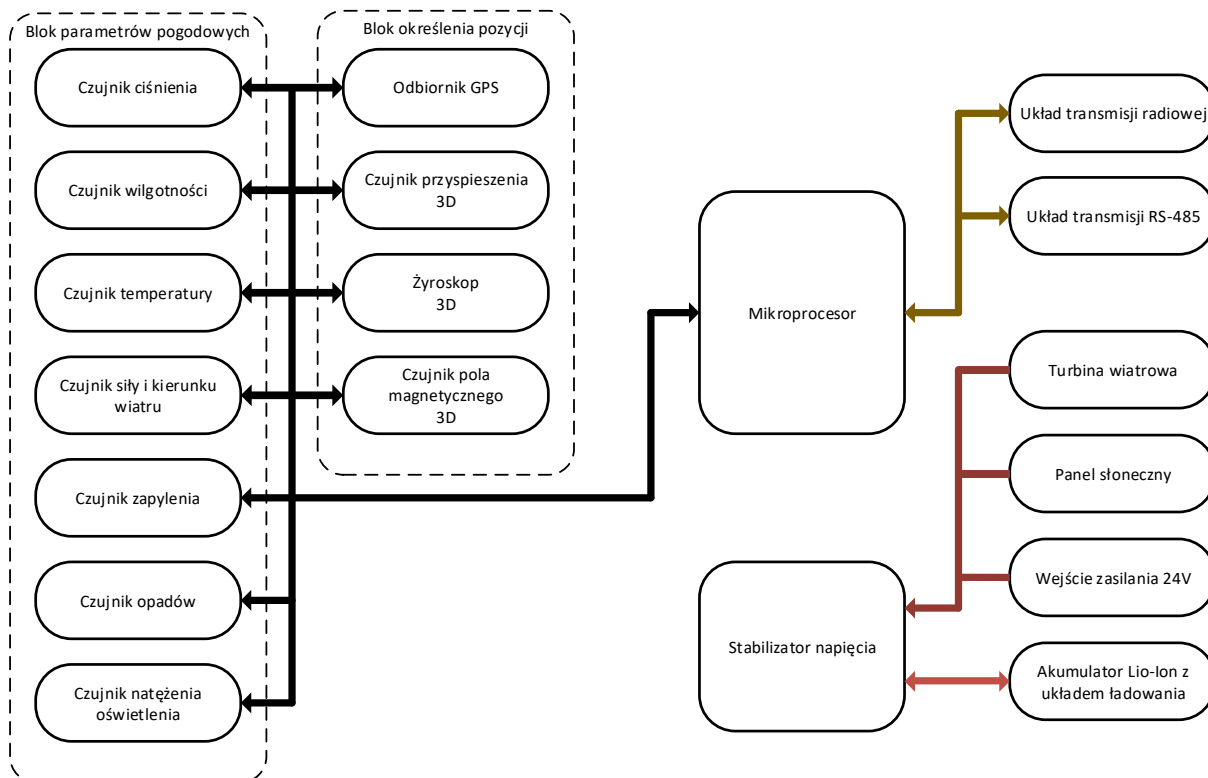
Ponadto ze względu na to, że układ analizy warunków pogodowych może pracować w oddaleniu od obsługi wyposażony, w dodatku bezprzewodowo, zostanie w zestaw pomiarów, które będą pozwalały na dokładne określenie pozycji i ruchu:

- odbiornik GPS

- trzyosiowy czujnik przyspieszenia MEMS
- trzyosiowy żyroskop MEMS
- trzyosiowy czujnik pola magnetycznego

1.2. Schemat blokowy planowanego układu analizy warunków pogodowych

Na Rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy opracowanej koncepcji układu analizy warunków pogodowych.



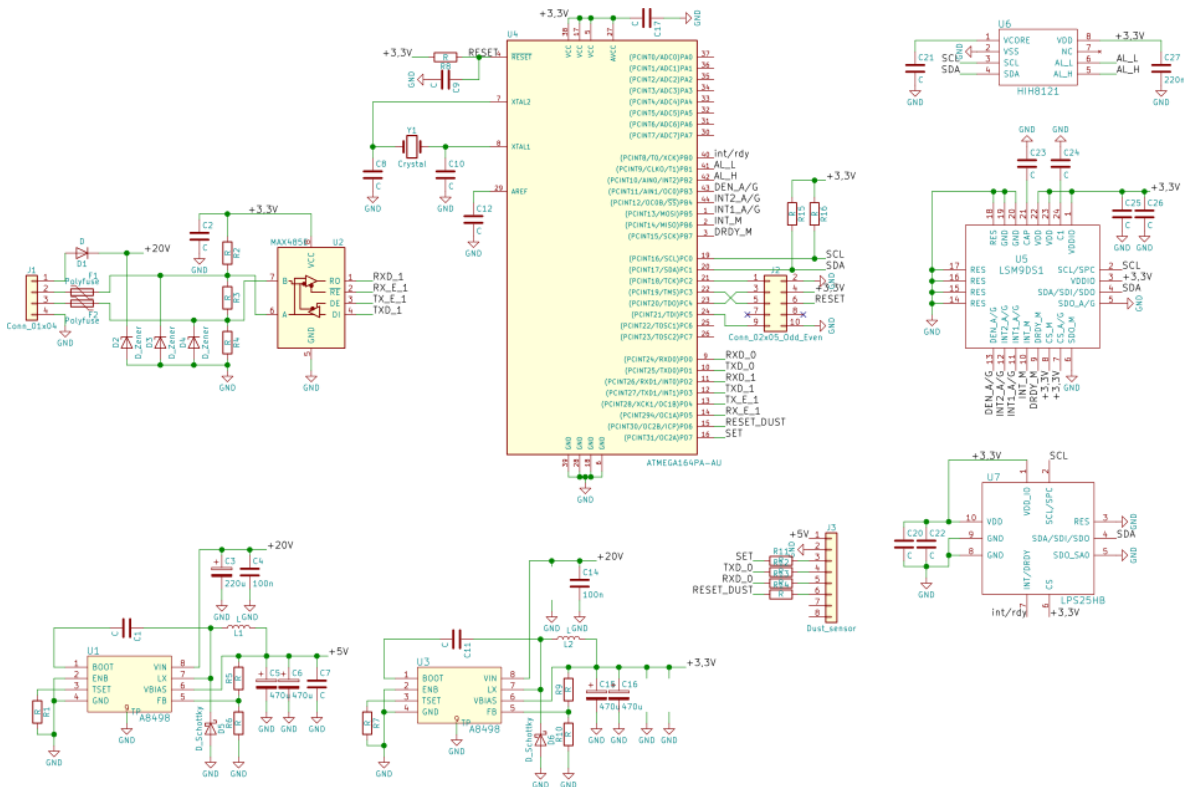
Rysunek 1 Schemat blokowy układu analizy warunków pogodowych

2. Projekt układu analizy warunków pogodowych

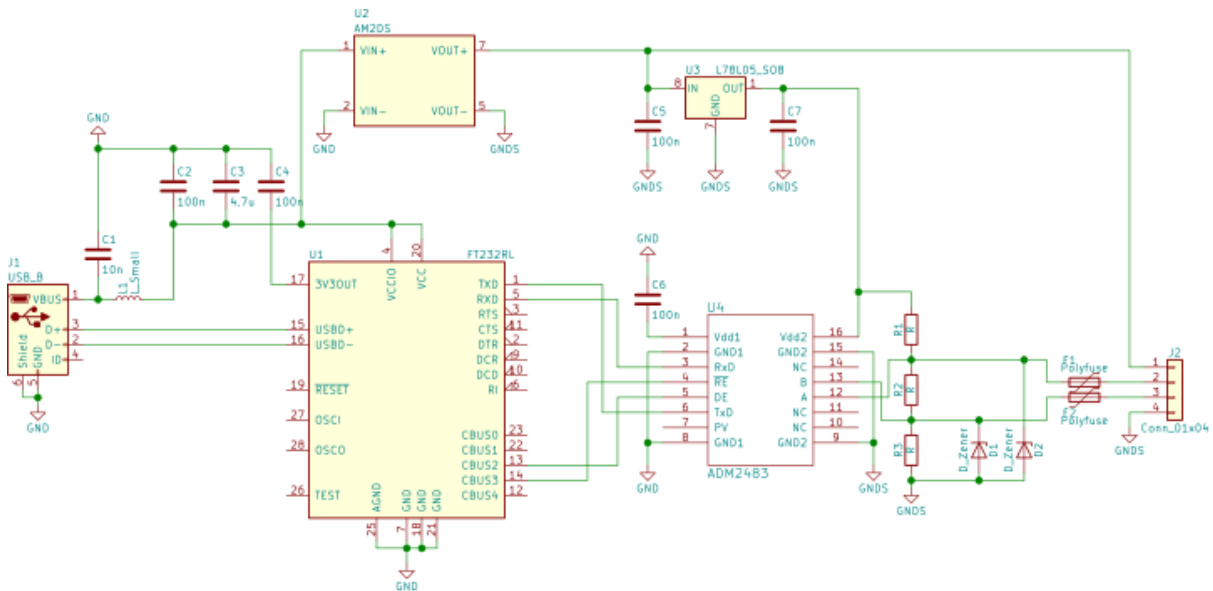
W celu zbadania koncepcji układu analizy warunków pogodowych zaprojektowany został układ testowy wyposażony w następujące pomiary:

- temperatura powietrza
- wilgotność powietrza
- ciśnienie powietrza
- zapylenie powietrza
- trzyosiowy czujnik przyspieszenia MEMS
- trzyosiowy żyroskop MEMS
- trzyosiowy czujnik pola magnetycznego

Na rysunku 2 przedstawiono schemat układu testowego. Układ testowy posiada interfejs komunikacyjny RS-485. Na rysunku 3 przedstawiono schemat przejściówki pozwalającej podłączyć układ testowy do komputera poprzez port USB.



Rysunek 2 Schemat testowego układu analizy warunków pogodowych



Rysunek 3 Schemat układu komunikacyjnego RS-485 - USB

Dodatkowo niezależnie opracowano układ geopozycjonujący GPS z zasilaniem bateryjnym komunikujący się bezprzewodowo. Na rysunku 4 przedstawiono schemat układu.

3. Badania prototypu układu analizy warunków pogodowych

Do przeprowadzenia badań prototypu układu analizy warunków pogodowych niezbędne było napisanie niewielkiego programu, który wyświetla podstawowe parametry i umożliwia zapisanie wszystkich parametrów w pliku w celu ewentualnej późniejszej analizy. Na Rysunku 5 przedstawiono okno przygotowanego programu. Pomiary temperatury porównywane były ze wskazaniami termometru rtęciowego, pomiary ciśnienia porównywane były ze wskazaniami miernika ciśnienia absolutnego MPX5100. Pomiary wilgotności weryfikowane były przy użyciu wodnych kąpiel z chlorkiem sodu i chlorkiem magnezu, które zapewniają wilgotność względną na poziomie odpowiednio 75% i 33%.

Początkowo układ uruchomiono w obudowie z niewielkimi otworami wentylacyjnymi o średnicy 1mm. Szybko okazało się, że układ w takiej obudowie bardzo wolno reaguje na zmiany wilgotności i temperatury, oraz po kilku godzinach zawyża wskazania temperatury.

Następnie otwory w obudowie zostały powiększone do 5mm i przeprowadzone zostały kolejne porównania. Wskazania zawierały się w granicach błędu pomiarowego: błąd temperatury wyniósł poniżej 0,25 °C, błąd wskazań ciśnienia nie przekraczał 3hPa, błąd wskazań wilgotności wyniósł mniej niż 2%.

Sprawdzony został wpływ wentylatora znajdującego się w mierniku zapylenia na wskazania miernika ciśnienia. Dzięki temu, że wentylator umieszczony został zupełnie poza obudową nie zaobserwowano wpływu pracy wentylatora na wskazania czujnika ciśnienia.

Nie było możliwości sprawdzenia działania miernika zanieczyszczeń pod względem ilościowym ze względu na brak wzorca. Sprawdzono działanie pod względem jakościowym. W zamkniętym pomieszczeniu wskazania przyrządu nie przekraczały kilku $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wyniesienie układu w pobliże ruchliwej ulicy spowodowało znaczący wzrost wskazań do około $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. Zbliżenie miernika do rury wydechowej silnika diesla spowodowało przekroczenie zakresu pomiarowego. Zależności pomiędzy poszczególnymi wskazaniami były prawidłowe, czyli pomiar $\text{PM}_{2,5}$ był większy od PM_{10} .

Do prac wykorzystano czujnik wiatru Davis Anemometer 6410, opis przyrządu znajduje się w opracowaniu {12}

Na potrzeby projektu skonstruowano laserowy przyrząd do pomiaru zapylenia typ 88.A.01. opis przyrządu znajduje się w opracowaniu {12}



Rys. 4 Widok stacji pogodowej

II. Modyfikacja projektu stacji pogodowej.

Wykonanie docelowego układu stacji pogodowej wyposażonego w hybrydowy układ transmisji danych pomiarowych.

Realizacja i sprawdzenie kanału transmisji danych ze stacji pogodowej do informatycznego systemu pomiarowego.
Testy i analiza statystyczna poziomu błędów podczas transmisji danych pomiarowych z poszczególnych elementów systemu pomiarowego.

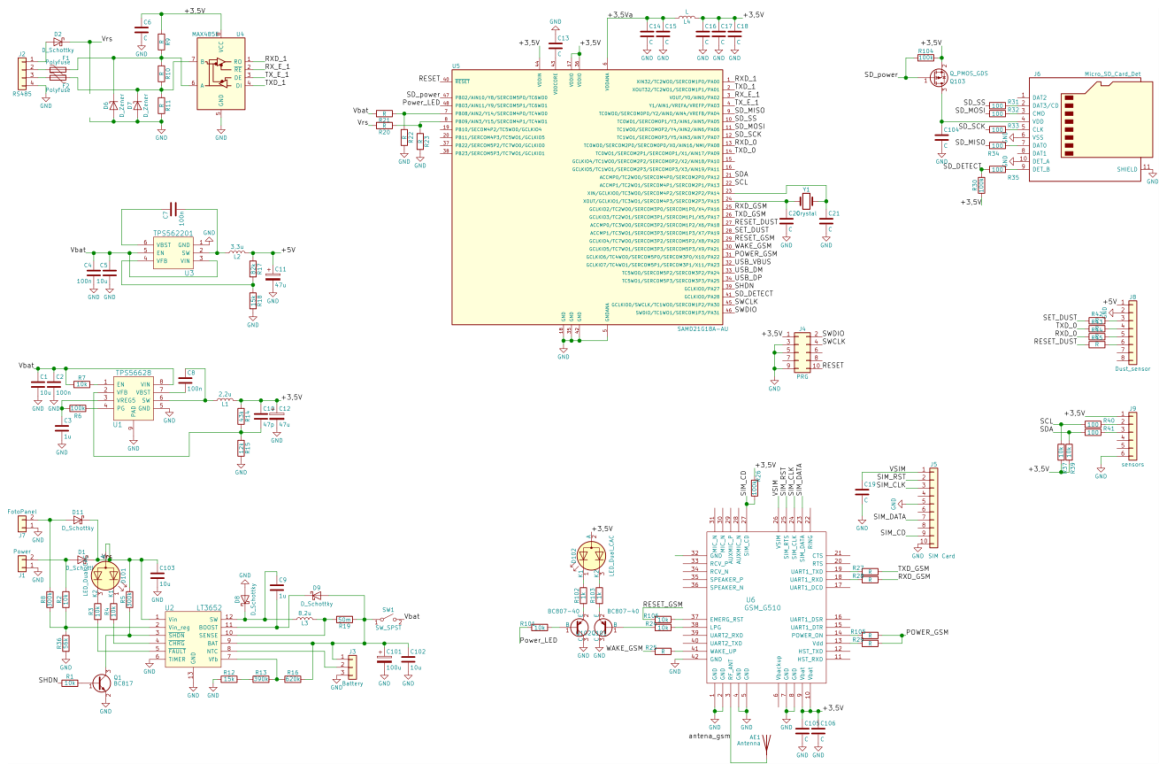
1. Modyfikacja projektu stacji pogodowej

Stacja pogodowa w wersji testowej spełniła swoje zadanie. Niemniej jednak zauważone zostało kilka rzeczy, które należało koniecznie skorygować:

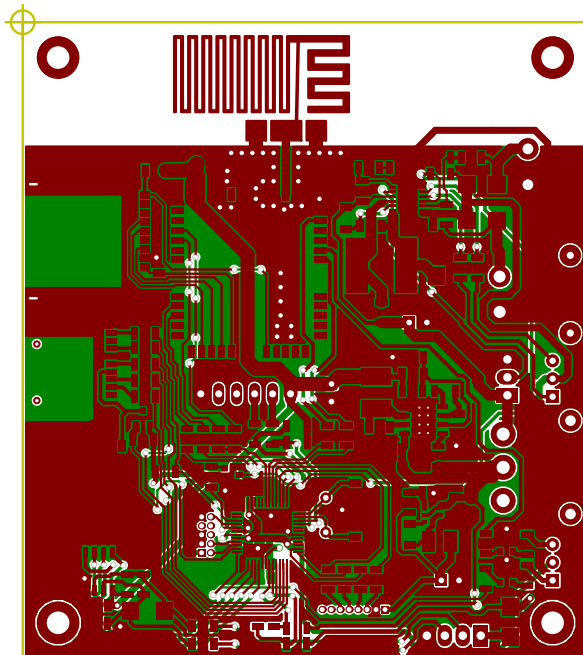
- należało dodać moduł transmisji bezprzewodowej
- obudowa była zbyt szczelna, co powodowało niewłaściwą pracę czujników ciśnienia i wilgotności
- nagrzewanie się elektroniki powodowało wzrost temperatury, co jednocześnie zaburzało pracę czujnika wilgotności
- czujniki ciśnienia, temperatury i wilgotności powinny zostać umieszczone w dobrze wentylowanej komorze, jednocześnie komora ta powinna zabezpieczać czujniki mechanicznie i przed opadami deszczu.

Aby wszystkie powyższe punkty zostały spełnione zostanie stworzona specjalna obudowa zoptymalizowana pod kątem zastosowania w stacji pogodowej. Jednocześnie zmodyfikowany zostanie projekt elektroniki w taki sposób, aby dopasować wymiary PCB do obudowy, jednocześnie czujniki zostaną przeniesione na drugą dodatkową płytkę PCB, aby jednocześnie zminimalizować wpływ elektroniki zawierającej mikroprocesor, sekcję zasilającą i interfejsy na pracę czujników, oraz zapewnić lepsze zabezpieczenie elektroniki, która nie musi być wystawiona na działanie warunków pogodowych.

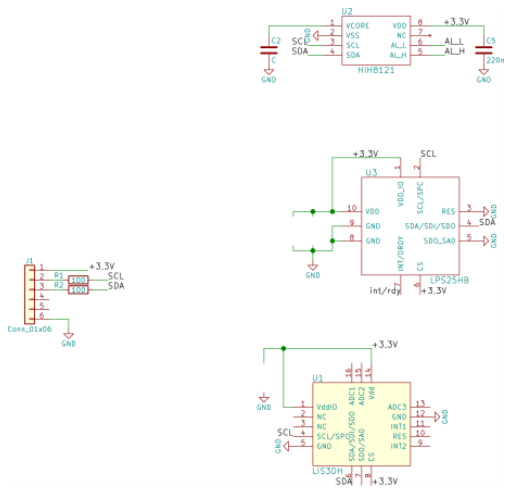
Poniżej przedstawiono schematy i projekty płytek stacji pogodowej.



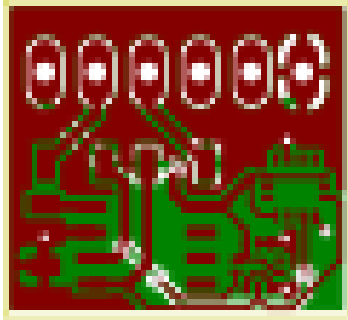
Rysunek 4 Schemat płytki głównej stacji pogodowej.



Rysunek 5 Projekt PCB płytki głównej stacji pogodowej.



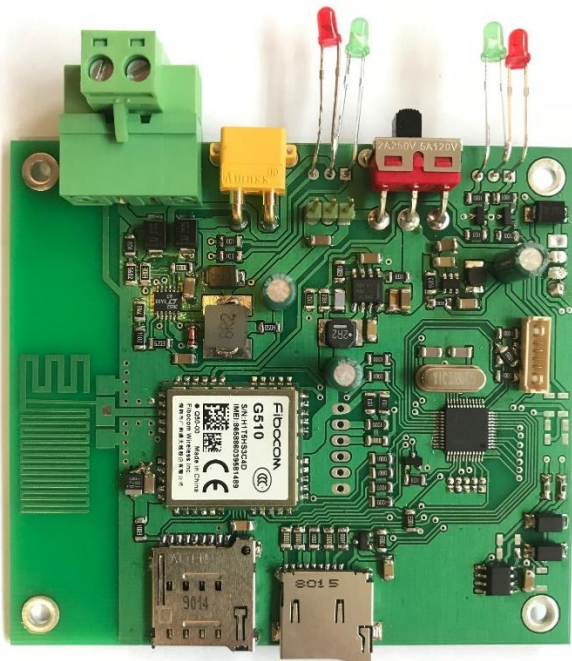
Rysunek 6 Schemat czujników stacji pogodowej.



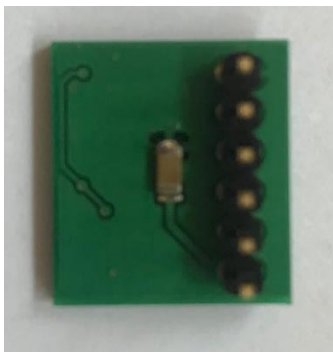
Rysunek 7 Projekt płytki czujników stacji pogodowej.

2. Wykonanie docelowego układu stacji pogodowej wyposażonego w hybrydowy układ transmisji danych pomiarowych

Poniżej przedstawiono zdjęcia wykonanych układów stacji pogodowej.



Rysunek 8 Płytką główną stacji pogodowej.

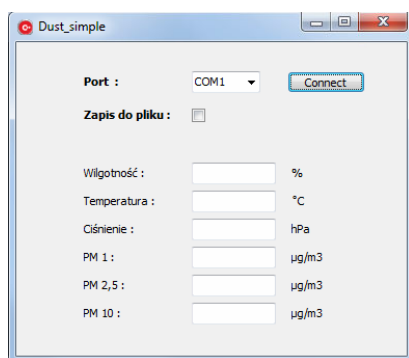


Rysunek 9 Płytki czujnikowej stacji pogodowej.

3. Realizacja i sprawdzenie kanału transmisji danych ze stacji pogodowej do informatycznego systemu pomiarowego

W przypadku stacji pogodowej należy niezależnie sprawdzić dwa kanały transmisji. Pierwszym jest interfejs RS-485. Do połączenia komputera online ze stacją pogodową użyto izolowanej przejściówki USB-RS485. Przejściówka po podłączeniu zgłosiła się w systemie jako port szeregowy ttyUSB0. Następnie oprogramowanie na komputerze online zostało skonfigurowane do transmisji z wykorzystaniem podłączonego interfejsu. Pozwoliło to na uzyskanie transmisji. Modyfikacja oprogramowania pracującego na komputerze online pozwoliła na prawidłowy odczyt wszystkich parametrów ze stacji pogodowej.

Następnie należało uruchomić i sprawdzić transmisję korzystającą z systemu LoRa. Do komputera podłączony został wspomniany we wcześniejszym opracowaniu układ SparkFun RF Pro. Układ ten w konfiguracji testowej zgłosił się w systemie jako ttyUSB1. Oznaczało to, że podobnie jak w przypadku połączenia poprzez RS-485 z punktu widzenia systemu operacyjnego mamy do czynienia z portem szeregowym. Rozwiązanie takie pozwala na uproszczenie i jednoczesną uniwersalność oprogramowania pracującego na komputerze online. Aby wykorzystać ten fakt, w układzie RF Pro nie dokonano żadnych zmian dotyczących konfiguracji interfejsu USB. Jednocześnie cały proces kodowania i dekodowania danych na potrzeby bezpiecznej transmisji radiowej zawarty został w podprogramie procesora stacji pogodowej, oraz w procesorze układu RF Pro. Dzięki temu otrzymano transmisję radiową jako transparentną pomiędzy głównym programem procesora stacji pogodowej, a komputerem online. Po uruchomieniu całości oprogramowania konieczne było usunięcie niewielkich błędów oprogramowania, po czym uzyskano prawidłową transmisję danych ze stacji pogodowej do komputera online. Jednocześnie zgodnie z zamierzeniem przełączenie pomiędzy interfejsem przewodowym i bezprzewodowym może następować bardzo łatwo i szybko jedynie przez zmianę urządzenia służącego do komunikacji. Jako dodatkową korzyść można potraktować, że oba interfejsy niezależnie od siebie mogą pracować równolegle, a system może odczytywać dane korzystając z dowolnego z nich.



Rysunek 10 Wygląd okna programu do komunikacji z układem testowym

Przeprowadzone badania pozwoliły na uzyskanie następujących wniosków:

- Układ powinien być zamknięty w obudowie z dobrą wentylacją, przy czym nie może zostać zastosowana wentylacja wymuszona, gdyż może to zaburzać wskazania miernika ciśnienia, powoduje

to, że konstrukcja obudowy jest niezwykle istotna, z jednej strony obudowa musi zapewnić zabezpieczenie elektroniki przed warunkami atmosferycznymi, w szczególności przed deszczem, z drugiej powinien zostać zapewniony jak najbardziej naturalny przewiew powietrza, należy jeszcze zwrócić uwagę na to, żeby przepływ powietrza wymuszony wiatrem nie powodował lokalnych wzrostów, lub spadków ciśnienia, które mogłyby wpływać na pracę czujnika ciśnienia.

- Układ od strony elektronicznej zaprojektowany został prawidłowo, wskazania były właściwe, należy jednak zwrócić uwagę na zużycie energii, gdyż układ może być zasilany bateryjnie.

1. Opracowanie koncepcji bezprzewodowej transmisji danych pomiarowych

Istnieje wiele sprawdzonych systemów i protokołów służących do transmisji danych za pomocą fal radiowych. Opracowanie nowego, niezawodnego systemu bądź protokołu wymaga wielu testów powiązanych z szerokim zapleczem sprzętowym i pomiarowym i znacznie wykracza poza zakres projektu. Z tego względu należy skorzystać z gotowego rozwiązania wybierając to, które najlepiej spełni wszystkie wymagania.

Na początek należy sformułować wymagania. Transmisja bezprzewodowa w systemie pomiarowym przewidziana jest w dwóch różnych zastosowaniach: do przesyłania danych pomiędzy wyniesionym systemem pomiarowym, a komputerem online oraz do przesyłania danych pomiędzy stacją monitorowania parametrów powietrza, a komputerem online.

1.1 Wymagania dla transmisji bezprzewodowej pomiędzy wyniesionym systemem pomiarowym, a komputerem online

- zasięg do 100m
- możliwość pracy w strefie zagrożonej wybuchem, preferowane gotowe rozwiązanie
- transmisja dwukierunkowa
- minimalna szybkość transmisji 10kB/s
- preferowana minimalna szybkość transmisji 1MB/s
- transmisja kodowana
- możliwość dostępu serwisowego
- możliwość połączenia przewodowego

1.2 Wymagania dla transmisji bezprzewodowej pomiędzy stacją monitorowania parametrów powietrza, a komputerem online

- zasięg do 300m
- transmisja dwukierunkowa
- minimalna szybkość transmisji 1kB/s
- preferowana minimalna szybkość transmisji 10k/s
- transmisja kodowana
- możliwość połączenia przewodowego
- niski pobór energii
- prosta obsługa programowa

2. Wybór protokołu transmisji

Rozważane były następujące systemy transmisji bezprzewodowej:

- transceivery 433MHz lub 866MHz
- Wi-Fi 2,4GHz lub 5GHz
- Bluetooth, w tym BLE
- LoRa
- ZigBee

2.1 Transceivery 433MHz/866MHz

Transceivery posiadają następujące parametry lub właściwości:

- pobór mocy około 100mW
- możliwość łatwego zaimplementowania własnego protokołu transmisji
- możliwość transmisji kodowanej
- maksymalna szybkość transmisji do 30kB/s
- praktyczny zasięg 30m, po zastosowaniu anten kierunkowych 3km
- brak znalezionych rozwiązań z certyfikatem ATEX
- brak możliwości bezpośredniego zastąpienia połączeniem przewodowym
- transmisja dwukierunkowa half-duplex

2.2 Wi-Fi

Układy Wi-Fi posiadają następujące parametry lub właściwości:

- pobór mocy do 2W
- możliwość transmisji kodowanej, w tym możliwość podniesienia poziomu bezpieczeństwa kodowania
- maksymalna szybkość transmisji do 64MB/s
- praktyczny zasięg 30m, po zastosowaniu anten kierunkowych 3km
- istnieją rozwiązania z certyfikatem ATEX
- łatwa obsługa programowa z poziomu komputera
- możliwość zastąpienia modemu Wi-Fi skrętką Ethernet

2.3 Bluetooth, w tym BLE

Bluetooth posiada następujące parametry lub właściwości:

- pobór mocy do 1W, 100mW w przypadku BLE
- pasmo transmisji 2,4GHz
- możliwość transmisji kodowanej, brak wpływu na kodowanie
- maksymalna szybkość transmisji do 50MB/s, 2MB w przypadku BLE
- praktyczny zasięg 140m
- istnieją rozwiązania z certyfikatem ATEX
- stosunkowo łatwa obsługa programowa z poziomu komputera
- brak możliwości bezpośredniego zastąpienia połączeniem przewodowym

2.4 LoRa

LoRa posiada następujące parametry lub właściwości:

- pobór mocy do 100mW

- pasmo transmisji 433MHz, 866MHz, 2,4GHz
- możliwość transmisji kodowanej, z możliwością wpływania na poziom kodowania
- maksymalna szybkość transmisji do 37,5 kB/s
- praktyczny zasięg 15km
- brak znalezionych rozwiązań z certyfikatem ATEX
- stosunkowo łatwa obsługa programowa
- brak możliwości bezpośredniego zastąpienia połączeniem przewodowym

2.5 ZigBee

Bluetooth posiada następujące parametry lub właściwości:

- pobór mocy do 300mW
- możliwość transmisji kodowanej
- maksymalna szybkość transmisji do 250 kB/s
- praktyczny zasięg 100m
- istnieją rozwiązania z certyfikatem ATEX
- skomplikowana obsługa programowa wymagająca zaimplementowania programowego stosu protokołu, lub korzystania z
- brak możliwości bezpośredniego zastąpienia połączeniem przewodowym

2.6 Wybór protokołu transmisji bezprzewodowej pomiędzy wyniesionym systemem pomiarowym, a komputerem online

Spośród wymienionych protokołów do transmisji bezprzewodowej pomiędzy wyniesionym systemem pomiarowym, a komputerem online wybrano Wi-Fi, gdyż żaden z pozostałych protokołów nie spełniał wszystkich wymagań.

Decydujące były następujące kryteria:

- istniejące łatwo dostępne gotowe rozwiązania z certyfikatem ATEX
- szybkość transmisji znacząco przekraczający wymagania
- wystarczający zasięg
- możliwość łatwego zastąpienia połączeniem przewodowym.

2.7 Wybór protokołu transmisji bezprzewodowej pomiędzy stacją monitorowania parametrów powietrza, a komputerem online

W tym przypadku wybór był znacząco trudniejszy niż w przypadku punktu 2.6, gdyż żaden z protokołów nie spełniał wszystkich wymagań. Ze względu na wymaganie niskiego poboru energii pod uwagę brane było zastosowanie transceiverów, BLE, LoRa, oraz ZigBee.

Protokół ZigBee został wyeliminowany ze względu na stosunkowo skomplikowaną obsługę z poziomu mikroprocesora pracującego bez systemu operacyjnego oraz wyraźnie większy pobór energii od pozostałych wymienionych rozwiązań.

Zastosowanie transceiverów zostało wykluczone ze względu na stosunkowo niską odporność na zakłócenia zewnętrzne. Bardzo wiele powszechnie wykorzystywanych urządzeń takich jak piloty, alarmy, domofony itd. wykorzystuje takie rozwiązanie i mogą być one przyczyną zakłóceń. Dodatkowo sposób modulacji radiowej jest stosunkowo prosty i łatwy do zakłócenia.

BLE korzystające ze specyfikacji Bluetooth v5 oraz LoRa są nowoczesnymi rozwiązaniami korzystającymi z zaawansowanej modulacji radiowej i wysokim stopniu odporności na zakłócenia. Również pobór energii i stopień skomplikowania obsługi programowej są podobne. Różnice pojawiają się w maksymalnej szybkości transmisji, a co za tym idzie, możliwym zasięgu.

Ponieważ w tym przypadku wymagana szybkość transmisji jest bardzo niska, to wybrano LoRa, który zapewnia wystarczającą szybkość, a jednocześnie zapewnia znacząco większy zasięg, co

oznacza pewniejszą transmisję przy mniejszej odległości. Dodatkowym kryterium była możliwość pracy w różnych pasmach częstotliwości.

Jedynym niespełnionym kryterium w przypadku LoRa jest możliwość łatwego zastąpienia połączenia radiowego połączeniem przewodowym. Z tego względu konieczne jest uzupełnienie układu transmisji o dodatkowe połączenie przewodowe. Wybrany został protokół MODBUS RTU korzystający z interfejsu przemysłowego RS-485.

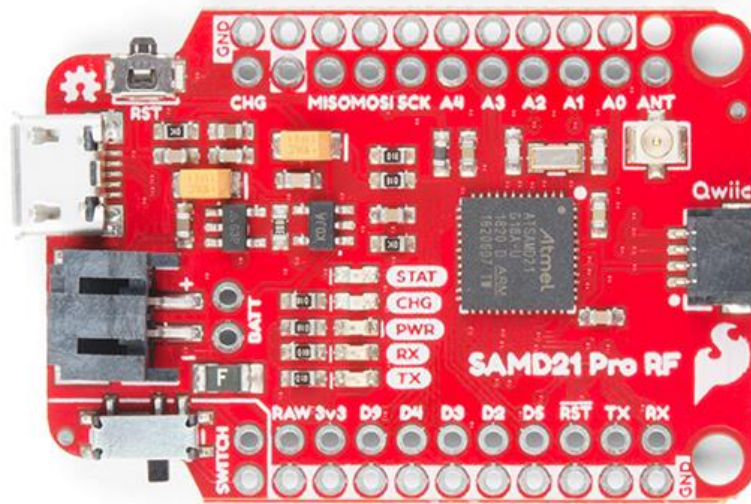
3. Implementacja wybranego protokołu transmisji, kontrola poprawności transmisji

W celu przyspieszenia implementacji protokołu LoRa, sprawdzenia transmisji i odporności na zakłócenia zastosowano gotowe moduły SparkFun Pro RF.

Moduły te oparte są na procesorze SAMD21G18 oraz transceiverze LoRa RF96 pracującym z częstotliwością 137-1020MHz, przy czym zastosowana implementacja przystosowana jest do pracy w zakresie 800-950MHz.

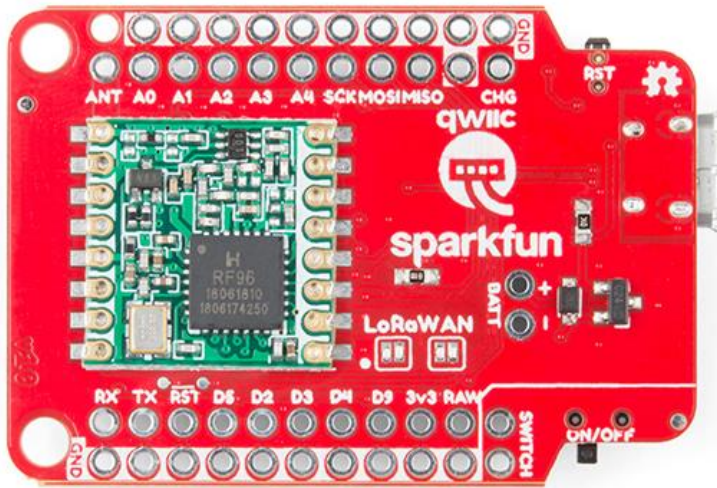
Moduły te posiadają interfejs USB, który umożliwia łatwe podłączenie do komputera lub innego urządzenia np. tabletu, a jednocześnie służy do zasilania modułu.

Poniżej przedstawiono fotografie zastosowanych modułów.



Rysunek 11 Moduł SparkFun Pro RF - widok z przodu

Do badań użyte zostały dwa moduły, na których uruchomione zostały programy testowe napisane



w środowisku ARDUINO. Działanie programów było następujące: co sekundę moduł 1 wysyłał ciąg znaków, moduł 2 miał za zadanie odebrać wysłany ciąg znaków i odesłać go z powrotem po zwiększeniu wartości każdego ze znaków o jeden. W obu przypadkach wysyłane ciągi wyposażono w sumę kontrolną. Obydwa moduły sygnalizowały fakt wysłania i odebrania ciągu miganiem diody, oraz wysłaniem odebranego/wysłanego ciągu znaków przez port USB. Dodatkowo przypadek odebrania

Rysunek 12 Moduł SparkFun Pro RF - widok z tyłu

ciągu znaków z niewłaściwą sumą kontrolną sygnalizowany był dodatkowym komunikatem.

Początkowo uzyskano zasięg rzędu centymetrów, po poprawieniu niewłaściwej konfiguracji modułów RF96 oraz dodaniu ćwierćfalowych anten prętowych w postaci przewodów o długości 8,7cm dostrojonych do częstotliwości 866MHz uzyskano zasięg przekraczający wielkość pomieszczenia, w którym odbywało się uruchomienie. Oznaczało to, że możliwe jest rozpoczęcie właściwych testów.

Pierwszy etap testów polegał na pozostawieniu pracujących modułów na kilkanaście minut z jednoczesną kontrolą poprawności wysyłanych i odbieranych ciągów. Okazało się, że podczas całego testu nie wystąpił żaden błąd.

Pozwoliło to na przejście do drugiego etapu testów, który polegał na tym, że moduł 2 pozostawiono w pomieszczeniu natomiast moduł 1 został podłączony do laptopa i całość została zabrana w celu praktycznego sprawdzenia zasięgu. Okazało się, że w warunkach miejskich praktyczny zasięg wynosi około dwóch kilometrów. Powyżej tej odległości zaczynały się pojawiać błędy transmisji.

Następnie przeprowadzono etap trzeciego testu, czy badanie odporności na zakłócenia. Do tego testu wykorzystane zostały: pilot pracujący na częstotliwości 433MHz, pilot pracujący na częstotliwości 866MHz oraz telefon komórkowy. Okazało się, że żaden z pilotów nie był w stanie zakłócić pracy układów LoRa, natomiast telefon komórkowy podczas aktywnego połączenia przyłożony bezpośrednio anteny modułu 1, lub modułu 2 spowodował całkowite zerwanie transmisji. Oddalenie telefonu od anteny powodowało przywrócenie transmisji. Zaznaczyć należy, że test wykonywany był przy oddaleniu modułów o około dwa kilometry. Test badania odporności na zakłócenia był kilkakrotnie powiarywany za pomocą telefonu komórkowego przy stopniowym zmniejszaniu odległości pomiędzy modułami. Po zmniejszeniu odległości do około jednego kilometra uzyskano ponowną transmisję, jednak obciążoną błędami. W odległości około 300 metrów telefon komórkowy przestał w widoczny sposób zakłócać transmisję pomiędzy modułami.