

KRZYSZTOF DĄBROWSKI
OE1KDA

SYSTEM LoRa
WYDANIE 4

WIEDEŃ 2026



© Krzysztof Dąbrowski OE1KDA
Wiedeń 2026

Opracowanie niniejsze może być rozpowszechniane i kopiowane na zasadach niekomercyjnych w dowolnej postaci (elektronicznej, drukowanej itp.) i na dowolnych nośnikach lub w sieciach komputerowych pod warunkiem nie dokonywania w nim żadnych zmian i nie usuwania nazwiska autora. Na tych samych warunkach dozwolone jest tłumaczenie na języki obce i rozpowszechnianie tych tłumaczeń.

Na rozpowszechnianie na innych zasadach konieczne jest uzyskanie pisemnej zgody autora.

System LoRa

Krzysztof Dąbrowski OE1KDA

Wydanie 4
Wiedeń, styczeń 2026

Spis treści

Wstęp	6
1. System LoRa z rozpraszaniem widma	7
1.1. Znaczenie parametrów transmisji	14
1.2. Rozwiązania stacji	17
1.2.1. Eksperymenty dla początkujących	22
1.2.2. Zdalnie sterowany przełącznik	25
1.3. LoRa APRS	27
1.4. „PicoAPRS LoRa”	33
1.5. Inne zastosowania modułów LoRa	34
1.6. Bramka między sieciami LoRaAPRS i APRS	35
2. Sieć systemu „LoRa MeshCom”	38
2.1. Przykładowe zastosowania sieci	41
2.2. Instalacja i uruchomienie oprogramowania	41
2.3. Androidowy program <i>MeshCom</i>	47
2.4. Wymiana komunikatów z innymi systemami	50
2.4.1. Komunikacja z klientami w protokole UDP	51
2.4.2. Skrzynka elektroniczna DB0SEP	53
2.5. Elementy dodatkowe	53
2.6. Zestaw poleceń	55
2.7. Aktywność	58
2.8. Czujniki telemetryczne	60
2.9. Serwer WEB	65
2.10. Aktualizacja oprogramowania w czasie bieżącej pracy	67
2.11. Koncepty sieci	68
3. „MeshCore” i inne sieci	71
3.1. Meshtastic	75
3.2. „Gaulix”	80
3.3. „Reticulum”	80
4. Odbiór satelitów „LoRa”	81
5. Próbnik połączeń „LoRa”	85
6. Analizator „LoRa”	87
Dodatek A. Instalacja <i>Pythona</i> i <i>ESPTOOL</i>	91
Dodatek B. Magistrala I2C	92
Dodatek C. Poprawka dla ciśnienia atmosferycznego	94
Dodatek D. Kieszonkowy terminal T-Deck	95
Literatura i adresy internetowe	98
Spis tomów „Biblioteki polskiego krótkofalowca”	101

Sommaire

Système LoRa

Préface	6
1. Système LoRa à spectre étalé	7
1.1. Les paramètres de LoRa et leurs relations	14
1.2. Constructions des postes	17
1.2.1. Expériences pour débutants	22
1.2.2. Interrupteur télécommandé	25
1.3. LoRa APRS	27
1.4. „PicoAPRS LoRa”	33
1.5. Autres applications des modules LoRa	34
1.6. Passerelle entre les réseaux LoraAPRS et APRS	35
2. Le réseau „LoRa MeshCom”	38
2.1. Exemples d'applications	41
2.2. Installation et démarrage de logiciel	41
2.3. Logiciel <i>MeshCom</i> pour Android	47
2.4. Échange de messages avec autres systèmes	50
2.4.1. Communication avec les clients via le protocole UDP	51
2.4.2. Le BBS DB0SEP	53
2.5. Accessoires supplémentaires	53
2.6. Jeu d'instructions	55
2.7. Activité	58
2.8. Capteurs de télémétrie	60
2.9. Le serveur WEB	65
2.10. Mise à jour logicielle par radio	67
2.11. Concepts de réseau	68
3. „MeshCore” et autres réseaux	71
3.1. Meshtastic	75
3.2. „Gaulix”	80
3.3. „Reticulum”	80
4. La réception des satellites „LoRa”	81
5. Testeur des liaisons „LoRa”	85
6. Analyseur des liaisons „LoRa”	87
Annexe A. Installation des logiciels <i>Python</i> et <i>ESPTOOL</i>	91
Annexe B. Le bus I2C	92
Annexe C. Correction de la pression atmosphérique	94
Annexe D. Terminal de poche T-Deck	95
Bibliographie et les pages web	98
Liste des volumes de la „Bibliothèque de radioamateur polonais”	101

Wstęp

Tematem aktualnym i w coraz większym stopniu zyskującym na znaczeniu nie tylko w krótkofalarstwie jest radiowy system nadawania danych oparty o transmisję z rozpraszaniem widma sygnału – *LoRa*. Jest on wykorzystywany m.in. do transmisji danych telemetrycznych albo do komunikacji w lokalnych lub bardziej rozległych sieciach. Rozpraszanie widma powoduje zwiększenie szerokości pasma sygnału nadawanego w stosunku do sygnału modulującego. Stosunek szerokości pasm sygnału nadawanego i modulującego określa zysk systemowy, dzięki któremu możliwe jest stosowanie niskich lub bardzo niskich mocy nadawania. Leżą one przeważnie poniżej 100 mW, a w sytuacjach w których nie zapewniają one pożądanych zasięgów pomocne stają się sieci o mniejszym lub większym zagęszczeniu stacji (ich oczek). W sieci krótkofalarskiej wykorzystywane jest oprogramowanie *MeshCom* w obecnych wydaniach różniące się od dawniejszych opartych na rozwiązaniu firmy *Meshtastic*. Jego instalacja jest wyraźnie mniej skomplikowana, a dalszy rozwój pozostaje wyłącznie w rękach krótkofalowców. Natomiast dla szerokich rzesz użytkowników powstały sieci *Internetu Przedmiotów* (IoT) typu *LoraWAN* itp. W odróżnieniu od użytkowników sieci powszechnie dostępnych krótkofalowców nie obowiązują ani procentowe ograniczenia czasu nadawania, ani ograniczenia liczby komunikatów nadawanych w ciągu doby ani ograniczenia mocy na poziomach poniżej warunków licencji.

Urządzenia nadawczo-odbiorcze *LoRa* są nie tylko tanie, ale też na tyle uniwersalne, że mogą być stosowane w innych systemach transmisji. W połączeniu z odpowiednim oprogramowaniem możliwy jest odbiór danych telemetrycznych z satelitów *LoRa* albo z balonów naukowo-badawczych i przekazywanie ich do sieci *TinyGS*. Krótkofalowcy wykorzystują tę technikę m.in. w transmisji danych pozycyjnych APRS. Komunikaty APRS też zresztą mogą być uzupełniane o dane telemetryczne. Do wyboru jest szeroka gama modeli różniących się wyposażeniem: wyświetlaczami, wyposażeniem w odbiorniki GPS, w pojemniki dla akumulatorów, przyciski itp.

Sprawą istotną dla użytkowników systemu *LoRa*, a tym bardziej dla eksperymentatorów jest należyte zrozumienie znaczenia parametrów transmisji, ich wzajemnych zależności i ich wpływu na przepustowość kanału albo na uzyskiwane zasięgi i niezawodność transmisji.

Krótkofalowcy austriaccy pracują od dłuższego czasu nad rozwiązaniami dla sieci radiowych *MeshCom*, dla transmisji danych pozycyjnych APRS i do innych zastosowań. Transmisja danych telemetrycznych przyczynia się do zwiększenia atrakcyjności sieci *Meshcom*. Z tego też powodu opracowanie zostało uzupełnione o przegląd wchodzących w grę czujników pomiarowych, których liczba wzrasta w kolejnych wersjach oprogramowania. Nowe wersje oprogramowania i rozwiązania dla kolejnych modułów transmisyjnych *LoRa* powstają w stosunkowo szybkim tempie. Z inicjatywy OE1KBC i kilku innych osób został powołany *Instytut wiedzy obywatelskiej* (icssw.org) zajmujący się aktualnie opracowaniami na polu sieci *MeshCom*, a w przyszłości także innymi nowoczesnymi tematami. Obecnie drugim polem zainteresowań jest system M17.

Dla programistów i konstruktorów opracowujących nowe rozwiązania przydatny może być odbiornik kontrolny systemu *LoRa* pracujący na modułach Heltec V2 lub T-Lora albo gotowy analizator *LoRa Sniffer* firmy *DX-Patrol*. Jest on sterowany przez program androidowy korzystający ze złącza *Bluetooth*.

Niskie moce nadawania i stosunkowo mały pobór prądu przez moduły transmisyjne pozwalają na zasilanie urządzeń z akumulatorów. Dzięki temu, że wykorzystywane w komunikacji komputery lub telefony androidowe mogą być również przez dłuższy czas zasilane z wewnętrznego akumulatora sieć *MeshCom* jest dobrze predystynowana do wykorzystania w łącznościach awaryjnych i ratunkowych przy przerwaniu dopływu energii elektrycznej w sieci.

Z wydania 4 usunięto niektóre, nieaktualne lub mniej aktualne materiały. Czytelnicy zainteresowani tymi sprawami znajdą je w wydaniu 3. Dodany został rozdział poświęcony systemom *MeshCore*, *Meshtastic*, *Gaulix* i innym. Uwzględniono nowe wyposażenie, niektóre nowe programy i rozwiązania.

Krzysztof Dąbrowski OE1KDA

Wiedeń

12 listopada 2024

19 stycznia 2026

1. System „LoRa” z rozpraszaniem widma

Oznaczenie „LoRa” jest skrótem od określenia „Long Range” mającego oznaczać telemetrię daleko-sięzną, przy czym o ile w porównaniu z rozpowszechnionymi systemami transmisji danych pomiarowych na dystansach kilku lub kilkudziesięciu metrów zasięgi dochodzące w korzystnych warunkach do 20 lub więcej km można uznać za dalekie. W oczach krótkofalowców nie są to oczywiście żadne DX-y, ale przecież nie o to najbardziej chodzi.

System „LoRa” korzystający z transmisji z rozpraszaniem widma sygnału (ang. *spread spectrum*) został opracowany w 2013 roku we francuskiej firmie „Cycleo” wykupionej następnie przez firmę „Semtech”. Obecnie na rynkach dostępne są moduły dla pasm 433 i 868 MHz, a w USA także pracujące w paśmie 915 MHz. Do zastosowań krótkofalarskich nadają się oczywiście moduły na zakres 433 MHz (typu RFM98W-433S2 itp.), a do zastosowań nie wymagających licencji amatorskiej – moduły dla pasma 868 MHz (RFM95W-868S2 itp.). W paśmie 868 MHz w zależności od podzakresu obowiązuje ograniczenie mocy do 10 lub 25 mW i nadawania do 0,1% lub 1% czasu pracy – liczonego w skali godzinowej.

Pomimo niskich mocy nadawania – od kilkunastu do maksimum 120 mW – osiągalne są, dzięki zastosowaniu transmisji z rozpraszaniem widma, stosunkowo dalekie zasięgi. W porównaniu z transmisją z kluczkowaniem FSK lub GMSK są one około dziesięciokrotnie dalsze. Zależny od współczynnika rozpraszania widma zysk systemowy wynosi tutaj około 20 dB.

Niskie moce nadawania pozwalają na bateryjne zasilanie urządzeń. Obecnie produkowane moduły pobierają przy nadawaniu od 20 mA przy mocy 5 mW do 120 mA przy mocach rzędu 120 mW.

Krótkofalowcy mogą, w odróżnieniu od użytkowników nielicencjonowanych korzystać z dowolnych anten zewnętrznych i nie obowiązują ich ograniczenia czasu nadawania, a moce są ograniczone jedynie warunkami licencji. Dozwolone jest korzystanie z dodatkowych wzmacniaczy mocy.

Dopuszczalne szybkości transmisji wynoszą wprawdzie od 180 bit/s do 37,5 kbit/s, ale dla uzyskania możliwie największej czułości stosowane są szybkości z dolnego zakresu, co praktycznie jest w pełni wystarczające ponieważ ilość transmitowanych danych jest raczej niewielka. Dla minimalnych szybkości osiągane są czułości -148 dBm, natomiast przykładowo dla 1200 bit/s już tylko -119 dBm. Możliwa jest też automatyczna zmiana szybkości transmisji w zależności od jakości łącza (ang. *adaptive data rate* – ADR).

Maksymalna długość transmitowanego pakietu wynosi 256 bajtów, włącznie z danymi korekcyjnymi FEC (korekcji wyprzedzającej). Jest ona ograniczona długością rejestru przesuwnego zawartego w obwodzie scalonym modemu.

Współczynnik rozpraszania widma (stosunek szerokości pasma sygnału nadawanego do szerokości widma kanału podstawowego) leży w granicach 6 – 12, a pasmo sygnału transmitowanego zajmuje od 7,8 do 500 kHz. Najczęściej stosowane jest pasmo 125 lub 250 kHz.

Moduły radiowe „LoRa” są stosowane w profesjonalnych systemach telemetrycznych, w zdalnym odczycie liczników elektrycznych i innych przyrządów, w układach zdalnego sterowania, w systemach bezpieczeństwa, alarmowych, w śledzeniu przesyłek, bagażu na lotniskach albo innych obiektów. Do spraw problematycznych należy wprawdzie kwestia zabezpieczenia transmitowanych danych i ich wiarygodności, ale w zastosowaniach amatorskich sprawa ta nie ma większego znaczenia.

Moduły „LoRa” pozwalają dodatkowo na transmisję danych z kluczkowaniem FSK, GFSK, MSK, GMSK i OOK. Możliwe jest więc wykorzystanie ich w innych systemach transmisji i sieciach, śledzenie sond meteorologicznych itp.

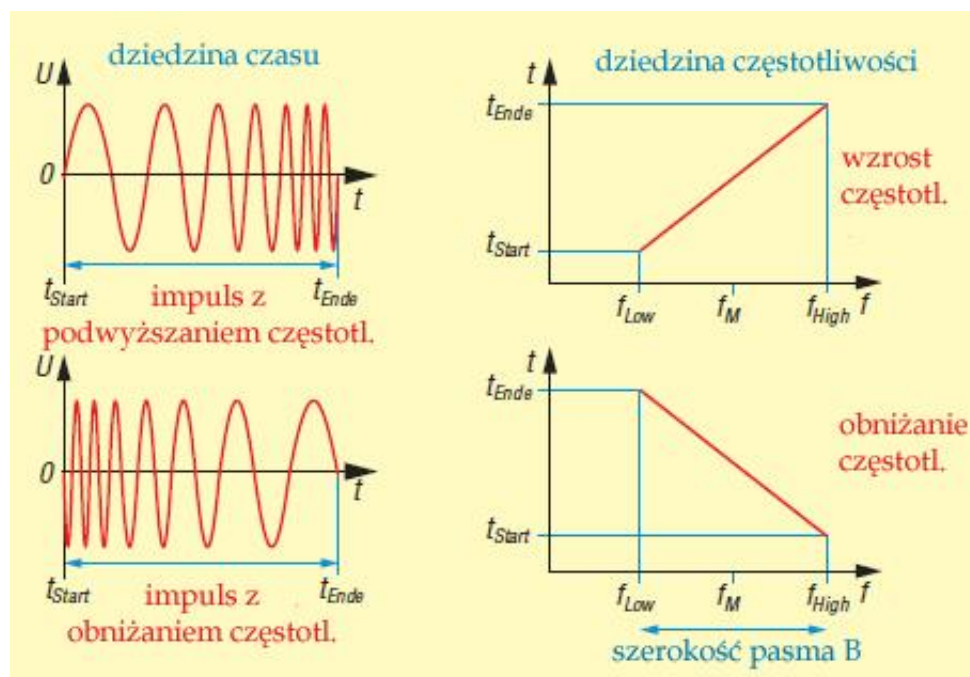
Do najczęściej stosowanych metod rozpraszania widma sygnału należą kluczkowanie częstotliwości (ang. *frequency hopping* – FH), kluczkowanie fazy kodem losowym (ang. *direct sequence spread spectrum* – DSSS) i linowa zmiana częstotliwości (ang. *chirp*). Do rozpraszania widma stosowane są kody pseudoprzypadkowe (pseudolosowe). W najprostszym przypadku są one generowane za pomocą rejestrów przesuwnych z odpowiednio dobranymi sprzężeniami zwrotnymi, ale mogą być także generowane programowo. Istnieją całe rodziny takich kodów, a nowe kody mogą być też generowane przez kombinację istniejących. Teoria kodów pseudoprzypadkowych jest dość rozbudowana i skomplikowana.

Zysk systemowy jest zależny od stopnia rozproszenia widma czyli stosunku szerokości pasma sygnału rozproszonego do sygnału podstawowego. Sygnał o rozproszonym widmie jest odbieralny przez klasyczne odbiorniki wąskopasmowe jako szum. Dodaje się on do szumów pochodzących z innych źródeł. Przy wielu zachodzących na siebie sygnałach o rozproszonym w dowolny sposób widmie selektywny

wybór możliwy jest dzięki stosowaniu różnych kodów. Dla prawidłowego odbioru konieczna jest oprócz zgodności kodów także zgodność ich faz (w sygnale odbieranym i w kodzie generowanym w odbiorniku), a także zgodność ich częstotliwości zegarowych. Sprawa zapewnienia synchronizacji należy do najważniejszych problemów w komunikacji z rozpraszaniem widma sygnału.

Oprócz radiokomunikacji transmisja z rozpraszaniem widma jest stosowana m.in. w zdalnym sterowaniu i w technice pomiarowej. Pomiar przesunięcia kodu odbieranego w stosunku do nadawanego pozwala, zwłaszcza przy użyciu odpowiednio długich kodów, na dokładne pomiary odległości.

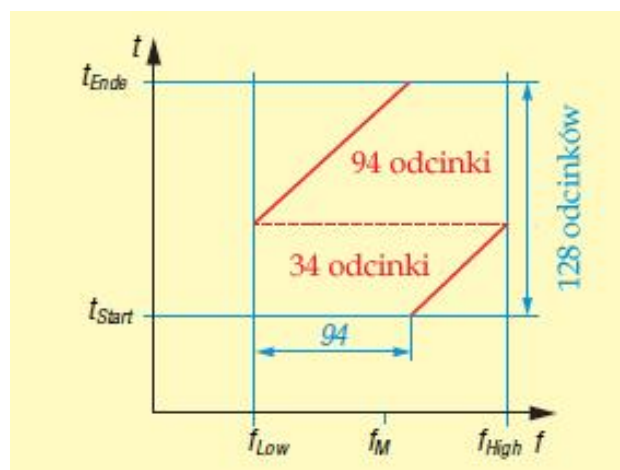
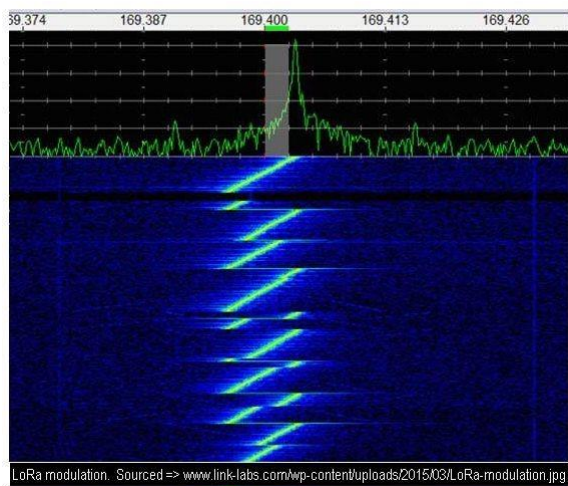
W modułach „LoRa” stosowany jest uproszczony system liniowej zmiany (przemiatania) częstotliwości (ang. *chirp* – CSS) oparty na standardzie IEEE 802.15.4.



Rys. 1.1. Przebieg sygnałów modulowanych liniowo w dziedzinie czasu i częstotliwości (źródło: *Funkamateurl* 11/2021)

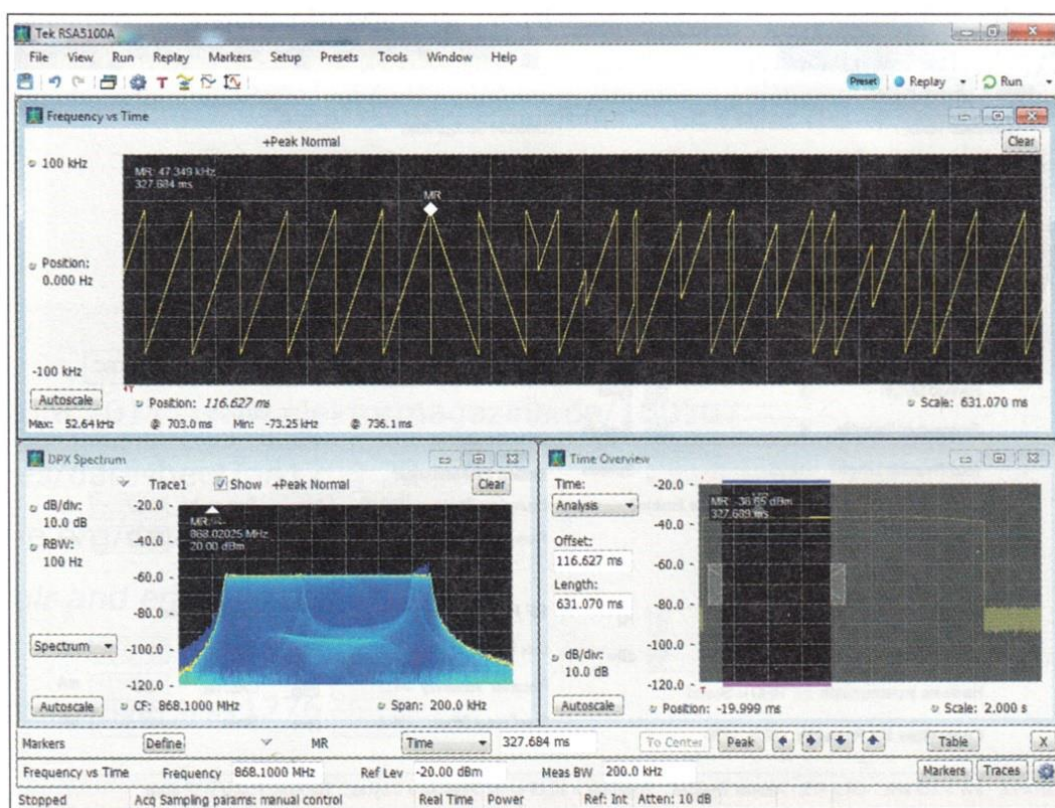


Rys. 1.2. Transmisja sygnału o rozproszonym widmie. Sygnał użytkowy jest po stronie nadawczej rozpraszany, a po stronie odbiorczej skupiany w identyczny sposób i przy użyciu identycznego kodu dla odzyskania danych w paśmie podstawowym. Ewentualnie odebrane sygnały wąskopasmowe znajdujące się w tym samym paśmie ulegają w odbiorniku rozproszeniu i nie powodują zakłóceń



Rys. 1.3a. Przebieg sygnału systemu „LoRa” w funkcji czasu i częstotliwości
(źródło: dokumentacja LoRa)

Rys. 1.3b. Zasada kodowania na przykładzie symbolu o wartości dziesiętnej 94
(źródło: Funkamateur 11/2021)



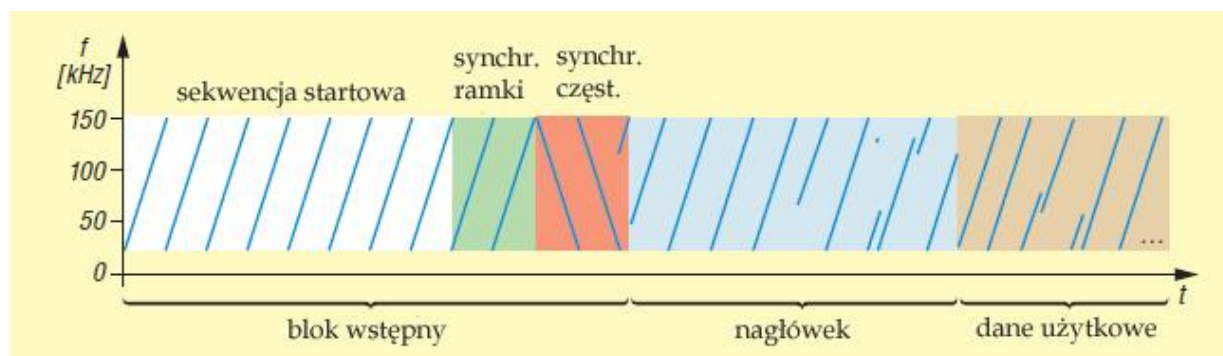
Rys. 1.4. Sygnał systemu LoRa zmierzony analizatorem widma RSA5106 firmy Tektronix
(źródło: Elektor maj-czerwiec 2017)

Na ilustracji 1.4 przedstawiona jest dokonana w laboratorium *Elektora* analiza sygnału systemu „LoRa” dla pasma o szerokości 125 kHz, współczynnika rozpraszania 12, FEC 4/5 i dewiacji również 125 kHz. W bloku synchronizacyjnym przebiegi są odwrócone: częstotliwość maleje, a nie wzrasta w funkcji czasu. Blok synchronizacyjny składa się z 8 symboli, przy czym do synchronizacji odbiornika wystarczą 4 z nich.

Bitów zgrupowane są w symbole 12-bitowe – przyjmują więc wartości od 0 do 4095. Czas trwania symbolu wynosi 32,8 msek. Przepustowość brutto równa jest 366,2 bit/s, co przy FEC 4/5 daje przepustowość netto 292,9 bit/s.

Maksymalna dewiacja 125 kHz jest podzielona na 212 odcinków: $125000/4096 = 30,52$ Hz. Dewiacja chwilowa równa jest wartości symbolu $\times 30,52$ Hz. Transmisja 8 bajtów użytkowych trwa 925 msek.

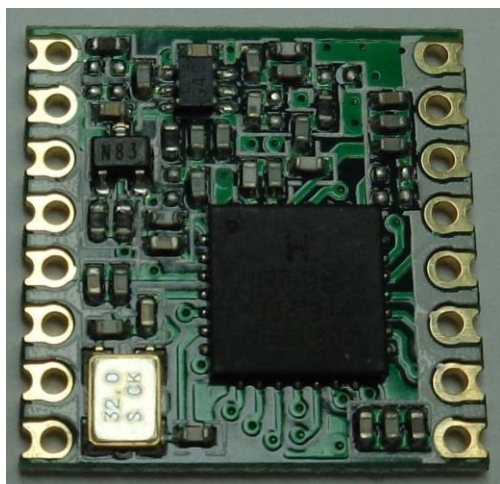
Przeważnie system jest stosowany do niezbyt częstych transmisji niewielkich ilości danych. Transmisja z dużymi szybkościami nie jest nieopłacalna. Oprócz zastosowań naziemnych w praktyce amatorskiej interesująca jest transmisja danych z balonów. Dzięki znacznym wysokościom lotu uzyskuje się duże zasięgi stacji. Inną interesującą dziedziną może być śledzenie zwierząt wyposażonych w nadajniki.



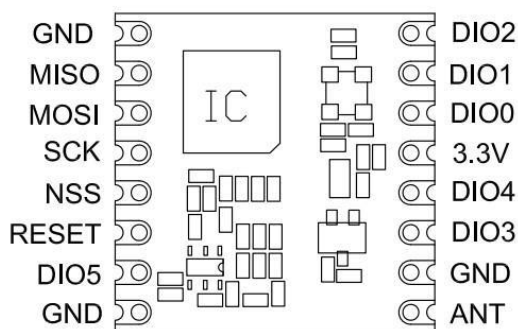
Rys. 1.5. Orientacyjna struktura pakietu „LoRa” (źródło: *Funkamateurl* 11/2021)

Moduły RFM98W i podobne komunikują się z mikrokomputerem za pomocą złącza SPI (*Serial Peripheral Interface*), w którego skład wchodzi sygnały MOSI (*Master Output Slave Input*), MISO (*Master Input Slave Output*), SCK (sygnał zegarowy) i SS (*Slave Select*). Sygnał wyboru urządzenia SS musi być połączony z wejściem NSS modułu „LoRa”. Jako wyjście selekcyjne po stronie *Arduina* może służyć dowolne wyjście logiczne.

Kontakty DIO0 – DIO5 modułu są wykorzystywane przez bibliotekę LMIC do różnych celów j.np. informacji o pracy urządzenia. Moduły pracujące w paśmie 433 MHz zawierają przeważnie nadajnikoo odbiorniki SX1278 firmy „Semtech”. Ich syntezer pokrywa zakres częstotliwości 137 – 525 MHz. Podobny do niego SX1268 pokrywa zakres 410 – 525 MHz. W zakresie 860 – 1000 MHz pracują układy SX1272/1273, a SX1276 pokrywa zakres 433 MHz oraz pasma przemysłowe 868 i 915 MHz. Moduły SX1280/1281 pracują w paśmie 2,4 GHz. Niezależnie od możliwości modułu *LoRa* rzeczywisty zakres pracy całości zależy od znajdującego się na wyjściu filtra dolnoprzepustowego. Popularne SX1262 i 1268 dostarczają mocy +22 dBm i pokrywają zakres 150 – 960 MHz, a pokrywający ten sam zakres SX1261 dostarcza mocy +15 dBm. Podobnie jak poprzednie modele pracują emisjami LoRa, FSK, GFSK, MSK i GMSK. Przy odbiorze pobierają one prąd 4,6 mA.



Fot. 1.6. Moduł RFM dla pasma 433 MHz...



Rys. 1.7. ...i jego wyprowadzenia

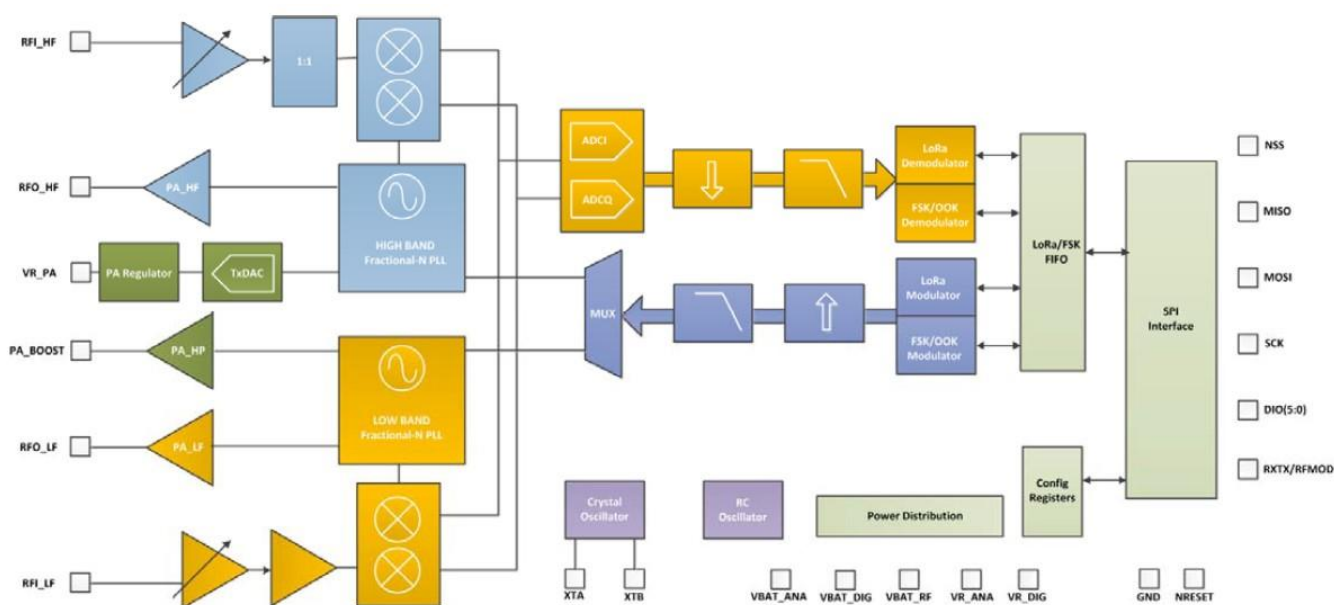
Tabela 1.1

Minimalny stosunek sygnału do szumu w zależności od współczynnika rozpraszania dla modułu SX1278 (GMSK dla porównania)

Współcz. rozpr.	Stos. sygn./szum [dB]	Współcz. rozpr.	Stos. sygn./szum [dB]
6	-5,0	10	-15,0
7	-7,5	11	-17,5
8	-10,0	12	-20,0
9	-12,5	GMSK	9

Czułość odbiornika oblicza się ze wzoru:

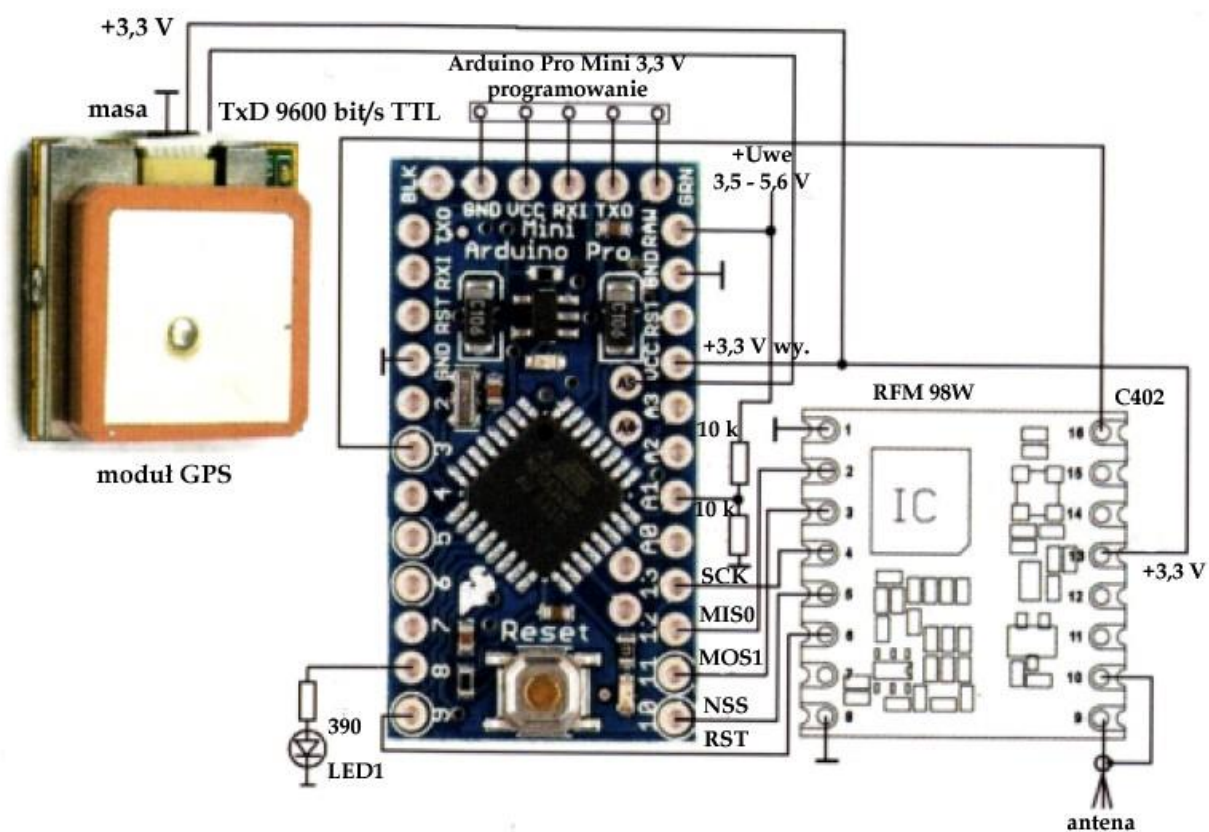
$ERX = 10 \log(B) + WS + SSS - 174 \text{ dBm}$, gdzie B jest szerokością pasma sygnału w Hz (dla 125 kHz $10 \log(125000) = 51$, WS – współczynnikiem szumów odbiornika (równym 6 w paśmie 70 cm), a SSS – współczynnikiem sygnał/szum według tabeli.



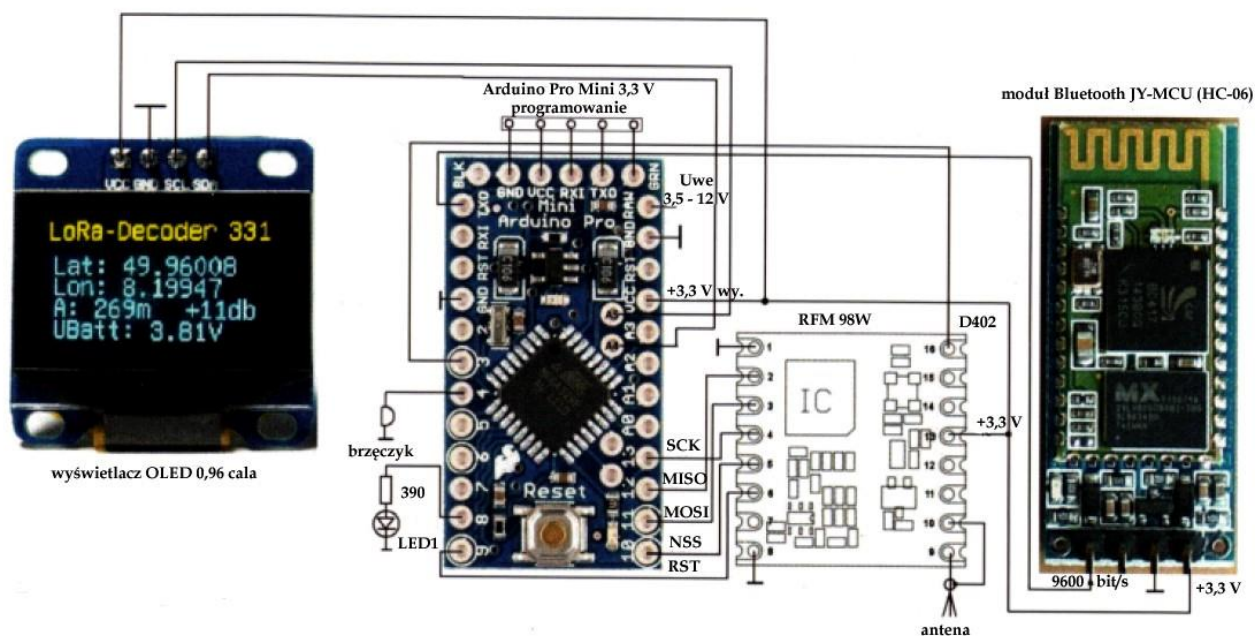
Rys. 1.8. Schemat blokowy modułu z serii SX

W przedstawionym na ilustracji 1.9 nadajniku APRS zastosowano mikrokomputer *Arduino Mini* zasilany napięciem 3,3 V, co ułatwia połączenie obu części, a także modułu odbiornika GPS. Oprócz danych APRS nadawana jest informacja o napięciu zasilania. Napięcie to jest doprowadzone do wejścia A1 *Arduina* przez dzielnik 1:2 złożony z dwóch oporników 10 kΩ. Krótkofalowcy zajmują się również transmisją danych meteorologicznych: ciśnienia atmosferycznego, temperatury, wilgotności względnej i zawartości szkodliwych gazów w atmosferze. Krótki przegląd stosowanych (nie tylko w sieci *Mesh-com*) czujników pomiarowych zawiera punkt. 2.9.

W pasującym do tego odbiorniku APRS zastosowano wyświetlacz OLED połączony z mikrokomputerem za pomocą magistrali I2C (sygnał zegarowy SCL pochodzi z wyjścia A5 *Arduina*, a sygnał danych SDA – z wyjścia A4). Moduł *Bluetooth* służy do połączenia odbiornika z komputerami lub telefonami komórkowymi. Dla telefonów i komputerów androidowych dostępne są m.in. programy *BluTerm*, *W2APRS* i *Lotus Map Pro*. Pierwszy z nich jest programem terminalowym pozwalającym na odczyt danych w postaci tekstowej, a następne umożliwiają przedstawienie pozycji odbieranej stacji na mapie.



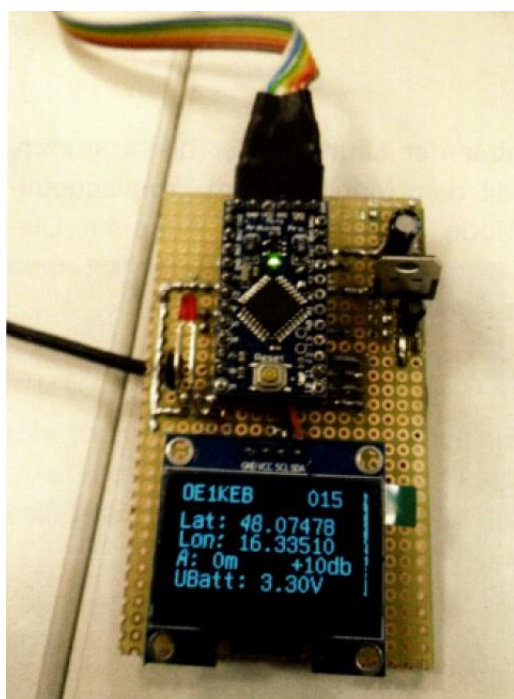
Rys. 1.9. Nadajnik APRS z modulem „LoRa” (źródło: [1.4] i QSP 4/2017)



Rys. 1.10. Odbiornik APRS (źródło: [1.4] i QSP 4/2017)

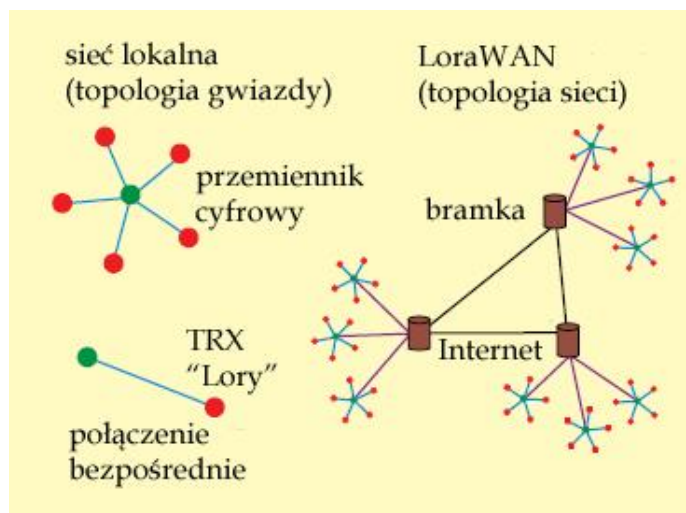


Fot. 1.11. Transmisja danych meteorologicznych: ciśnienia, temperatury, wilgotności względnej i wysokości zmierzonych za pomocą czujnika BME280 firmy „Bosch”. Dodatkowo wyświetlana jest informacja o sile odbieranego sygnału (odstępie poziomu sygnału od szumu)



Fot. 1.12. Odbiornik konstrukcji OE1KEB (źródło: QSP 4/2017)

Rys. 1.13. Możliwe rodzaje połączeń (topologie) w systemie „Lora” (źródło: Funkamateurl 11/2021)



Wyposażony w SX1276/1278 moduł z ilustracji 1.14 dysponuje mocą wyjściową 100 mW (pobór prądu wynosi wówczas 120 mA, przy 20 mW – 29 mA), charakteryzuje się wysoką odpornością na blokowanie, czułością -148 dBm i niskim poborem prądu. W trakcie odbioru pobór prądu wynosi około 11 – 12 mA. Moduł jest kompatybilny z płytkami *Arduino* UNO, MEGA, DUE i Leonardo zasilanymi napięciem 3,3 V i 5 V. Moduły *Dragino* są dostępne na platformach internetowych w rodzaju *Amazona*.

Oprócz transmisji w systemie „Lora” do dyspozycji są modulacje FSK, GFSK, MSK, GMSK i kluczowanie amplitudy OOK (od zera do pełnej mocy jak w telegrafii). Dzięki temu możliwy jest odbiór sygnali pracujących w innych sieciach lub systemach, przykładowo sond radiowych wysyłanych na pokładach balonów meteorologicznych. Syntezator częstotliwości pozwala na nastawienie częstotliwości pracy z rozdzielczością 61 Hz. Przy szerokościach pasma sygnału rozproszonego poniżej 125 kHz kwarcowy generator sterujący należy zastąpić generatorem stabilizowanym temperaturowo – TCXO. Płytkę ma wymiary 62 x 43 x 23 mm i masę 22 g.



Fot. 1.14. Moduł nadawczo-odbiorczy z RFM98W-433S2 dla *Arduino* (źródło: *exp-tech.de*)

1.1. Znaczenie parametrów transmisji

Zmiany parametrów transmisji w systemie LoRa nie pozostają bez wpływu na szybkość transmisji i zasięg odbioru stacji. Oczywiście stacja odbiorcza musi nie tylko być nastrojona na częstotliwość pracy nadajnika, ale mieć także nastawione identycznie pozostałe parametry: szerokość pasma (BW), współczynnik rozpraszania (SF) i stopę danych korekcyjnych (CR). Stopa danych korekcyjnych jest parametrem mniej krytycznym i możliwy jest prawidłowy odbiór mimo różnych wartości ustawionych w nadajniku i odbiorniku.

Tabela 1.1.1

Porównanie możliwych parametrów transmisji dla różnych modułów nadawczo-odbiorczych RFM

Typ	Zakres [MHz]	Współczynnik rozpraszania	Pasma [kHz]	Szybkość transmisji netto	Czułość [dBm]
RFM95W	868/915	6 – 12	125 – 500	0,293 – 37,5 kbit/s	-111 – -136
RFM96W/ 98W	433/470	6 – 12	62,5 – 500	0,1465 – 37,5 kbit/s	-112 – -140
RFM98W	169	6 – 12	31,25 – 125	73,24 – 9375 bit/s	-118 – -143

Rozpraszanie widma sygnału powoduje zwiększenie odporności transmisji na wpływ szumów. W zależności od modułu do dyspozycji są następujące szerokości pasma (BW) rozproszonego sygnału (dewiacje): 31,25 kHz, 41,7 kHz, 62,5 kHz, 125 kHz, 250 kHz i 500 kHz. Wybór niższych szerokości pasma powoduje przedłużenie czasu transmisji. Szerokości pasma poniżej 125 kHz wymagają wyposażenia stacji w TCXO ze względu na wymaganą większą stabilność częstotliwości pracy. Dla sieci *LoRaWAN* przyjęto standardowo szerokość pasma 125 kHz (w sieciach krótkofalarskich również 250 kHz)¹. W paśmie 2,4 GHz stosowane są szerokości pasma 500 kHz – 1,6 MHz. Ogólnie rzecz biorąc węższe pasmo sygnału oznacza zmniejszenie szybkości transmisji i zwiększenie zasięgu stacji. Szersze pasmo oznacza zwiększenie szybkości transmisji i jednocześnie zmniejszenie zasięgu.

¹ W sieci LoRaWAN rozróżniane są trzy klasy urządzeń. Dostęp do, najbardziej energooszczędnych, urządzeń klasy A odbywa się w protokole ALOHA. Po odebraniu pakietu danych od dowolnej stacji otwierają one dwa okienka odbiorcze, w czasie których są gotowe do odbioru dalszych danych. Urządzenia klasy B otwierają dodatkowo okienka odbiorcze w regularnych momentach czasu (maksymalnie co 128 sekund), a urządzenia klasy C są zawsze gotowe do odbioru.

Również zmiana wartości współczynnika rozpraszania (SF) określająca liczbę symboli (ang. *chirps*) reprezentujących każdy z bitów danych. Przy niskich współczynnikach rozpraszania wzrasta w efekcie liczba transmitowanych bitów danych czyli szybkość transmisji. Jednocześnie powoduje to zmniejszenie czułości strony odbiorczej, co oznacza zwiększenie prawdopodobieństwa utraty danych w kanale transmisyjnym (większą zawodność transmisji). Większe współczynniki oznaczają z kolei zmniejszenie szybkości transmisji danych użytkowych, ale daje to wzrost czułości odbiorników i wzrost niezawodności transmisji. Skutkuje to jednocześnie przedłużeniem czasu transmisji i wzrostem średniego poboru mocy przez nadajnik, co może być istotne w niektórych zastosowaniach (czujnikach zasilanych bateryjnie i umieszczonych w miejscach trudno dostępnych). Tak więc i tutaj wszystko sprowadza się do wyboru między szybkością i niezawodnością transmisji (czułością odbiornika). Dla zakresów częstotliwości poniżej 1 GHz dopuszczalne są współczynniki rozpraszania SF6 – SF12. W praktyce najniższym stosowanym współczynnikiem jest SF7 gdyż SF6 wymaga użycia TCXO jako generatora sterującego. Oznaczają one potęgę dwójki dającą liczbę symboli reprezentujących każdy z bitów. Przykładowo SF7 oznacza 2^7 czyli 128 symboli, a SF11 – 2^{11} czyli 2048 symboli. Przy współczynniku rozpraszania SF7 transmisja 64 bajtów danych trwa około 120 ms, a przy SF11 – ponad sekundę (patrz.tab. 1.1.2).

Tabela 1.1.2

Orientacyjny czas transmisji bloku 64 bajtów danych w zależności od współczynnika rozpraszania przy paśmie 125 kHz

Współczynnik rozpraszania	Przybliżony czas transmisji [ms]
SF7	120
SF8	220
SF9	400
SF10	700
SF11	1300
SF12	2400

Szerokość pasma i współczynnik rozpraszania definiują fizyczne parametry modulacji. Natomiast stopa danych korekcyjnych CR określa stopień korekcji wyprzedzającej (FEC) pozwalającej na skorygowanie błędnie odebranych danych dzięki danym nadmiarowym (redundantnym) zawartym w nadawnych pakietach. Dane nadmiarowe są obliczane po stronie nadawczej i dodawane do danych użytkowych. Większy udział danych korekcyjnych w całości pozwala na skorygowanie większej liczby przekłamań, zwiększenie niezawodności i zasięgu, ale jednocześnie oznacza, że dane użytkowe zajmują mniejszą część pakietu, czyli zmniejszenie efektywnej szybkości transmisji. Standard *LoRa* dopuszcza cztery możliwe stopy korekcji 4/5, 4/6, 4/7 i 4/8. Przy wartości 4/5 udział danych użytkowych w całości wynosi 4/5 czyli 80%, a przy następnych odpowiednio mniej aż do 50% przy stopie 4/8. W tabelach parametrów zamiast ułamków podawany bywa tylko mianownik: 5 oznacza wtedy stopę 4/5, 8 – stopę 4/8 itd. Wybierając stopę korekcji warto pamiętać, że w wielu przypadkach korzystniejsze może być dopuszczenie niewielkiej liczby przekłamanych pakietów zamiast stałego znacznego obniżenia skutecznej szybkości transmisji. Zmiany stopnia korekcji nie wpływają na pozostałe właściwości kanału co oznacza, że odbiorniki skonfigurowane na stopę różną od nadawczej mogą go w dalszym ciągu prawidłowo dekodować.

Tabela 1.1.3

Orientacyjne wartości czułości odbiornika i szybkości transmisji w kanale *LoRa* w zależności od parametrów transmisji dla szerokości pasma 125 kHz wg [1.1.1]

Współczynnik rozpraszania	Stopa korekcji	Czułość [dBm]	Szybkość transmisji netto
7	4/5	-124,5	5,47 kbit/s
7	4/6	-124,5	4,56 kbit/s
7	4/7	-124,5	3,91 kbit/s
7	4/8	-124,5	3,42 kbit/s
8	4/5	-127,0	3,13 kbit/s

8	4/6	-127,0	2,60 kbit/s
8	4/7	-127,0	2,23 kbit/s
8	4/8	-127,0	1,95 kbit/s
9	4/5	-129,5	1,76 kbit/s
9	4/6	-129,5	1,46 kbit/s
9	4/7	-129,5	1,26 kbit/s
9	4/8	-129,5	1,10 kbit/s
10	4/5	-132,0	977 bit/s
10	4/6	-132,0	814 bit/s
10	4/7	-132,0	698 bit/s
10	4/8	-132,0	610 bit/s
11	4/5	-134,5	537 bit/s
11	4/6	-134,5	448 bit/s
11	4/7	-134,5	384 bit/s
11	4/8	-134,5	336 bit/s
12	4/5	-137,0	293 bit/s
12	4/6	-137,0	244 bit/s
12	4/7	-137,0	209 bit/s
12	4/8	-137,0	183 bit/s
11 (250 kHz)	4/6	-131,5	895 bit/s

Przy podwojeniu szerokości pasma ze 125 kHz do 250 kHz czułość zmniejsza się o 3 dBm, a szybkość transmisji wzrasta dwukrotnie w stosunku do podanych w tabeli dla każdej z kombinacji parametrów. Wybór pasma 500 kHz powoduje odpowiednio zmianę czterokrotną szybkości transmisji i czułości o 6 dBm.

W tabeli kolorem żółtym zaznaczono kombinacje parametrów stosowane w transmisjach APRS w Austrii i niektórych innych krajach zachodnich (12; 4/5) i w Polsce (9; 4/7). Jak wynika z tabeli kombinacja ze współczynnikiem rozpraszania 12 oznacza większą czułość, zasięgi i niezawodność transmisji kosztem przedłużenia czasu transmisji komunikatu APRS do około 3 sekund (szybkość transmisji jest zbliżona do stosowanej w tradycyjnym wariacie na falach krótkich). Natomiast kombinacja ze współczynnikiem rozpraszania 9 oznacza prawie ośmiokrotne pogorszenie czułości (a co za tym idzie zasięgu i niezawodności transmisji), ale przy szybkości transmisji zbliżonej do stosowanych w tradycyjnym systemie APRS 1200 bit/s daje w przybliżeniu czterokrotne skrócenie jej czasu.

W odróżnieniu od zainstalowanych w miejscach niedostępnych czujników telemetrycznych i innych minimalizacja poboru energii w stacjach amatorskich ma mniejsze znaczenie. Bramki radiowo-internetowe są przeważnie zainstalowane w stałych lokalizacjach i mogą być zasilane z sieci energetycznej a nadajniki danych pozycyjnych przenoszone lub przewożone w samochodzie są łatwo dostępne i dzięki temu nie ma trudności w naładowaniu ich akumulatorów lub wymianie baterii. Dużo większe oszczędności można osiągnąć dopasowując odstępy między transmisjami do szybkości poruszania się stacji – czyli przez ograniczenie liczby transmisji do sensownego minimum (tzw. inteligentna transmisja – ang. *smart beaconing*). Zapobiega to również nadmiernemu zatłoczeniu kanału.

W sieciach *MeshCom* w Austrii stosowane jest obecnie pasmo 250 kHz (poprzednio było to 125 kHz), współczynnik rozpraszania 11 i stopa korekcji 4/6 (ostatnia linia w tabeli z różowym tłem). Jak widać również i w tym przypadku położono nacisk na uzyskanie możliwie dużej czułości i zasięgów. W Niemczech stosowany jest dodatkowo współczynnik 10.

Wybór częstotliwości pracy w paśmie 70 cm oznacza, że krótkofalowców nie obowiązują ograniczenia mocy nadawania i procentowego udziału czasu nadawania w całości czasu pracy wymagane od stacji nielicencjonowanych (ISM). Moc nadawania jest ograniczona jedynie warunkami licencji co oznacza, że krótkofalowcy mogą stosować dodatkowe wzmacniacze mocy. Przeważnie jednak moce nadawania nie przekraczają 1 W.

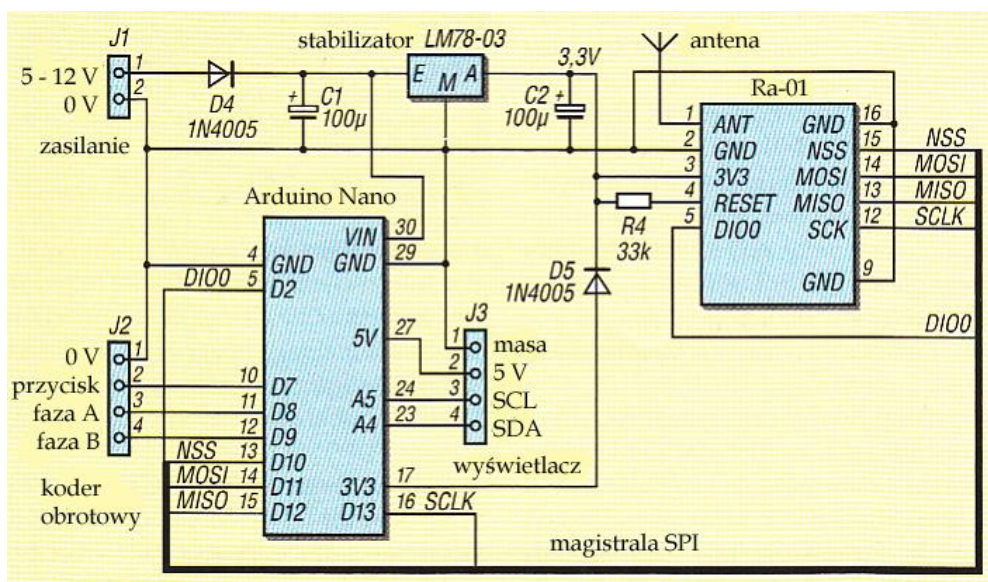
Natomiast w paśmie 868 MHz stacje nadawcze obowiązuje ograniczenie mocy do 25 – 100 mW (w części do 500 mW) i procentowego czasu transmisji do 0,1% lub 1 % w zależności od podzakresu pasma.

1.2. Rozwiązania stacji



Fot. 1.2.1. TRX na modułach Ra-01 lub Ra-02 (źródło: DL2MEE)

Radiostacja systemu *Lora* opracowana przez DL2MEE została opisana w numerze 3/2022 miesięcznika „Funkamateur”. Zawiera ona moduł nadawczo-odbiorczy Ra-01 firmy *Thinker* i sterujący go mikrokomputer *Arduino Nano* zasilany napięciem 3,3 V. Zamiast modułu Ra-01 można zastosować Ra-02. Pierwszy z nich posiada antenę drukowaną i ma możliwość podłączenia anteny śrubowej (*helikalnej*) wchodzącej w skład kompletu, a drugi posiada gniazdko μ FL/IPEX do podłączenia anteny zewnętrznej. Są one wyposażone w układ nadawczo-odbiorczy SX1278.



Rys. 1.2.2. Schemat ideowy TRX z modułem Ra-01 i Arduino Nano (źródło: Funkamateur 3/2022)

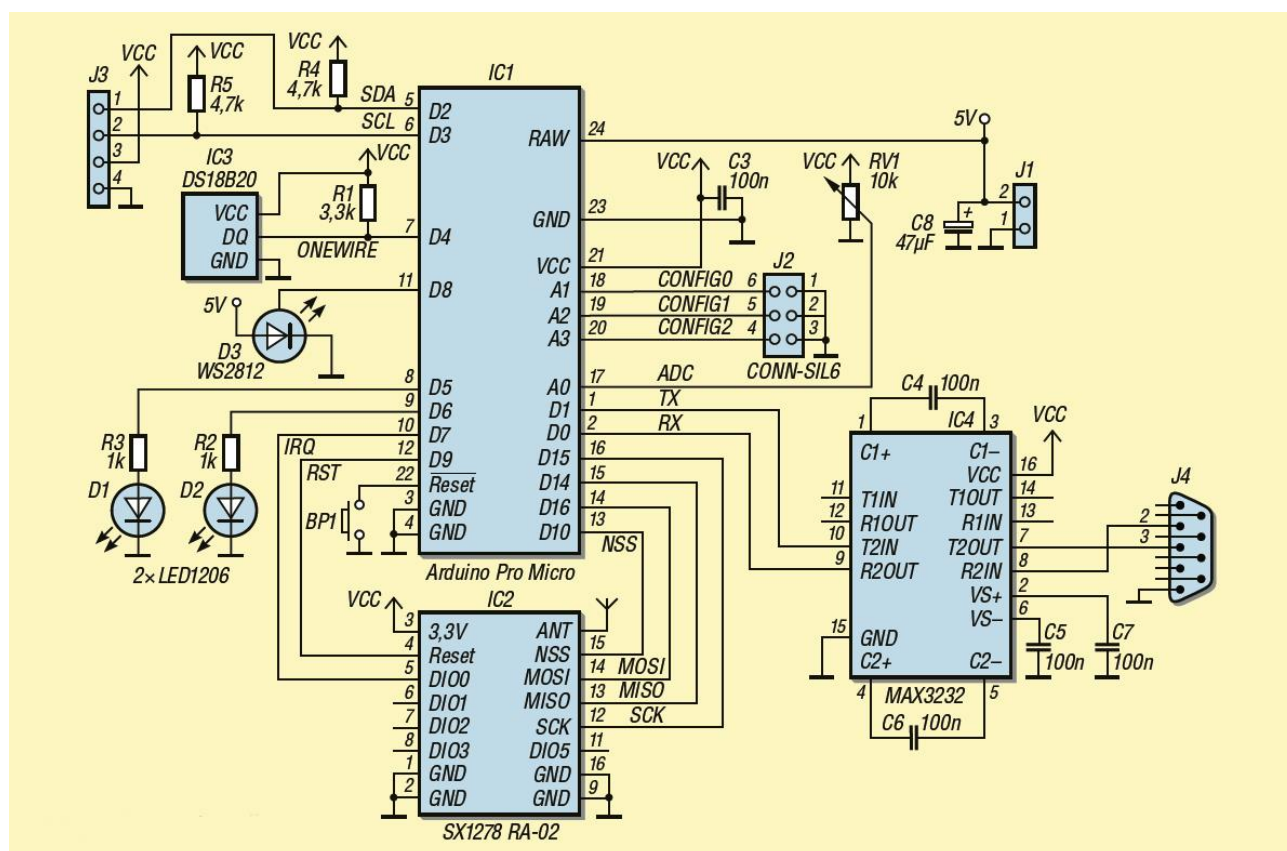
Syntezer Ra-01 jest przestrajany z krokiem 61 Hz, ale wykazuje też znaczne odchyłki od nominalnej częstotliwości. Na szczęście nie mają one większego znaczenia przy szerokopasmowych transmisjach z rozpraszaniem widma. Szerokość widma sygnału wyjściowego SX1278 leży w zakresie 7,8 – 500

kHz, a dostępne współczynniki rozpraszania leżą pomiędzy 6 – 12. Maksymalna moc wyjściowa nadajnika wynosi 18 dBm (63 mW). Użycie mikrokomputera innego typu, zasilanego napięciem 5 V wymaga dopasowania poziomów z 5 V na 3,3 V dla modułu radiowego. Do obsługi można zastosować koder obrotowy albo przycisk, podłączane do złącza J2.

Układ może być zasilany przez gniazdko mini-USB *Arduina* albo przez jego kontakty 5 V. W przypadku zasilania modułu radiowego przez gniazdko USB *Arduina* należy ograniczyć moc wyjściową do 8 dBm, gdyż pobór prądu przy nadawaniu przekraczający 240 mA może powodować spadek napięcia zasilania mikrokomputera i zakłócenia w jego pracy – z ponownymi startami włącznie. Przy większych mocach wyjściowych konieczne jest oddzielne zasilanie napięciem 3,3 V z akumulatora albo zasilacza sieciowego.

Wyświetlacz o przekątnej 0,96 cala jest sterowany przez magistralę I2C i podłączony do złącza J3. Całość można zmontować na płycie drukowanej albo na uniwersalnej płycie eksperymentalnej. W trakcie montażu należy zwrócić szczególną uwagę na to, aby nie przegrzać modułu radiowego, gdyż spowoduje to późniejsze problemy z pracą pętli synchronizacji fazy w układzie syntezy. Może to skutkować znacznymi odchyłkami częstotliwości wyjściowej od nominalnej, dochodzącymi nawet do kilkunastu kHz.

Oprogramowanie *Arduina* korzysta z bibliotek dla obsługi wyświetlacza i modułu radiowego. Jedną z bibliotek Lory jest dostępna w Internecie pod adresem <https://github.com/sandeepmistry/arduino-LoRa>, a biblioteka dla wyświetlacza – pod adresem www.arduino.cc/reference/en/libraries/adafruit-ssd1306. Biblioteka *Lory* zawiera funkcje nadawcze i odbiorcze dla rodziny układów SX1276/77/78/79. Przykładowe programy są dostępne w strefie pobrań (*download*) witryny www.funkamateur.de. Jednym z przykładów jest program radiolatarni *LoRa* nadający tekst w odstępach 5-sekundowych. Przed uruchomieniem radiolatarni konieczne jest wprowadzenie do programu własnego znaku wywoławczego, częstotliwości nadawania i parametrów transmisji. Innym z przykładów jest program dla odbiornika sygnałów radiolatarni nadający własny tekst po naciśnięciu przycisku. Mini-TRX można także wykorzystać do transmisji własnych współrzędnych geograficznych odczytanych z odbiornika GPS.

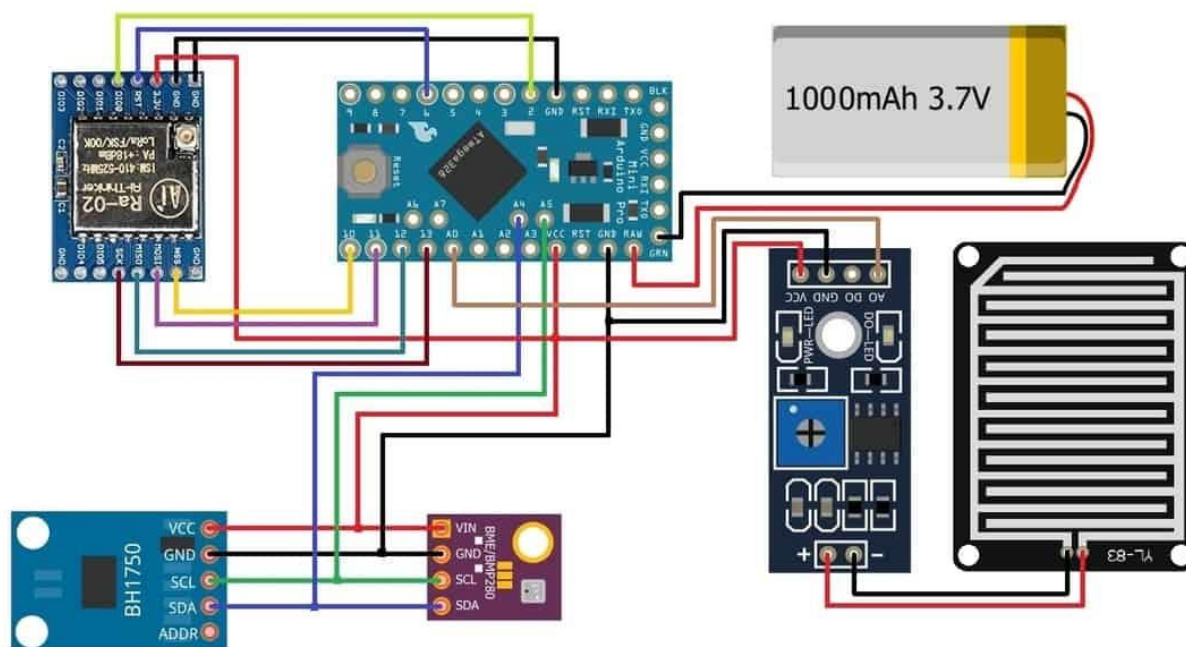


Rys. 1.2.2a. Eksperymentalna stacja LoRy z modulem RA-02

Ostatni z przykładowych programów ilustruje możliwości zdalnego sterowania. Po stronie odbiorczej (sterowanej zdalnie) dioda elektroluminescencyjna (z opornikiem szeregowym $330\ \Omega$) jest włączona między kontaktami 5 V i SCL (A5) na złączu J3. Każdy z przykładów można modyfikować i rozszerzać zgodnie z własnymi potrzebami.

Przykładowy eksperymentalnej schemat stacji LoRa z modulem RA-02 (z SX1278) przedstawia ilustracja 1.2.2.a pochodząca z artykułu [1.2.2] opublikowanego w numerze 7/2025 *Funkamateura*. Jako mikrokomputer sterujący pracuje *Arduino Micro Pro*. Wejściowy sygnał analogowy jest pobierany z potencjometru RV1. Dodatkowo przewidziano możliwość podłączenia termometru elektronicznego DS18B20. Program sterujący w formacie .HEX jest wprowadzany po naciśnięciu przycisku zerującego BP1. Zworki J2 służą do wyboru przez użytkowników jednego z trzech trybów startowych zawartych w oprogramowaniu. Do diagnozy służą trzy diody świecące D1, D2, D3. Dioda D3 jest kombinowaną diodą trójkolorową RGB.

Biblioteki dla środowiska IDE Arduino, przykładowy plik programu *lora-modem-simple.ino* i pliki do realizacji płytki drukowanej znajdują się pod adresem [1.2.3] (<https://github.com/f4goh/modem-LoRa>). Biblioteka dla transmisji LoRa składa się z dwóch plików LoRa.h i LoRa.cpp. W oryginale stacja jest dostrojona do częstotliwości 433,675 MHz, przyjęto współczynnik rozpraszania 12, pasmo 125 kHz, stopę korekcji 4/5 i moc nadawania 20 dBm. Parametry te można zmienić w programie.



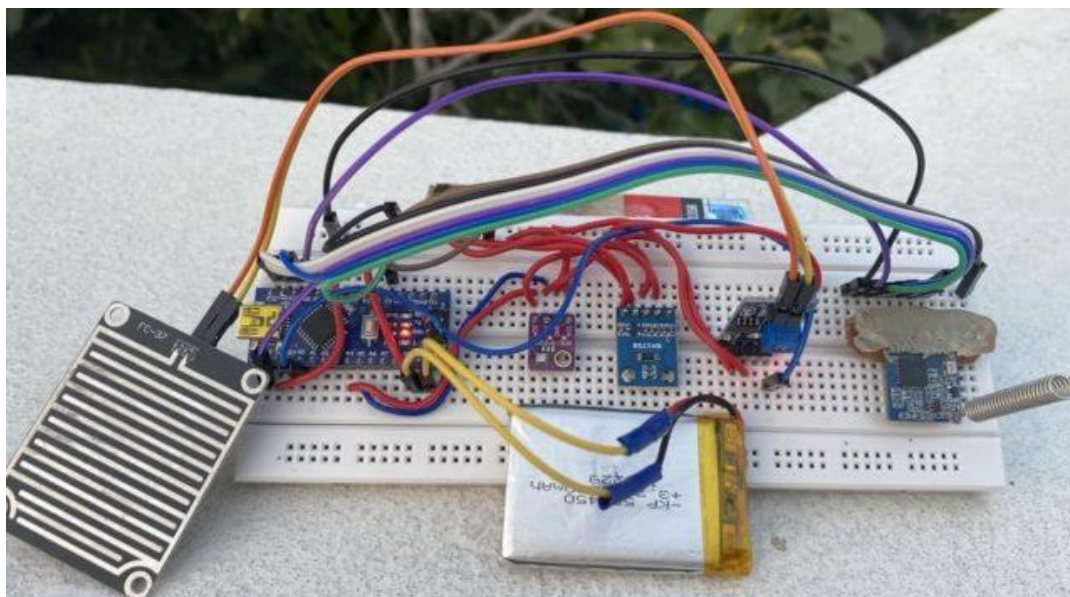
Rys. 1.2.3. Przykładowa realizacja stacji meteorologicznej

W skład stacji z rys. 1.2.3 wchodzi 3,3-woltowy mikrokomputer *Arduino Pro Mini*, czujnik barometryczny BME280, czujnik deszczu FC-37, czujnik oświetlenia BH1750 i moduł radiowy Ra-02 (z SX1278 dla 433 MHz) systemu *LoRa*. Czujniki BH1750 i BME280 są połączone z mikrokomputerem przez magistralę I2C. Do ładowania akumulatora może służyć bateria słoneczna albo moduł ładowania TP4056. Czujnik BH1750 podaje natężenie światła bezpośrednio w luksach – do wartości maksymalnej 65535.

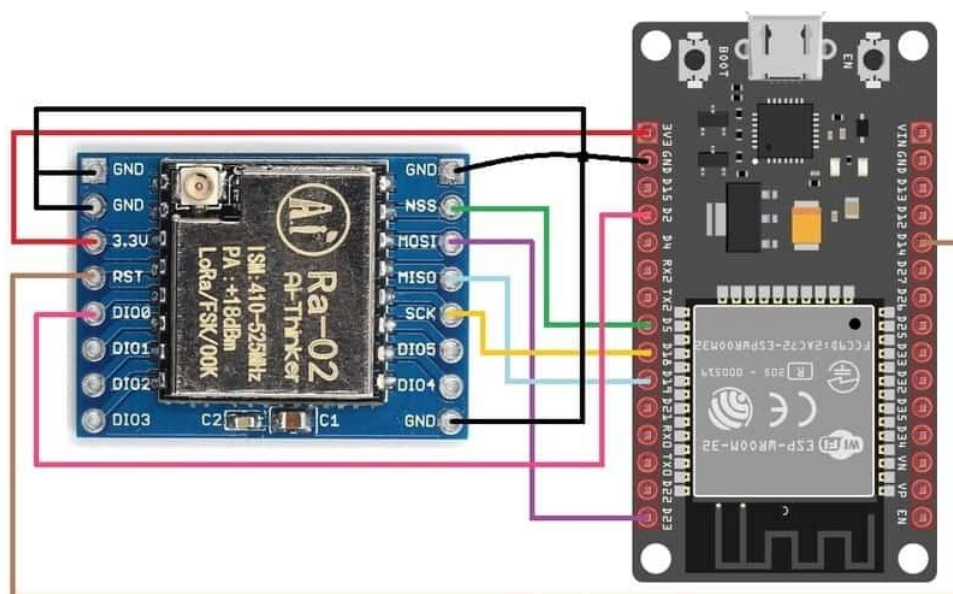
Przykładowe oprogramowanie stacji meteorologicznej i bramki WiFi wraz niezbędnymi bibliotekami dla *Arduina* znajduje się pod adresem

<https://how2electronics.com/lora-based-wireless-weather-station-with-arduino-esp32/>.

Bramka internetowa łączy się w podanym przykładzie z serwerem *Blynk* co pozwala na odczyt danych pomiarowych przez oprogramowanie *Blynk* na telefonie komórkowym. Bramka nie jest potrzebna w przypadku transmisji danych jedynie drogą radiową.



Fot. 1.2.4. Realizacja stacji na płytce próbnej



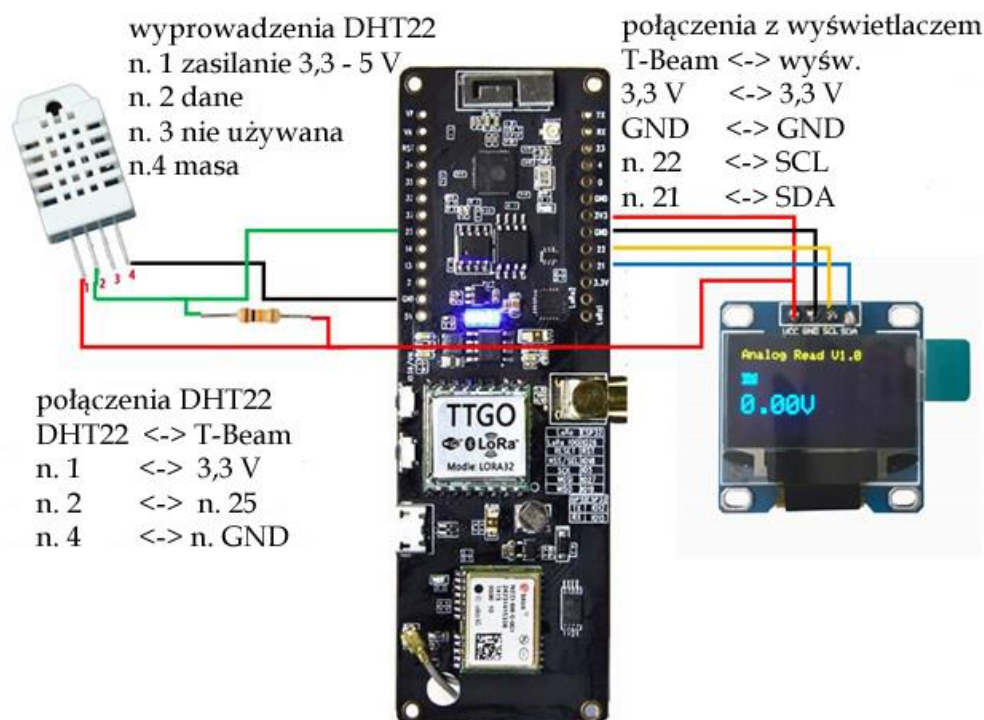
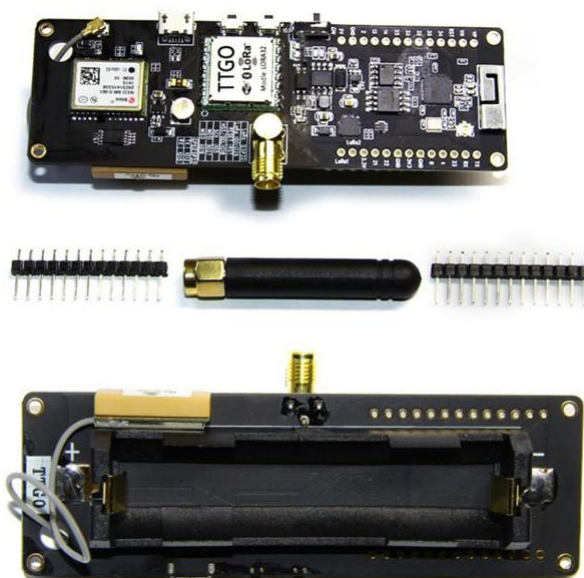
Rys. 1.2.5. Realizacja bramki internetowej na Ra-02 i module WiFi ESP32 (źródło: <https://how2electronics.com/lora-based-wireless-weather-station-with-arduino-esp32/>)

Prosta stacja meteorologiczna konstrukcji OE3CJB składa się z modułu *LoRa* TTGO T-Beam, czujnika temperatury i wilgotności względnej DHT22 i wyświetlacza polimerowego OLED 128 x 64 punkty (<https://oe3.ovsv.at/adl304/technikecke/technik/LoRa-APRS-Tracker/>). Moduł TTGO T-Beam pracuje w paśmie 433 MHz. Zawiera on procesor ESP32, odbiornik GPS NEO-6M i jest zasilany z akumulatora litowo-jonowego typu 18650.

W wersji podstawowej bez czujnika DHT22, wyświetlacza i ze standardowym oprogramowaniem może służyć do publikowania współrzędnych geograficznych APRS operatora. Oprogramowanie stacji meteorologicznej z DHT22 jest dostępne w Internecie pod adresem:

<https://github.com/oe3cjb/TTGO-T-Beam-LoRa-APRS>

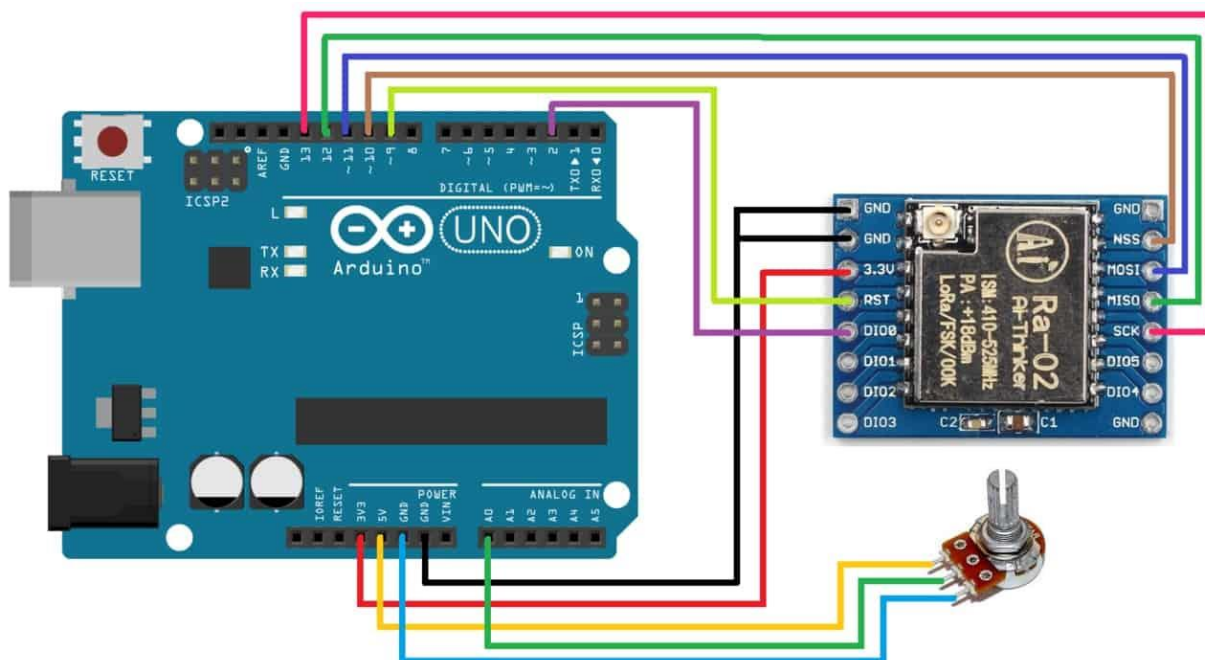
Jest to wersja eksperymentalna i może służyć za punkty wyjścia do dalszych prac i rozbudowy o dodatkowe funkcje.

Rys. 1.2.6. Prosta stacja meteorologiczna na *TTGO T-Beam* konstrukcji OE3CJBFot. 1.2.7. Moduł *TTGO T-Beam*

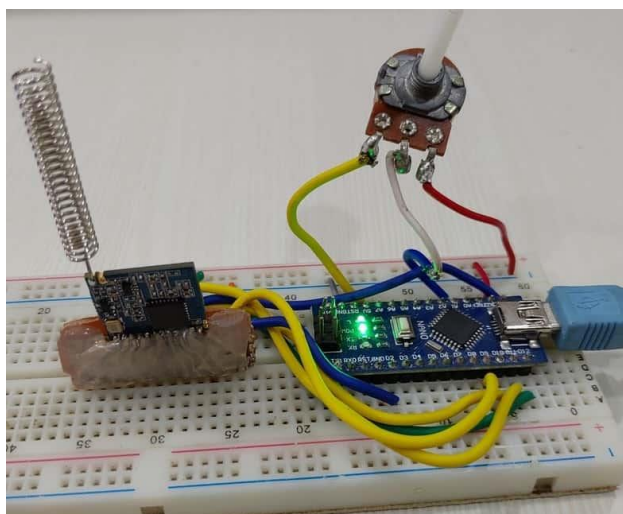
Czujniki są najczęściej połączone z mikrokomputerem za pomocą magistrali I2C lub jej nowszej wersji – magistrali I3C. W odróżnieniu od wyjść nadawczych z otwartym drenem lub kolektorem wymagających stosowania w układach oporników podciągających (ang. *pull-up*) w magistrali I3C stosowane są wyjścia przeciwsołbne (ang. *push-pull*). Zapewnia ona większą szybkość transmisji, pozwala na użycie w sieci więcej niż jednego mikrokomputera zarządzającego (nadrzędnego; ang. *master*) ale także kilku nadrzędnych mikrokomputerów pomocniczych oraz na łączenie elementów współpracujących z magistralą I2C i I3C. W obu magistralach do komunikacji służą przewody SCL i SDA.

Bardziej złożone elementy sieci takie jak wyświetlacze, nadajniki systemu *LoRa* itd. są podłączane za pomocą magistrali SPI. Występują w niej przewody MISO, MOSI, SCK i NSS. Do programowej obsługi obydwu magistral służą gotowe biblioteki dla różnych typów mikrokomputerów.

1.2.1. Eksperymenty dla początkujących



Rys. 1.2.1.1. Połączenie elementów stacji nadawczej

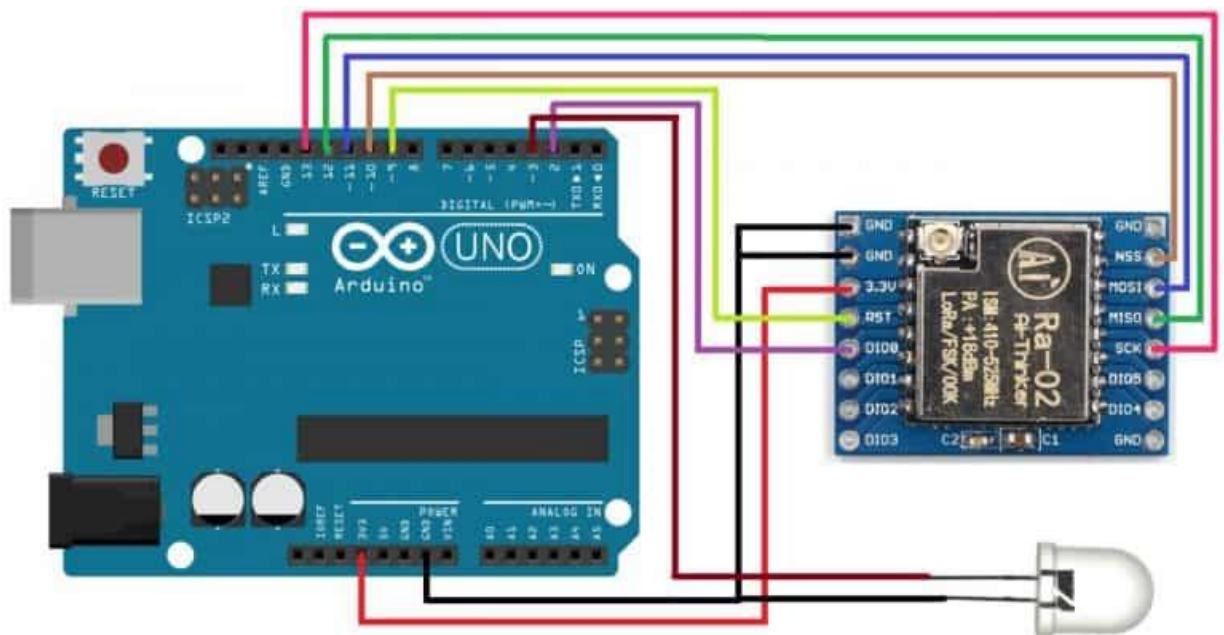


Fot 1.2.1.2. Doświadczalna konstrukcja nadajnika

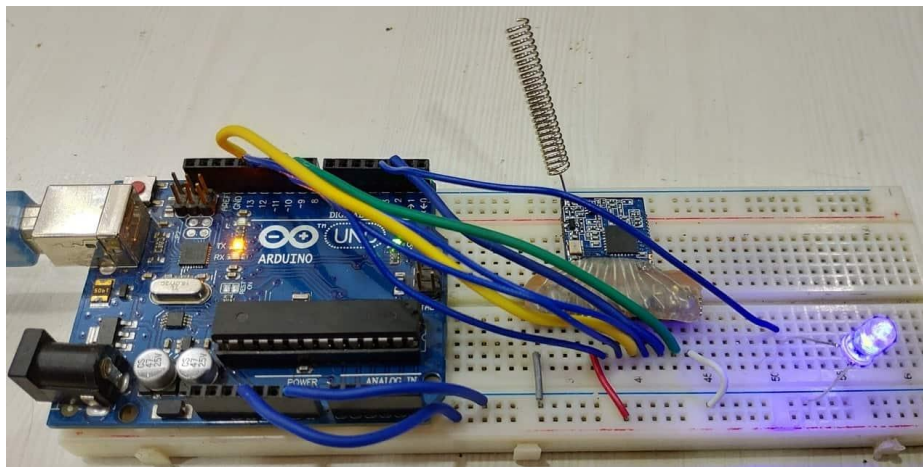
W lepszym zrozumieniu działania stacji nadawczo-odbiorczych systemu *LoRa* mogą pomóc zamieszczone poniżej programy dydaktyczne dla *Arduino UNO* połączonego z modułem Ra-02 (SX1278) na pasmo 433 MHz. Zdobyte w ten sposób doświadczenia można wykorzystać też we własnych projektach i zastosowaniach domowych albo we własnej stacji amatorskiej.

W poniższym przykładzie jasność diody świecącej po stronie odbiorczej jest regulowana za pomocą potencjometru 10 kΩ podłączonego do nadawczego mikrokomputera *Arduino*. Użyta w programie biblioteka obsługuje wszystkie moduły *LoRa* oparte na modemach SX1272, 1273, 1276, 1277, 1278, 1279 albo RFM95, 96, 97 i 98. Mogą one być zamontowane na płytkach rozszerzeń *Arduina* np. *Dragino* itp. Czulości odbiorników modemów SX dochodzą nawet do -148 dBm, a moce wyjściowe do 20 dBm (100 mW). Połączenie elementów nadajnika przedstawia schemat z rysunku 1.2.1.1. Moduł nadawczo-odbiorczy Ra-02 wymaga podłączenia anteny do widocznego na płytce w pobliżu górnej krawędzi gniazdka koncentrycznego. Nadawanie bez anteny powoduje uszkodzenie nadajnika. Moduł

SX1278 wymaga zasilania napięciem 3,3 V. Zasilanie napięciem 5 V spowoduje jego zniszczenie. Do komunikacji między *Arduinem* i *Ra-02* służy złącze SPI.



Rys. 1.2.1.3. Połączenia elementów stacji odbiorczej. Dioda świecąca dowolnego typu jest połączona z wyjściem D3 *Arduina*



Fot. 1.2.1.4. Doświadczalna konstrukcja odbiornika

Program nadawczy

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
int pot = A0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pot, INPUT);

  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Sender");
  if (!LoRa.begin(433E6)) { // lub 868E6, pasmo pracy modułu w MHz
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
  }
}
```

```

    while (1);
  }
}

void loop() {
  int val = map(analogRead(pot),0,1024,0,255);
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.print(val);
  LoRa.endPacket();
  delay(50);
}

```

Program odbiorczy

```

#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
int LED = 3;
String inString = ""; // zmienna na dane wejściowe
int val = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(LED,OUTPUT);

  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Receiver");
  if (!LoRa.begin(433E6)) { // lub 868E6
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}

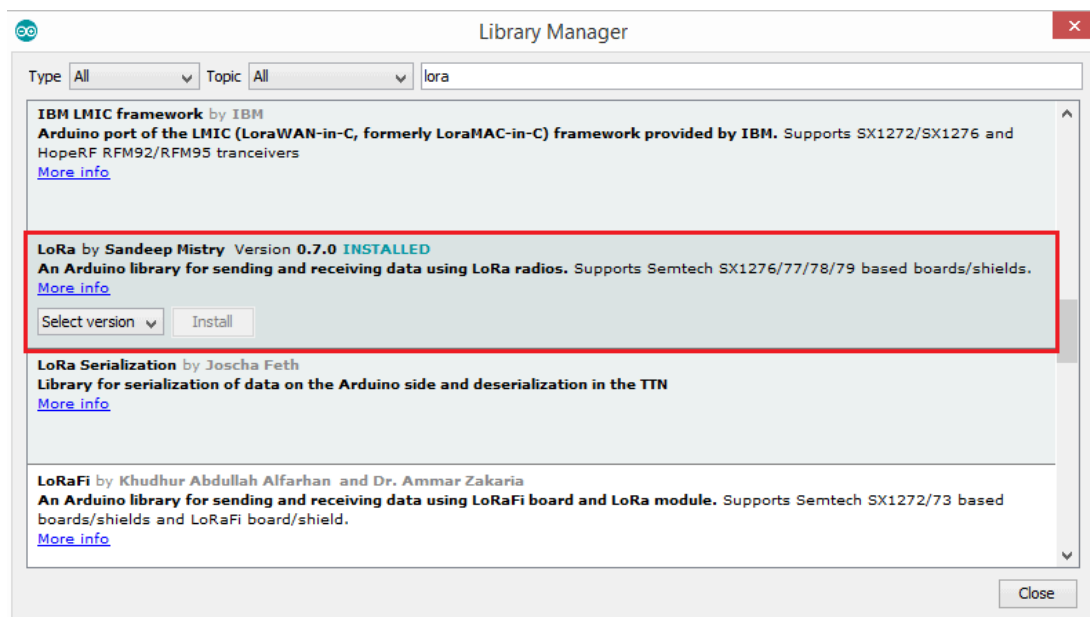
void loop() {

  // składanie pakietu
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    // odczyt pakietu
    while (LoRa.available())
    {
      int inChar = LoRa.read();
      inString += (char)inChar;
      val = inString.toInt();
    }
    inString = "";
    LoRa.packetRssi();
  }

  Serial.println(val);
  analogWrite(LED, val);
}

```

Po załadowaniu programów obracanie ośki potencjometru powinno powodować zmianę jasności diody. Eksperymenty są przeznaczone dla osób mających już pewną wiedzę na temat programowania *Arduina*.



Rys. 1.2.1.5. Instalacja biblioteki za pomocą menadżera bibliotek w środowisku *Arduino IDE*

1.2.2. Zdalnie sterowany przełącznik

Autorem konstrukcji przełącznika zdalnie sterowanego w systemie LoRa opublikowanego w poz. [1.2.1] jest DL8LAB. Program i plik w formacie programu *Sprint-Layout 6.0* do wykonania płytki drukowanej znajdują się w strefie pobrań *Funkamateura* na rok 2025 (www.funkamateur.de). Skomprimowane archiwum nosi nazwę *dl8lab_lora-schalter.zip*. Poszukiwania programu na *Githubie* nie zakończyły się niestety sukcesem. Stosunkowo proste i wymagające niewielkiej liczby podzespołów jest oparte na mikroprocesorze *Arduino Pro Mini* i module E32-400M20S na pasmo 433 MHz lub E32-900M20S na pasmo 868 MHz. Oba są wyposażone w złącze SPI. Zarówno moduł E32 jak i Arduino są zasilane napięciem 3,3 V przez przetwornicę i stabilizator.

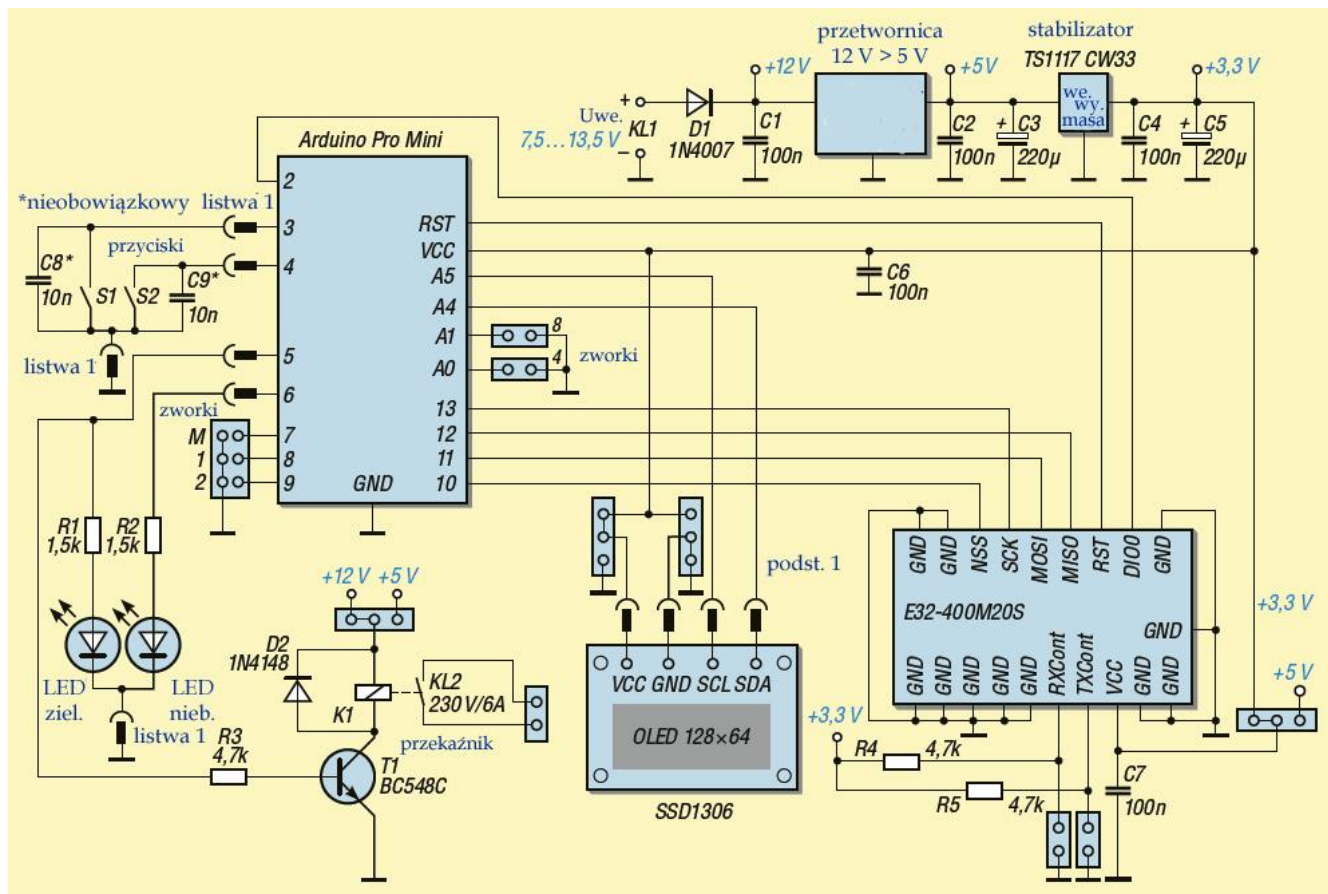
Naciśnięcie przycisku po stronie nadawczej powoduje przełączenie przekaźnika w odbiorniku i poinformowanie o jego stanie za pomocą diody świecącej. Kolor zielony oznacza stan roboczy, a niebieski – stan spoczynkowy. Jeżeli nie świeci żadna z diod oznacza to, że nie został nadany sygnał z nadajnika i przekaźnik znajduje się w stanie spoczynkowym. Również po włączeniu odbiornika przekaźnik przyjmuje stan spoczynkowy. Przy niezawodnie działającym połączeniu stan diod w nadajniku i odbiorniku jest identyczny. Jeżeli strona nadawcza nie odbierze pokwitowania od odbiorczej diody w odbiorniku zostają zgazzone. Dalsze informacje można odczytać na (ewentualnie podłączonym) wyświetlaczu OLED.

Schemat, płytka drukowana i oprogramowanie są identyczne dla nadajnika i odbiornika. W nadajniku do listwy kontaktowej podłączone są przyciski S1 i S2 służące jako włącznik i wyłącznik, a w odbiorniku przekaźnik K1. Do listwy są również podłączone diody świeące.

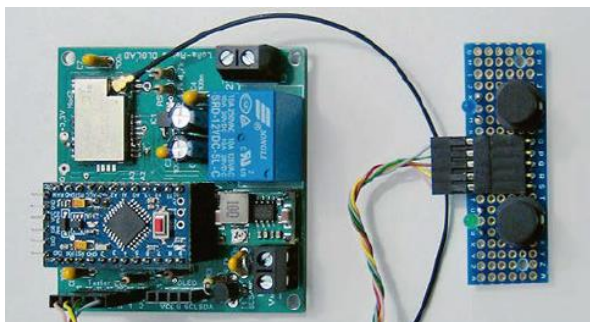
Na dolnej stronie płytki drukowanej znajdują się punkty lutownicze dla zworek konfiguracyjnych. Zworka M określa czy po ponownym włączeniu zasilania odbiornika przywracany jest ostatni stan przekaźnika czy też przyjmie on stan spoczynkowy. Zworki 1, 2, 4 i 8 umożliwiają przypisanie jednego z 16 adresów nadajnika i odbiornika. Pozwala to na równoległe uruchomienie większej liczby kanałów sterujących. Zworki należy lutować tylko przy wyłączonym zasilaniu.

Dioda D1 zabezpiecza przetwornicę obniżającą napięcie zasilania w przypadku odwrotnej polaryzacji na wejściu. Zworki po dolnej stronie płytki pozwalają na wybór napięcia dla przekaźnika: 12 V lub 5 V. W zależności od wykonania przekaźnik może przełączać prąd kilku amperów lub większy. Na płycie drukowanej o wymiarach 6 x 6 cm przewidziano też możliwość podłączenia wyświetlacza OLED za pośrednictwem magistrali I2C. Wyświetlacz ten nie jest niezbędny do pracy, ale pomocny w fazie uruchamiania. Jego obecność jest rozpoznawana automatycznie przez program. Autor zaleca wlutowanie podstawki lub listew kontaktowych dla *Arduino Pro Mini*.

W środowisku programistycznym Arduino można jako typ mikroprocesora wybrać *Arduino Pro* lub *Pro Mini*. Ograniczenia mocy odobowiązujące nielicencjonowanych operatorów w pasmach 433,050 – 434,790 MHz i 868 MHz nie obowiązują krótkofalowców co pozwala im na nastawienie maksymalnej mocy 100 mW – następuje to w linii *Lora.setTXPower*. Wartości 14 lub 15 odpowiadają mocy 10 mW. W linii *#define Frekwencja 433175000* podana jest częstotliwość pracy 433,175 MHz.



Rys. 1.2.2.1. Schemat ideowy



Fot. 1.2.2.2. Moduł nadawczy z przyciskami na oddzielnej płytce

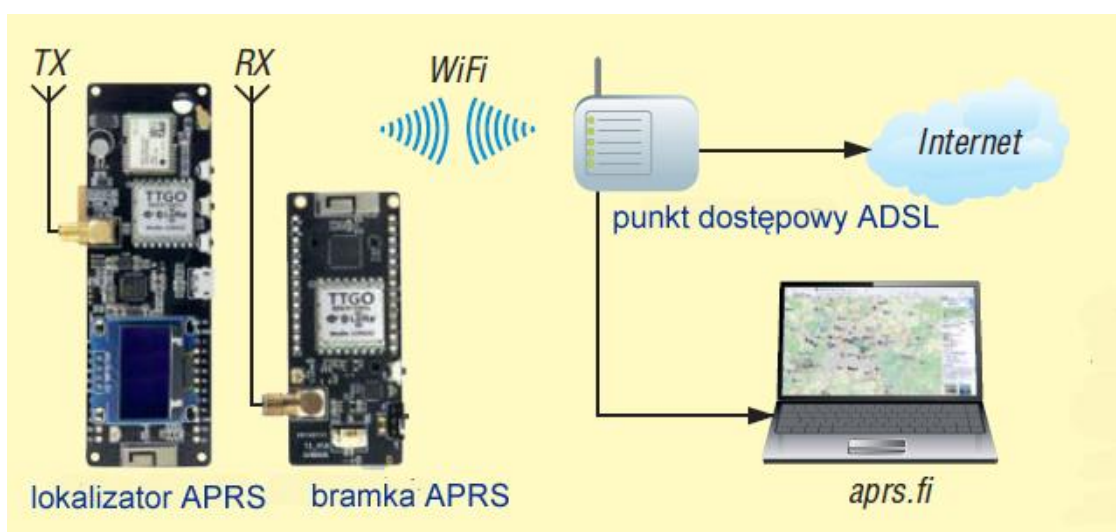


Fot. 1.2.2.3. Moduł odbiorczy

1.3. LoRa APRS

Od początku istnienia systemu APRS komunikaty są transmitowane na kilku ogólnie znanych częstotliwościach w pasmach 2 m i 70 cm emisją AX.25 AFSK – a więc przy użyciu dowolnych radiostacji FM. Szybkość transmisji wynosi standardowo 1200 bit/s. Na częstotliwościach krótkofalowych stosowana jest szybkość transmisji 300 bit/s. W transmisji LoRa APRS używane są częstotliwości pracy w podzakresach 433 i 434 MHz.

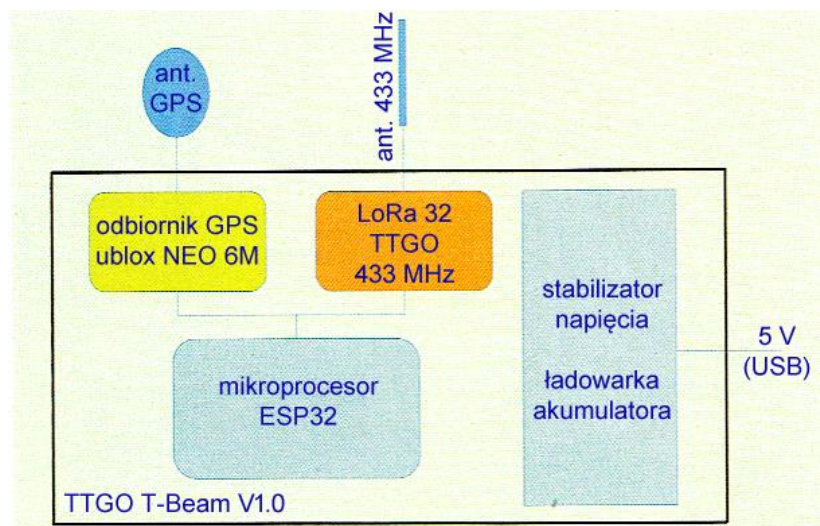
W klasycznym systemie komunikaty APRS nadawane przez stacje indywidualne są retransmitowane przez cyfrowe stacje przekąźnikowe (ang. *digipeater*) i dzięki temu są odbieralne na pewnym obszarze. W szczęśliwej sytuacji docierają one do bramek radiowo-internetowych skąd trafiają do serwerów APRS-IS i są widoczne na tle map w Internecie. Najpopularniejszą z takich witryn jest *aprs.fi*. Każda ze stacji indywidualnych może też służyć jako (uzupełniająca) stacja przekąźnikowa retransmitująca komunikaty do publicznych stacji przekąźnikowych i bramek internetowych.



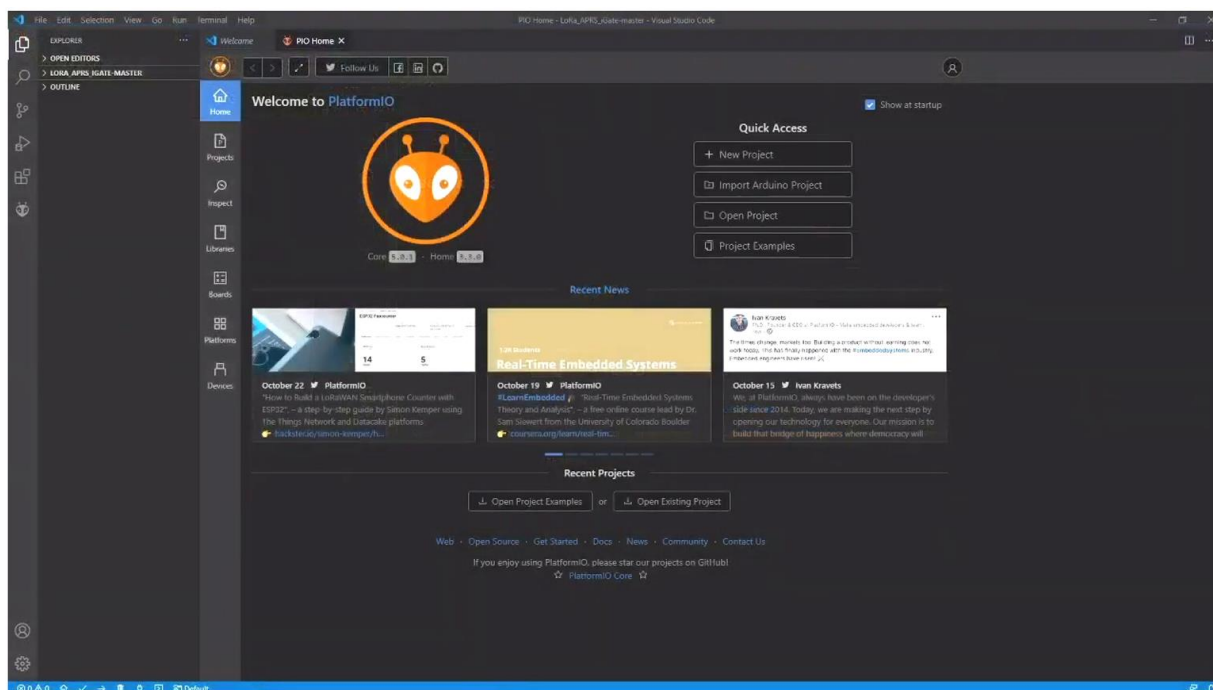
Rys. 1.3.1. Zasada transmisji danych pozycyjnych w systemie LoRa APRS. Dane pochodzące z lokalizatora (ang. *tracker*) są odbierane przez bramkę radiowo-internetową (ang. *iGate*) i przekazywane do serwera APRS-IS – *aprs.fi*. Jako nadajnik pracuje moduł TTGO T-BEAM, a jako odbiornik – LoRa32 firmy Lilygo

Stopniowo konkurentem tego rozwiązania staje się transmisja komunikatów w systemie *LoRa* – pracującym z rozpraszaniem widma sygnału. W zastosowaniach krótkofalarskich system pracuje w paśmie 70 cm z mocami nadajników nie przekraczającymi przeważnie 100 mW. Dzięki rozpraszaniu widma sygnału uzyskiwane są zasięgi od kilku do kilkunastu i więcej kilometrów. Szybkości transmisji są na ogół niskie i takie są też ilości przekazywanych danych. Łączność przebiega więc według zasady „powoli ale skutecznie”. Poprzez bramki radiowo-internetowym komunikaty docierają, tak jak w pierwszym przypadku, do serwerów APRS-IS i są wyświetlane na mapach. W odróżnieniu od rozwiązania klasycznego radiowa retransmisja komunikatów przez bramki internetowe i stacje indywidualne nie jest zalecana gdyż zwiększa tylko niebezpieczeństwo kolizji ograniczając w ten sposób skuteczną przepustowość kanału.

Do najważniejszych elementów sieci APRS-LoRa należą nadajniki komunikatów pozycyjnych (ang. *tracker*) – lokalizatory – i bramki radiowo-internetowe (ang. *iGate*). Stosunkowo niewielkim kosztem i przy małym zapotrzebowaniu na energię – pozwalającym na zasilanie z akumulatorów – uzyskuje się sieci przydatne także w ramach akcji ratunkowych i łączności kryzysowych. Bramki internetowe pracują wyłącznie odbiorczo i mogą być uruchamiane również przez nasłuchowców i inne osoby zainteresowane, ale nie posiadające (jeszcze) licencji. Stacje meldujące pozycję pracują nadawczo i do ich uruchomienia konieczna jest licencja amatorska. W ich konfiguracji konieczne jest podanie znaku wywoławczego operatora.



Rys. 1.3.2. Schemat blokowy płytki TTGO T-Beam (źródło: [1.3.8])



Rys. 1.3.3. Okno główne środowiska PlatformIO

W obu rodzajach stacji stosowane są moduły mikrokomputerów z procesorami ESP32 i nadawczo-odbiorcze moduły LoRa (modemy) SX1278. Mogą być to przykładowo modele *TTGO T-Beam V1.1* ESP32, TTGO LoRa32, Heltec WiFi LoRa 32 itd. W bramkach internetowych znajdują zastosowanie moduły bez odbiorników GPS – wystarczy wprowadzenie stałych współrzędnych w konfiguracji, natomiast nadajniki komunikatów pozycyjnych powinny być wyposażone w odbiorniki satelitów GPS. Do połączenia z Internetem bramki korzystają ze złącza WiFi. Pierwszy z wymienionych typów posiada odbiornik GPS i znajduje zastosowanie w stacjach meldujących położenie, a dwa dalsze jako nie wyposażone w GPS nadają się głównie do pracy w bramkach. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie wykorzystaniu pierwszego modelu do pracy w bramkach, o ile zakup większej liczby identycznych urządzeń okaże się korzystniejszy finansowo. Modele *T-Beam* posiadają pojemniki dla akumulatorów typu 18650 i mogą dzięki temu być zainstalowane w miejscach, w których niemożliwe jest zasilanie z sieci. Jako obudowę można wykorzystać wprawdzie dowolne pudełko o pasujących wymiarach, ale w Internecie oferowane są obudowy dopasowane do wymiarów różnych typów płytek. Możliwe jest również ich

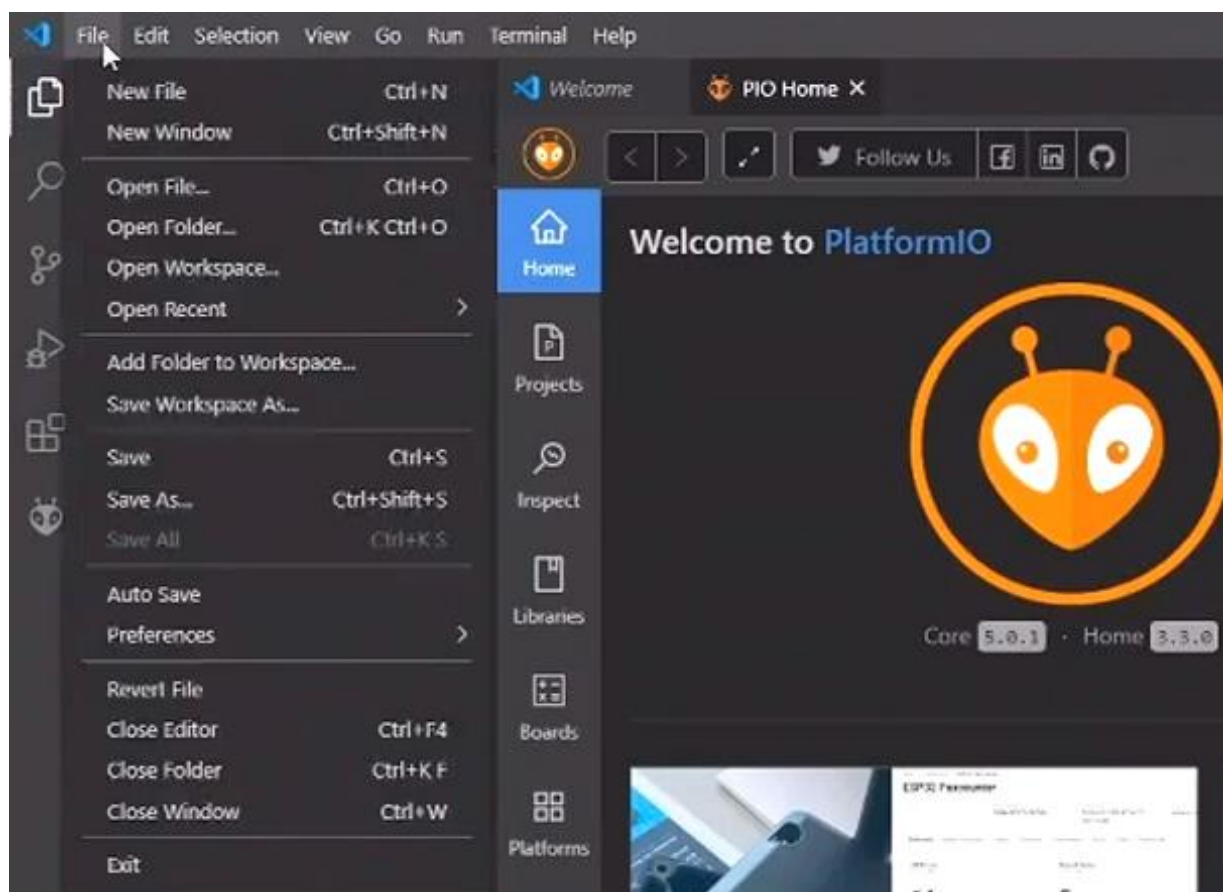
samodzielne wydrukowanie na drukarce trójwymiarowej (3-D) w oparciu o dostępne w Internecie pliki konstrukcyjne.

Praktyczne jest, gdy posiadają one wyświetlacz – nawet tylko o rozdzielczości 128 x 64 punkty. Część modułów jest fabrycznie wyposażona w wyświetlacze, ale ewentualne podłączenie go we własnym zakresie nie jest sprawą skomplikowaną. Konieczne jest połączenie masy, zasilania oraz sygnałów SDA i SCL złącza I2C – czyli w sumie czterech przewodów.

Oferowane w zestawach anteny bywają niedostrojone dokładnie do częstotliwości pracy, korzystne może okazać się zastąpienie ich przez skuteczniejsze. Dla upewnienia się czy warto je zamienić można zmierzyć rezonans i przebieg WFS w zakresie pasma 70 cm korzystając z analizatora antenowego.

Komunikaty APRS można uzupełnić o dane telemetryczne takie jak ciśnienie atmosferyczne, temperaturę i wilgotność względna po dodaniu czujnika BME280, BME680 lub podobnego, o inne wielkości pomiarowe zależne od typu czujnika (np. również napięcie zasilania, jakość powietrza) albo o dowolne teksty. Niektóre wersje oprogramowania oferują standardowo takie możliwości. Dla części z nich dostępne są także kody źródłowe co pozwala bardziej doświadczonym programistom na dodanie dowolnej pożądanej funkcjonalności.

Oprogramowanie stacji meldującej pozycję i bramki autorstwa OE5BPA jest dostępne odpowiednio pod adresami [1.3.2] i [1.3.3], a oparte na nim oprogramowanie CA2XRU pod [1.3.10]². Spakowane archiwum programu jest pobierane po naciśnięciu w oknie *githuba* zielonego przycisku „Code” i wybraniu w menu punktu „Download ZIP”. Archiwum należy następnie rozpakować do dowolnego katalogu (foldera) na PC. Oprogramowanie nie posiada serwera HTTP i dlatego konieczne jest wprowadzenie parametrów konfiguracyjnych w kodzie źródłowym.



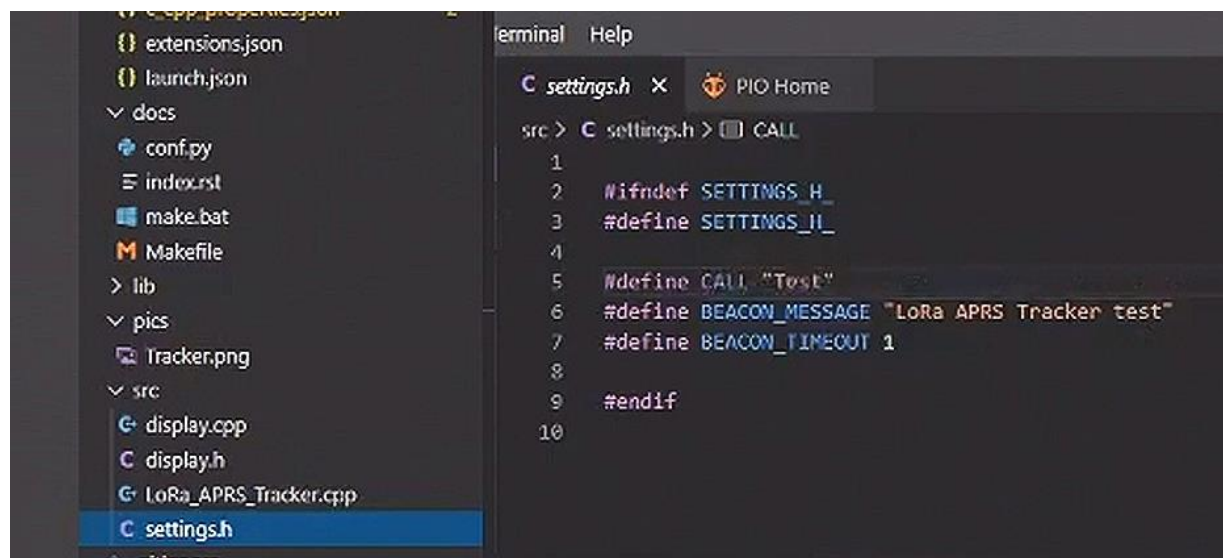
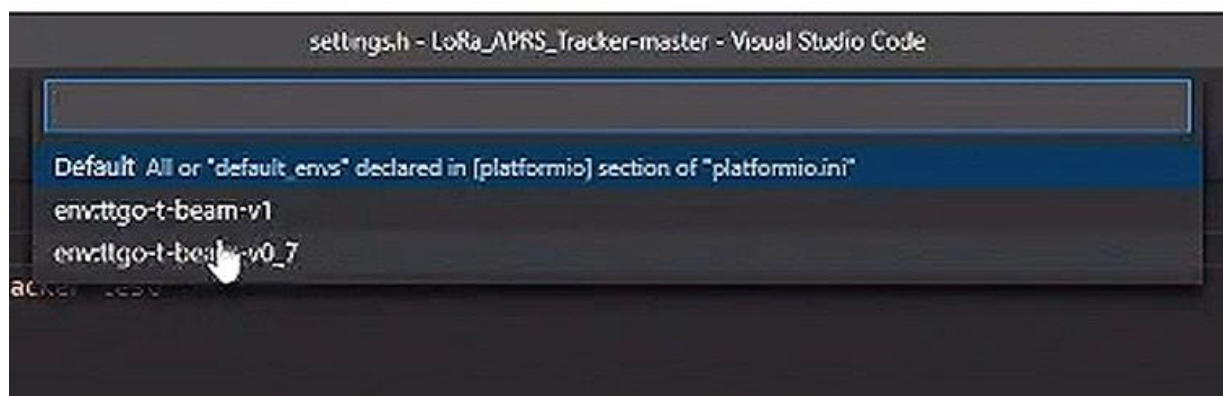
Rys. 1.3.4. Otwieranie katalogu programu

Wpisanie oprogramowania do mikrokomputera wymaga uprzedniego zainstalowania na PC najpierw środowiska programistycznego *Visual Studio Code* (VSCode), a następnie – *PlatformIO* IDE [1.3.4]. Konieczne może być też zainstalowanie sterowników dla złącza USB: TTGO POE Board CH340,

² Program pracuje na modułach TTGO T-Beam, TTGO Lora32, TTGO T-TECKRAK, Heltec V2 i V3 i in.

Heltec CP210X itp. Podane w objaśnieniach na stronach [1.3.2] lub [1.3.3] dodatkowe biblioteki (j.np. APRS-Decoder-Lib) są pobierane automatycznie przez *PlatformIO* w trakcie kompilacji. Przeważnie znajdują się one na Githubie. Oprócz wersji dla systemu Windows istnieje również wersja dla Linuksa. Po otwarciu *PlatformIO* (rys. 1.3.3) należy przez menu „File | Open folder” („Plik | Otwórz katalog”) wybrać katalog z rozpakowanym programem (nadajnika lub bramki w zależności od realizowanej konstrukcji) – patrz rys. 1.3.4. Program w nim zawarty jest wówczas ładowany do środowiska programistycznego. Po załadowaniu w lewym oknie eksploratora wyświetlany jest spis plików programu (struktura projektu). Z dzungli plików należy wybrać jedynie plik nagłówkowy *settings.h*. Jego treść zostaje wyświetlona w prawym oknie. Plik zawiera kilka poleceń *#define*, w których należy podać własny znak wywoławczy, część tekstową komunikatu APRS i odstęp czasu między transmisjami (rys. 1.3.5).

Kolejnym krokiem jest wybór typu mikrokomputera. Po naciśnięciu napisu „Default” w niebieskiej linii informacyjnej u dołu okna otwierane jest u góry okienko wyboru wersji (rys. 1.3.6). Program nadawczy może pracować zarówno na TTGO V0.7 jak i V1. Należy wybrać wersję zgodną z posiadaną płytką. W celu skompilowania i załadowania programu do pamięci mikrokomputera należy nacisnąć w dolnej niebieskiej linii strzałkę skierowaną w prawo (rys. 1.3.7). Płytkę mikroprocesora powinna zostać podłączona do PC przez złącze USB zaraz po otwarciu programu *PlatformIO*. Ładowanie programu trwa dobrą chwilę. Po jego zakończeniu można odłączyć mikroprocesor od PC i jest on już gotowy do użycia. Po pierwszym włączeniu albo po dłuższym czasie nieużywania proces synchronizacji odbiornika GPS może trwać 10 – 15 minut. Transmisja komunikatów APRS rozpoczyna się dopiero po odebraniu kompletnych danych pozycyjnych z satelitów GPS. W przypadku wystąpienia błędów w trakcie ładowania najlepiej jest skasować zawartość pamięci mikrokomputera (za pomocą funkcji „Erase Flash” środowiska programistycznego) i załadować program ponownie.

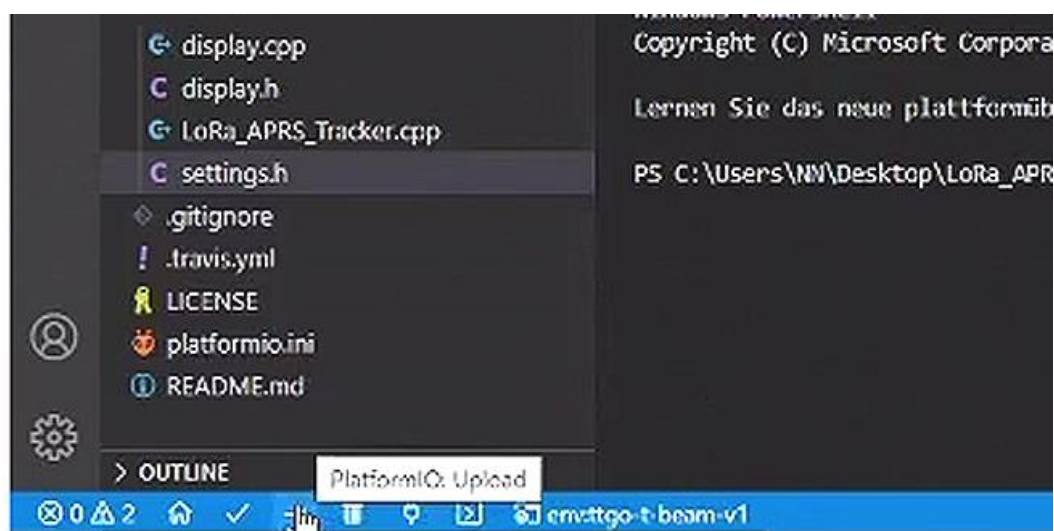
Rys. 1.3.5. Plik *settings.h*

Rys. 1.3.5. Wybór wersji mikrokomputera

Każda późniejsza zmiana parametrów konfiguracyjnych wymaga ponownej kompilacji i załadowania programu do pamięci mikrokomputera.

Analogicznie przebiega ładowanie oprogramowania bramki internetowej. Wybór modułów mikroprocesorów jest szerszy, ponieważ nie muszą one posiadać odbiornika GPS i pojemnika dla akumulatora (są przeważnie instalowane w miejscach, gdzie nie ma problemów z zasilaniem z sieci). Współrzędne geograficzne stacji są podawane w konfiguracji oprogramowania. Dane konfiguracyjne są zawarte w pliku *is-cfg.json*. Należą do nich znak wywoławczy lub nazwa stacji (w przypadku osób nielicencjonowanych), dane dostępowe do lokalnej sieci WLAN, komunikat APRS, współrzędne geograficzne stacji, hasło dostępu do sieci APRS-IS, adres serwera sieci i numer kanału logicznego (ang. *port*). Jako serwer dostępowy APRS-IS można pozostawić *euro.aprs2.net*. Generator hasła dostępu w oparciu o znak lub nazwę stacji znajduje się w Internecie pod adresem [1.3.5] (rys. 1.3.9). Po załadowaniu programu identycznie jak w pierwszym przypadku należy dodatkowo załadować plik konfiguracyjny *is-cfg.json*. W tym celu po naciśnięciu symbolu główki zagadkowego stworzenia (można widzieć w nim mrówkę) konieczne jest wybranie w lewym oknie eksploratora używanej płytki mikrokomputera (np. *envttgo-lora32-v2*) w przykładzie z fot. 1.3.2, następnie należy przejść do punktu „Platform” poniżej i wybrać „Upload Filesystem Image” (rys. 1.3.7). W przypadku pojawienia się na ekranie meldunku błędu najczęściej pomaga ponowne załadowanie pliku konfiguracyjnego. Po wyświetleniu meldunku o braku jakiejś biblioteki trzeba dopisać jej nazwę w pliku *platformio.ini*.

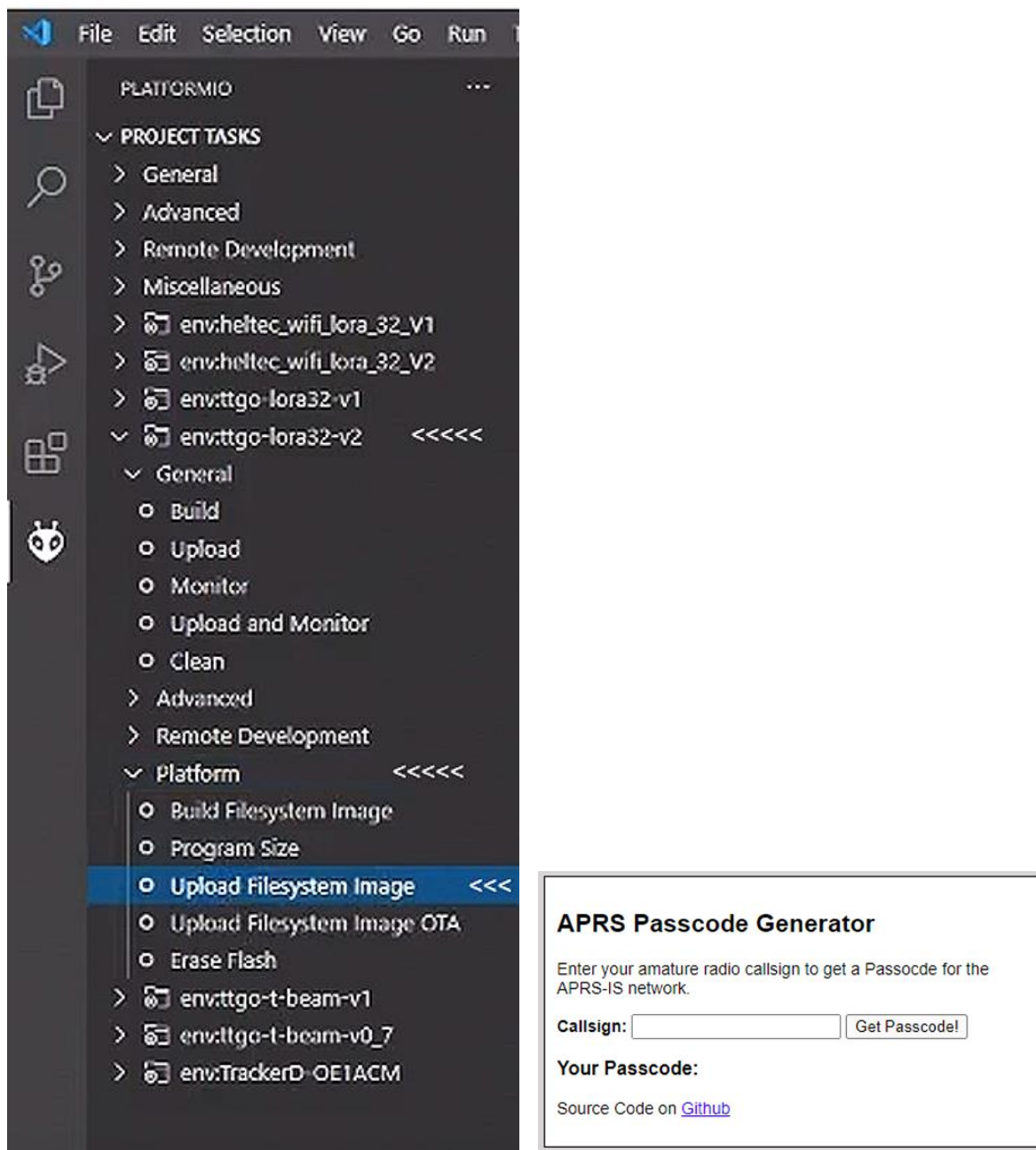
O ile w klasycznym systemie APRS bramki radiowo-internetowe były instalowane w miejscach dogodnych i zapewniających możliwie duże zasięgi, o tyle w sieci APRS-LoRa korzystniejsza jest instalacja możliwie dużej liczby bramek o niedużych zasięgach – nawet przy oknie mieszkania lub na balkonie. Zmniejsza się w ten sposób niebezpieczeństwo kolizji pakietów danych. Stacje stałe powinny z tego samego względu nadawać komunikaty nawet co 20 minut lub rzadziej. Stacje pracujące z samochodu nie powinny nadawać częściej niż co minutę – najlepiej, aby odstęp czasu zależał od szybkości ruchu (ang. *smart beaconing*). Nie powinny one retransmitować radiowo odebranych komunikatów aby nie zwiększać obciążenia kanałów radiowych. Bramki uruchamiane przez osoby nie posiadające licencji tym bardziej nie powinny pracować nadawczo. Korzystne jest, aby bramki pracowały na okrągło bez przerw. O ile w przypadku stacji nadawczych meldujących radiowo swoje położenia praca bezobsługowa (bez obecności operatora w pobliżu) wymaga uzyskania specjalnej licencji, o tyle bramki czysto odbiorcze mogą pracować bez nadzoru i specjalnych zezwoleń.



Rys. 1.3.7. Ładowanie programu do pamięci mikrokomputera

W Austrii i w Niemczech w sieci APRS *LoRa* stosowana jest częstotliwość 433,775 MHz, współczynnik rozpraszania (SF w terminologii *LoRa*) 12, szerokość pasma 125 kHz, szybkość transmisji 183 bit/s i stopa danych korekcyjnych CR 4/5, co oznacza położenie nacisku na większe zasięgi i niezawodność transmisji. Często stosowanym rozszerzeniem dla stacji indywidualnych jest -7, a dla bramek internetowych -10. Standardowym symbolem dla stacji indywidualnych jest symbol pieszego. Można go oczywiście zmienić na dowolny inny pasujący do sytuacji. W Polsce stosowana jest (w chwili powsta-

wania niniejszego skryptu) częstotliwość 434,855 MHz, szerokość pasma 125 kHz, stopa danych korekcyjnych CR 4/7 i współczynnik rozpraszania SF równy 9 co zapewnia szybkość transmisji netto zbliżoną do 1200 bit/s (jak w klasycznym wydaniu APRS). Szczegółowej analizie doboru parametrów transmisji i uzyskiwanych wyników poświęcony jest punkt 1.1. Ponieważ krótkofalarstwo jest służbą eksperymentalną zachęcamy użytkowników do wypróbowania innych zestawów parametrów.



Rys. 1.3.8. Dodatkowy krok przy ładowaniu konfiguracji bramki radiowo-internetowej (po lewej)
 Rys. 1.3.9. Okno generatora hasła dostępu do APRS-IS. Należy wpisać w nim znak wywoławczy lub przyjętą nazwę bramki i nacisnąć przycisk „Get Passcode!” (po prawej). Niektóre ze spotykanych w Internecie generatorów haseł dostępu generują dla znaków stacji z rozszerzeniem inne hasła niż dla znaku podstawowego. Hasła te nie są przyjmowane przez sieć APRS-IS

Oprogramowanie OE5BPA jest jednym z możliwych programów dla stacji APRS pracujących w systemie LoRa. Jest ono znane i rozpowszechnione nie tylko w Austrii ale i w innych krajach. W Polsce znane jest oprogramowanie SQ9MDD oparte na opracowaniu austriackich krótkofalowców OE1ACM i OE3CJB. Sprawa będzie się z pewnością dalej rozwijać dynamicznie i należy spodziewać się powsta-

wania nowych programów i udoskonalonych wersji obecnych. Postaramy się uwzględnić je w przyszłych publikacjach.

Oprogramowanie SQ9MDD pracuje na modułach *TTGO T-beam* v.0.7 i v.1.0 oraz Lora32. Oferuje ono również funkcjonalność TNC w trybie KISS (rys. 1.3.10).

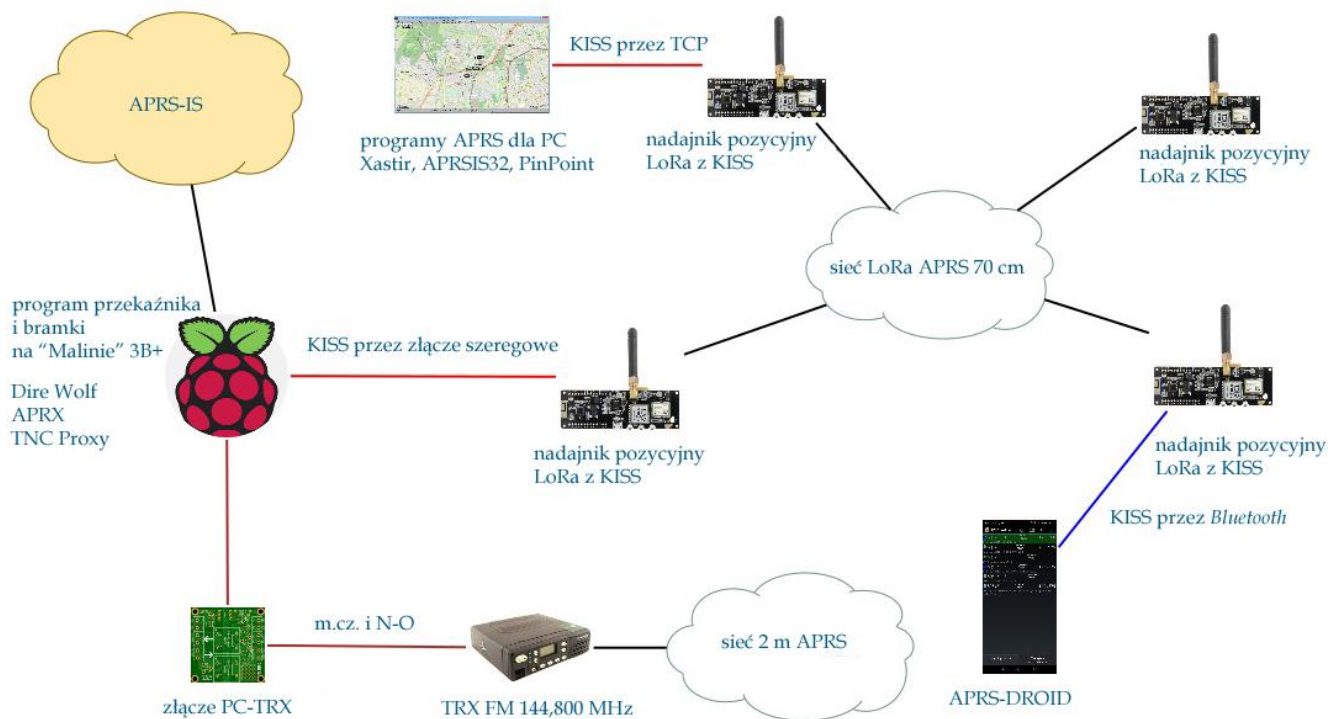
Uruchomienie programu na modułach LoRa wymaga pobrania go z *githuba* ze strony:

<https://github.com/SQ9MDD/TTGO-T-Beam-LoRa-APRS/releases> a następnie zainstalowania programu ładującego esphome ze strony <https://github.com/esphome/esphome-flasher/releases>.

Następnie należy podłączyć moduł *LoRa* do złącza USB i wywołać program ładujący. Dla zapewnienia komunikacji z mikroprocesorem konieczne może być też zainstalowanie sterownika CP210X. W programie ładującym należy wybrać złącze szeregowo, do którego jest podłączony moduł i plik oprogramowania pobrany z *githuba*, a na koniec nacisnąć przycisk ekranowy „Flash ESP”.

Do zainstalowania oprogramowania z plików źródłowych konieczne jest, jak w przypadku programu OE5BPA, użycie środowiska *Visual Studio Code* i uzupełnienia *PlatformIO*.

Po otwarciu *PlatformIO* należy wczytać kod źródłowy przy użyciu punktu „Import Arduino Project”, potem nacisnąć na symbol głowy mrówki i na punkt ładowania „Upload”. Uruchomienie programu wymaga połączenia się z modułem i skonfigurowania dostępu do lokalnej sieci bezprzewodowej WiFi przez podanie nazwy sieci i hasła dostępu. Konfiguracja parametrów APRS wymaga podania częstotliwości nadawania i odbioru, szybkości transmisji (domyślnie jest to 300 bodów), wprowadzenia znaku wywoławczego stacji z rozszerzeniem, wybrania symbolu stacji oraz wyboru treści komunikatu i wprowadzenia jego tekstu. Konieczne jest też ustalenie odstępów czasowych między kolejnymi transmisjami.



Rys. 1.3.10. Możliwe sposoby wykorzystania oprogramowania SQ9MDD

1.4. „PicoAPRS LoRa”

Rozwiązaniem wygodnym i od razu gotowym do użycia jest radiostacja *PicoAPRS Lora* produkcji *Wimo*, sprzedawana obecnie w wersji 4. Jest ona odmianą znanej już poprzednio radiostacji *PicoAPRS*. Nieprodukowana już *PicoAPRS* pracuje z maksymalną mocą 1 W w standardzie AX.25 na znormalizo-

wanej częstotliwości naziemnej 144,800 MHz (144,825 MHz w transmisji satelitarnej) i pozwala dodatkowo na prowadzenie łączności fonicznych.

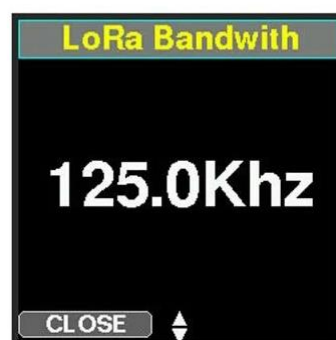
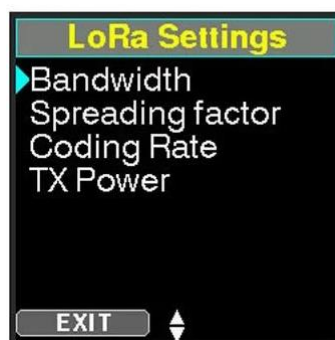
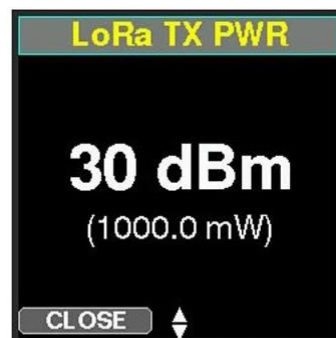
PicoAPRS Lora pracuje z maksymalną mocą 0,4 W na stosowanej w Europie częstotliwości 433,775 MHz ze standardowymi europejskimi parametrami transmisji *LoRa*. Możliwa jest jedynie transmisja komunikatów *LoRa*. Radiostacja może pracować również jako bramka radiowo-internetowa *iGate* systemu *LoRa*. *PicoAPRS Lora* jest wyposażona w kolorowy wyświetlacz o rozdzielczości 240 x 240 punktów i wielofunkcyjny manipulator na przedniej ścianie. Manipulator wymaga wprowadzenia pewnego przyzwyczajania ze strony użytkownika, ale upraszcza obsługę w porównaniu ze stosowanymi w poprzednich wersjach dwoma przyciskami. Podobnie jak w przypadku *PicoAPRS* dla AX.25 wszystkie parametry związane z transmisją radiową są fabrycznie zapisane i konieczne jest jedynie wprowadzenie własnego znaku wywoławczego. Radiostacja jest wyposażona w złącza WiFi i *Bluetooth* i gniazdko antenowe SMA. Gniazdko USB-C służy do połączenia z PC i do ładowania akumulatora. W sytuacjach niebezpiecznych operator może wezwać pomoc korzystając z wbudowanej funkcji alarmowej. Radiostacja ma wymiary 33 x 66 x 25 mm i masę około 60 g. Antena i ładowarka nie wchodzi w skład wyposażenia i muszą być zakupione oddzielnie. Operator ma jednak dzięki temu więcej swobody w doborze anteny.



Fot. 1.4.1. PicoPAPRS LoRa



Fot. 1.4.2. Okna konfiguracyjne parametrów transmisji



1.5. Inne zastosowania modułów LoRy

Codziennie o ustalonych międzynarodowo godzinach wypuszczane są do atmosfery balony meteorologiczne. Umieszczone na ich pokładach sondy pozwalają na pomiar co najmniej ciśnienia atmosferycznego, temperatury, punktu rosy i wilgotności otoczenia. Dane te są przesyłane na ziemię drogą radiową. Po osiągnięciu wysokości 15 – 30 km balony pękają i transportowane przez nie sondy spadają na spadochronach na ziemię. Ich śledzenie i poszukiwanie stało się nową gałęzią krótkofalarskiego hobby. Oprócz podstawowych pomiarów meteorologicznych czasami prowadzone są pomiary innych wielkości interesujących naukowców j.np. natężenia promieniowania radioaktywnego, stężenia ozonu. Zainteresowanych czytelników odsyłamy do poz. [1.5.1] i [1.5.4].

Wyniki pomiarów są nadawane radiowo w paśmie 400 – 406 MHz. Moc nadajników jest przeważnie ograniczona do 100 mW dla wysokości poniżej 10 km i do 300 mW dla wysokości do 30 km. Stosowane jest kluczkowanie GFSK, a szerokość kanału w.cz. wynosi 5 – 10 kHz. Do odbioru sygnałów

nadawanych przez sondy najprościej jest użyć dowolnego odbiornika amatorskiego (lub radiostacji amatorskiej) odbierającego wąskopasmową modulację FM (NFM – stosowana w pasmach amatorskich), pokrywającego zakres 400 – 406 MHz i połączonego z komputerem. Konieczne jest aby miał on gniazdo danych – jak to ma miejsce w wielu modelach radiostacji amatorskich – ponieważ pasmo przenoszenia wzmacniaczy m.cz. jest za wąskie do odbioru modulacji cyfrowych.

Rozwiązaniem lekkim i energooszczędnym jest wykorzystanie jako odbiorników modułów LoRa 433 MHz LILYGO, TTGO, TTGO T-Beam i Heltec TTGO LoRa. Wbudowany w nich układ nadawczo-odbiorczy LoRa SX127x nie jest ograniczony tylko do tej emisji. Pozwala on na pracę emisjami GFSK, FSK, MSK, GMSK iOOK (CW) i może znaleźć szersze zastosowanie w różnych opracowaniach krótkofalarskich. Oprogramowanie pozwalające na odbiór sond typów RS41SG/SGP, M10, M20 i innych oraz instrukcja jego instalacji znajdują się w witrynie [1.5.2].

Użytkownicy modułów TTGO mają do dyspozycji androidowy program śledzący *MySondy GO* [1.5.3].

1.6. Bramka między sieciami LoraAPRS i APRS

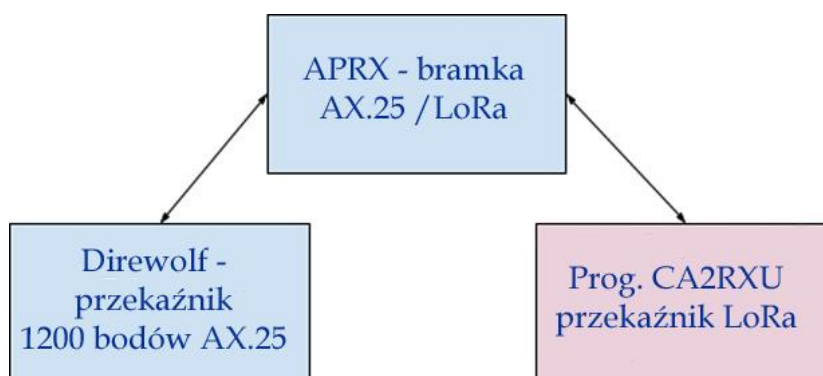
Opisana w witrynie [1.6.1] bramka łączy sieci APRS pracujące emisją AX.25 i pracujące w systemie LoRa bez pośrednictwa internetowej sieci APRS-IS (serwera *aprs.fi*). Sieć APRS wykorzystująca emisję AX.25 pracuje w większości w paśmie 144 MHz z przepływnością 1200 bodów.

Aby uniknąć zatłoczenia kanałów radiowych bramka musi ograniczyć się do retransmisji tylko bezpośrednio odbieranych pakietów (retransmisja wszystkich mogłaby spowodować zapętlenie się tras). Konieczne jest ograniczenie się do retransmisji między sieciami wyłącznie pakietów pozycyjnych i komunikatów i wyłączenia z niej danych telemetrycznych, obiektów APRS różnego rodzaju i pakietów powtarzanych zbyt często. Operator powinien mieć możliwość przerwania w każdym momencie połączenia między sieciami gdyby działało się coś niepożądanego.

Po stronie sieci 2 m APRS AX.25 można zastosować modem TNC pracujący w trybie KISS podłączony bezpośrednio lub przez TCP albo skorzystać z linuksowego oprogramowania AX.25. W tym ostatnim przypadku program pośredniczący APRX miewa trudności przy korzystaniu z innych znaków niż przypisane do złączy radiowych. Po stronie sieci LoRa w paśmie 70 cm należy uruchomić moduł LoRa z oprogramowaniem CA2RXU i włączyć w nim serwer TNC i tryb *Serial KISS* [1.6.2].

Jako pośrednik między sieciami pracuje program APRX dostępny w *githubie* pod adresem [1.6.3]. Jest to oprogramowanie wielokanałowego przekaźnika cyfrowego pozwalające na retransmisję pakietów między wybranymi kanałami.

W konfiguracji autora poz. [1.6.1] po stronie 2-metrowej pracuje programowy modem *Direwolf*, a po stronie 70-centymetrowej moduł TTGO.



Rys. 1.6.1. Schemat blokowy bramki

Poniżej jako przykład przytaczamy plik konfiguracyjny *aprx.conf* autora strony [1.6.1]. APRX wymaga używania różnych znaków po obu stronach, dlatego też w przykładzie po stronie 2-metrowej podany jest znak F4FLX-4, a po stronie 70-centymetrowej – F4FLX-11.

```
# znak bramki z rozszerzeniem,
# różnych znaków wymaga wyłącznie APRX

mycall F4FXL-11

# !!!! podać własną lokalizację
myloc lat 4849.50N lon 00736.28E

# dane do dziennika pracy
<logging>
    pidfile /var/run/aprx.pid
    rflog /var/log/aprx/aprx-rf.log
    aprxlog /var/log/aprx/aprx.log
    #erlangfile /var/run/aprx.state
</logging>

# kanały (ang. interface)
# F4FXL-4 znak strony 2-metrowej
<interface>
    tcp-device      127.0.0.1 8001 KISS # direwolf IP
    callsign        F4FXL-4
    tx-ok           true # nadawanie dozwolone
    telem-to-is     false # telemetria niedozwolona
</interface>

# F4FXL-11 kanał LoRa
<interface>
    tcp-device      192.168.123.192 8001 KISS # adres TTGO w lokalnej sieci LAN
    callsign        F4FXL-11 # nadawanie dozwolone
    tx-ok           true
    telem-to-is     false
</interface>

# Transmisje radiolatarni
# Pierwsza w kanale LoRa
<beacon>
    beaconmode      radio
    cycle-size 30m
    beacon symbol B# $myloc comment "VHF <=> LoRa Bridge (LoRa Side)" srccall F4FXL-11
interface F4FXL-11 via WIDE1-1
    beacon symbol B# $myloc comment "VHF <=> LoRa bridge (LoRa Side)" srccall F4FXL-11
interface F4FXL-11
</beacon>
# druga w kanale AX.25 na 2 m
<beacon>
    beaconmode      radio
    cycle-size 30m
    beacon symbol B# $myloc comment "VHF <=> LoRa Bridge (VHF Side)" srccall F4FXL-4
interface F4FXL-4 via WIDE1-1
    beacon symbol B# $myloc comment "VHF <=> LoRa bridge (VHF Side)" srccall F4FXL-4
interface F4FXL-4
</beacon>

#trasy transmisji
#LoRa do AX.25
```

```

<digipeater>
  transmitter    F4FXL-4 # VHF is our outgoing interface
  srcratelimit  3 6   # zabezpieczenie przed przeciążeniem kanału maks 3 (najw. 6)
  pakietów/min/znak
  <source>
    source        F4FXL-11 # LoRa - źródło
    relay-typedirectonly # ograniczenie do ramek bezpośrednio odbieranych
    regex-filter data ^\} # czasami to nie funkcjonuje więc dodatkowo ten filtr
    filter        t/pmq # dozwolone pozycje, komunikaty i zapytania
    filter        -t/3cinostuw # blokowanie wszystkich pozostałych danych
  <trace>
    keys WIDE # zgodnie ze standardem WIDEn-N
  </trace>
</source>
</digipeater>

```

#AX.25 do LoRy

```

<digipeater>
  transmitter    F4FXL-11 # LoRa jest jest kanałem wyjściowym
  srcratelimit  3 6   # zabezpieczenie przed przeciążeniem kanału maks 3 (najw. 6)
  pakietów/min/znak
  <source>
    source        F4FXL-4 # AX.25 jest kanałem odbiorczym
    relay-typedirectonly # ograniczenie do pakietów odbieranych bezpośrednio
    regex-filter data ^\} # czasami to nie funkcjonuje więc dodatkowo ten filtr
    filter t/pmq # dozwolone pozycje, komunikaty i zapytania
    filter -t/3cinostuw # blokowanie wszystkich pozostałych danych
  <trace>
    keys WIDE # zgodnie ze standardem WIDEn-N
  </trace>
</source>
</digipeater>

```

Bramka odbierająca po stronie AX.24 (2 m) pakiet

F1ABC>APRS,WIDE1-1,WIDE2-1:blabla

Nadaje go po stronie 70-centymetrowej w postaci

F1ABC>APRS,F4FXL-11*,WIDE2-1:blabla

A w przypadku odebrania po stronie LoRy pakietu

F1ABC>APRS,WIDE1-1,WIDE2-1:blabla

Nadaje go po stronie AX.25 jako

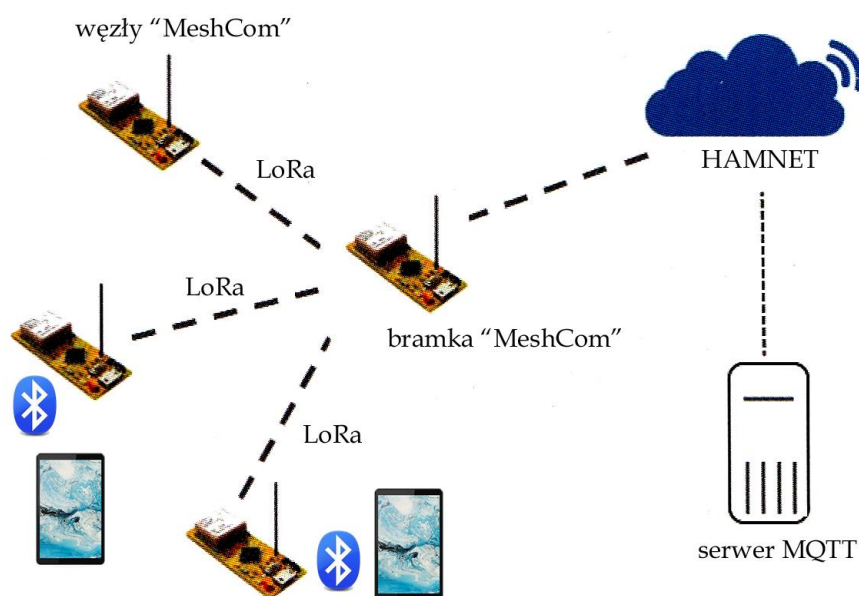
F1ABC>APRS,F4FXL-4*,WIDE2-1:blabla

2. Sieć systemu „LoRa MeshCom”

Krótkofalarska sieć „LoRa MeshCom” jest opracowywanym przez krótkofalowców austriackich, i przeznaczonym dla krótkofalowców, opartym na bazie *Meshtasticu* rozwiązaniem pozwalającym na przesyłanie meldunków tekstowych, danych telemetrycznych, pozycyjnych APRS i rozkazów zdalnego sterowania na znaczne odległości mimo minimalnych mocy nadawania. Jej zaletą jest także niskie zapotrzebowanie na energię, dzięki czemu stacje sieci mogą być zasilane bateryjnie (także ze wspomaganiem przez baterie słoneczne). Sieć może okazać się przydatna również w łącznościach kryzysowych i ratunkowych. Zalecane jest w tym przypadku buforowanie zasilania za pomocą akumulatorów. Sieć *Meshtastic* ma topologię siatki, w której poszczególne węzły pośredniczą w komunikacji między dowolnymi innymi węzłami i bramkami łączącymi ją z serwerami MQTT poprzez Hamnet lub Internet. Różni się więc ona od sieci *LoRaWAN* mającej topologię gwiazdową, której centralnymi punktami są koncentratory (bramki) i serwery internetowe. Sieć można uzupełnić o stacje przekątnikowe. W odróżnieniu od sieci *LoRaWAN* – TNN, *Helium*, *ChirpStack* itp. – pracujących głównie w paśmie 868 MHz amatorska sieć *Meshtastic* korzysta z pasma 433 MHz na zasadach obowiązujących krótkofalowców. Krótkofalowców nie obowiązują więc ograniczenia mocy nadawania i procentowego czasu pracy przewidziane dla sieci ISM. *Meshtastic* znajduje się w fazie intensywnego rozwoju i dlatego można spodziewać się dalszych zmian i udoskonaleń. W gęstych sieciach obciążenie kanału radiowego można zmniejszyć wyłączając funkcję sieciową („mesh”) w części węzłów.

Zasięgi modułów *LoRa* mogą w zależności od zakresu częstotliwości i stosowanych anten przekraczać 10-20 km w terenach wiejskich i 1-5 km w terenach miejskich. W szczególnie korzystnych warunkach sygnały nadawane z mocą 300 mW były odbierane nawet w odległościach 80 – 100 km. Moc wyjściowa modułów nie przekracza jednak przeważnie 100 mW, a ze względu na ich nagrzewanie wpływające niekorzystnie na stabilność częstotliwości zalecane jest korzystanie z niższych mocy. Trochę lepsza antena zewnętrzna jest przydatna nie tylko w łącznościach kryzysowych. Zastosowane liniowe rozpraszanie widma sygnału (ang. *chirp*) znacząco zwiększa odporność na zakłócenia i osiągnięte zasięgi [2.3]. Krótkofalowcy korzystają z modułów na częstotliwość 433 MHz (EU433). W rozwiązaniu austriackim wykorzystano popularne i niedrogie moduły *LoRa* typów:

- *Lilygo-TTGO-T-Beam* (z odbiornikiem GPS, fot. 1.5.1), *T22_V1.1*, *AXP2101 V1.2 20230508*, *V1.1 20210222*, *Supreme L76K GPS*
- *Lilygo TTGO Lora TLORA T3_V1.6.1* (bez GPS),
- *Heltec V2*, *V3*, *V3.2*, *E290 E-Paper*,
- *T-DECK*, *T-DECK+*, *T-DECK Pro*
- *RAK 4631* i inne.



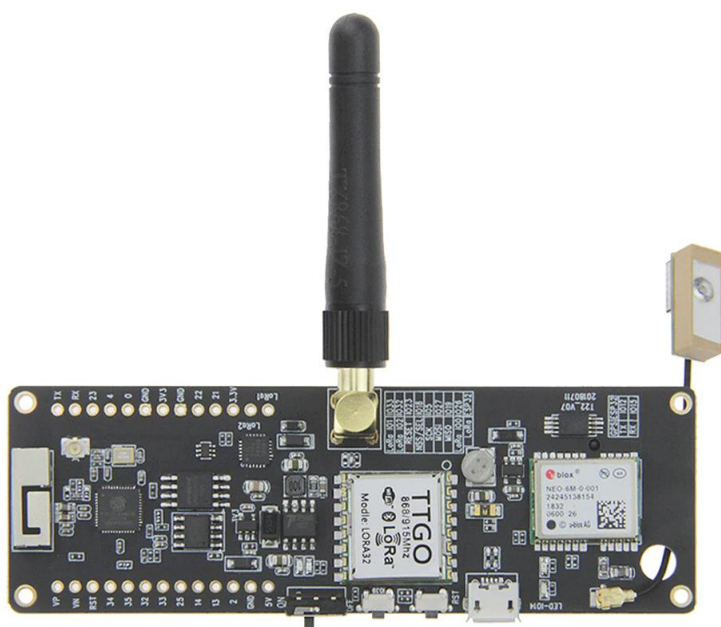
Rys. 2.1. Zasada organizacji sieci w oparciu o Hamnet (analogicznie dla Internetu). Każdy z węzłów może pośredniczyć w komunikacji między pozostałymi elementami sieci

Do ich złącza I2C można podłączyć następujące wyświetlacze: 2,42, 0,96 lub 1,3 cala.

Stacje użytkowników – węzły (ang. *node*) – lub ich grupy (lokalne chmury radiowe) są połączone z innymi za pośrednictwem Hamnetu lub Internetu. Hamnet i Internet służą więc jako sieć szkieletowa dla stacji indywidualnych wyposażoną w bramki wejściowe *LoRa* (rys. 2.1). W razie potrzeby węzły użytkowników mogą pośredniczyć w przekazywaniu komunikatów do bramki i w przeciwną stronę. Sieć wokół bramki ma więc topologię mniej lub bardziej pełnej siatki (ang. *mesh*). Jej przydatność i niezawodność rosną w miarę wzrostu liczby czynnych stacji. Bramki różnią się od węzłów jedynie tym, że dysponują połączeniem z Internetem lub z Hamnetem i utrzymują w ten sposób łączność z serwerem MQTT. Jest on w ten sposób połączony ze wszystkimi lokalnymi chmurami tworzącymi dzięki niemu wspólną większą chmurę. Zasadniczo pracuje on więc jak znany z innych sieci reflektor. Meldunki pozycyjne są przekazywane do *aprs.fi*.

W Austrii (symbol standardu EU lub EU8, patrz tabela 2.6.1) na trasach prowadzących do bramek hamnetowych używana jest częstotliwość 433,175 MHz (w Niemczech m.in. 439,700 MHz). Szerokość pasma sygnału wynosi obecnie 250 kHz (poprzednio było to 125 kHz), stopa korekcji 4/6, a współczynnik rozpraszania 11 (w Niemczech również 10). Szyfrowanie treści (PSK) jest oczywiście wyłączone. W paśmie 868 MHz (symbol standardu 868) krótkofalowcy stosują częstotliwość 869,525 MHz, stopę korekcji 4/6, współczynnik rozpraszania 11 i szerokość pasma 250 kHz. W Wielkiej Brytanii (symbol standardu UK lub UK8) stosowane są parametry 439,9125 MHz, pasmo 125 kHz, współczynnik rozpraszania 10 i stopa korekcji 4/5. Standard USA (symbol US) jest identyczny jak w Europie. Standard 915 w USA różni się od europejskiego jedynie częstotliwością pracy 906,875 MHz.

Moduły wyposażone w odbiornik GPS pozwalają na przesyłanie bieżących danych pozycyjnych, natomiast w modułach nie wyposażonych w odbiorniki można wprowadzić stałą pozycję w konfiguracji. Bezpłatny program *MeshCom 4.0* dla Androida pozwala na połączenie telefonu lub komputera androidowego z modułem przez złącze *Bluetooth* i zobrazowanie odebranych pozycji na mapie albo na wyświetlanie i nadawanie komunikatów tekstowych.



Fot. 2.2. Moduł z odbiornikiem GPS



Fot. 2.3. Moduł *DollaTek Lora 433* bez odbiornika GPS

W sieci *MeshCom* stosowane są dwa mechanizmy zabezpieczające przed nieskończoną retransmisją komunikatów w pętli. Jednym z nich jest analiza numerycznych identyfikatorów komunikatu. Komunikaty o znanym identyfikatorze (a więc już wcześniej retransmitowane przez dany węzeł) nie są ponownie przekazywane dalej. Drugim z nich jest ograniczenie liczby skoków czyli liczby retransmisji między węzłami podobnie jak dla sieci APRS. Ich maksymalna liczba jest ograniczona do siedmiu, ale

standardowo krótkofalowcy korzystają z ograniczenia do pięciu, z tym, że każdy z nadawców może wybrać dowolną wartość w podanym zakresie.

Najpopularniejsze obecnie moduły TTGO są wyposażone albo w procesory ESP32 albo nRF52. Do ładowania oprogramowania wewnętrznego [2.9] można skorzystać z programu *ESPflasher* dla Windows. Nie wymaga on instalacji, a jedynie wywołania jego pliku *exe*.

Wzmacniacz mocy AB-IOT-433 firmy JMT dla modułów T-Lora i T-Beam pozwala na zwiększenie ich zasięgów radiowych dzięki mocy wyjściowej 1 – 2 W (fot. 2.4). Przy zastosowaniu anteny zewnętrznej możliwe jest znaczne powiększenie zasięgu. AB-IOT-433 zawiera dodatkowo przedwzmacniacz odbiorczy. Moduł jest zasilany napięciem 5 V. Ma on wymiary 16 x 11 x 4 mm i masę 18 g. Wzmacniacz jest dostępny na platformach handlowych w rodzaju Amazona i podobnych.



Fot. 2.4. Dodatkowy wzmacniacz mocy

Oprogramowanie modułu węzła *MeshCom* wymaga wprowadzenia znaku wywoławczego za pomocą polecenia `--setcall...`, w modułach nie posiadających odbiornika GPS trzeba podać współrzędne geograficzne i wysokość n.p.m. za pomocą poleceń `--setlat`, `--setlon` i `--setalt`.

Częstotliwość pracy i parametry rozpraszania widma są wpisane do programu. Polecenie `--info` służy do wywołania informacji o parametrach konfiguracyjnych, a `--help` wywołuje tekst pomocy. Do komunikacji PC z modulem węzła można użyć dowolnego programu terminalowego j.np. *PuTTY*. Szybkość transmisji na złączu COM wynosi 115200 bit/s. W poprzednich wersjach konieczna była instalacja programu *Meshtastic* na PC.

Bramki wejściowe Hamnetu wymagają dodatkowo podania w ramach argumentów danych dostępnych dla WiFi (identyfikatora, hasła) i adresu IP serwera MQTT (internetowego albo hamnetowego) i wyboru jednej tych sieci. Bramki korzystają z tego samego oprogramowania co węzły i różnią się tylko podaniem tych dodatkowych parametrów.

Serwer MQTT (*Message Queing Telemetry Transport*) służy do rozprowadzania komunikatów w sieciach TC/IP przy użyciu protokołu MQTT (opracowanego w 1999 roku na potrzeby łączności satelitarnej i od 2013 roku stosowanego w sieci *Internetu Przedmiotów* – IoT). Pośredniczy on więc w komunikacji między bramkami *LoRy* w Hamnecie. Dodatkowo zapewnia także połączenia z systemami APRS, DAPNET, Messengera w Hamnecie, austriackiego serwera Tetry (służącego do wymiany komunikatów w tej sieci), itd. dla komunikatów zawierających dane odpowiedniego rodzaju. Rozwiązanie austriackie korzysta z własnego oprogramowania serwera *ÖVSV-MeshCom-Server* zamiast powszechnie stosowanego oprogramowania *Mosquitto*. Pozwala to krótkofalowcom na pełniejszy wpływ na jego funkcjonalność i konfigurację niż w przypadku rozwiązania komercyjnego.

Tabela 2.1

Wybrane moduły radiowe LoRy 433 MHz

Producent	Typ	Wyposażenie
Lilygo	TTGO T-Beam (V1.1)	Łącze LoRa SX127x, WiFi, <i>Bluetooth</i> , ekran OLED 0,96 cala I2C, odbiornik GPS typu NEO-6M, gniazdko antenowe SMA, pojemnik na akumulator 18650
Lilygo	TTGO Lora (V2.0, V2.1)	Łącze LoRa SX127x, WiFi, <i>Bluetooth</i> , ekran OLED 0,96 cala, procesor ESP32, brak GPS, kieszeń microSD, gniazdko antenowe μ .FL lub SMA, gniazdko mikroUSB (zas. 5 V), gniazdko zasilania z akumulatora litowego 2,7 – 3,6 V
Heltec Automation	WiFi LoRa 32 (V2)	Łącze LoRa SX1276/1278, WiFi, <i>Bluetooth</i> , ekran OLED 0,96 cala 128 x 64 pkt., procesor ESP32, gniazdko mikro-USB (zas. 5 V), kabel do zasilania (bat. 3,7 V), brak GPS, gniazdko antenowe μ .FL
Lilygo	TTGO T-Echo	Łącze LoRa SX1262, <i>Bluetooth</i> , ekran rInk 1,54 cala, gniazdko antenowe μ .FL, procesor nRF5284, odbiornik GPS typu L76K

2.1. Przykładowe zastosowania sieci

Do przykładowych możliwości wykorzystania sieci należą:

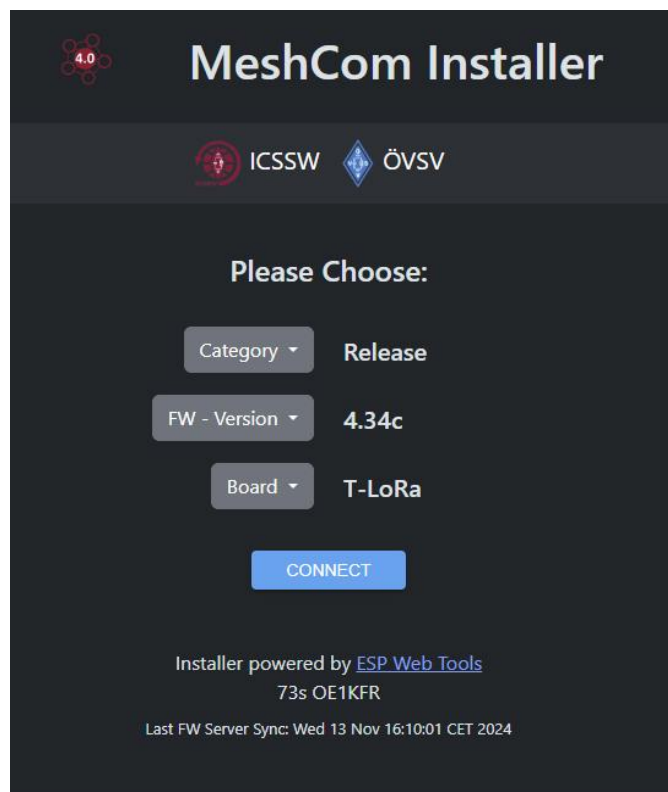
- komunikacja między dowolnymi dwoma stacjami w sieci (lokalnej chmurze radiowej) – w stylu *WhatsApp* przez program androidowy,
- komunikacja z grupą,
- nadawanie tekstów z komputerów androidowych (wiadomości zawierające do 228 znaków),
- nadawanie informacji pozycyjnych,
- transmisja różnych danych telemetrycznych, meteorologicznych, informacji o burzach i wyładowaniach elektrycznych, obecne wersje oprogramowania pozwalają na podłączenie czujników meteorologicznych BMP280, BME280, BME680, CCS811, DS18B20, ampero- i woltomierza INA226 (36 V, 20 A) itp. oraz zegara czasu rzeczywistego RTC DS3231. W razie potrzeby liczbę wejść i wyjść można powiększyć korzystając z rozgałęźnika MCP23017.
- ostrzeżenia o niebezpiecznych zjawiskach (podtopienia, silne wiatry, silne opady, burze itd.),
- połączenie z funkcją SMS sieci DMR IPSC2,
- połączenie z funkcją SMS sieci Tetra,
- komunikacja z modułami telegraficznymi Morserino,
- łączności satelitarne przez transponder QO-100 WB w kanale 2409,25 MHz,
- zdalnie połączenie dostępnych publicznie przycisków alarmowych (policja, pogotowie, straż), normalnie w sieciach 868 MHz, ale w sytuacjach alarmowych przełączane do sieci amatorskiej i amatorskiego serwera MQTT,
- połączenia ze stacjami pracującymi emisją JS8Call itp.,
- możliwość transmisji poczty elektronicznej przez sieć Winlinku,
- zdalne sterowanie przemiennikami amatorskimi lub ich włączanie i wyłączanie,
- zawiadamianie i przywoływanie jak w amatorskiej sieci DAPNET (POCSAG),
- lokalny dostęp do Hamnetu (wolna transmisja danych),
- i wiele innych.

Oczywiście są to tylko luźne propozycje i zakres zastosowań można dowolnie uzupełniać. Każdy z użytkowników sieci może dowolnie wybierać interesujące go możliwości i aspekty.

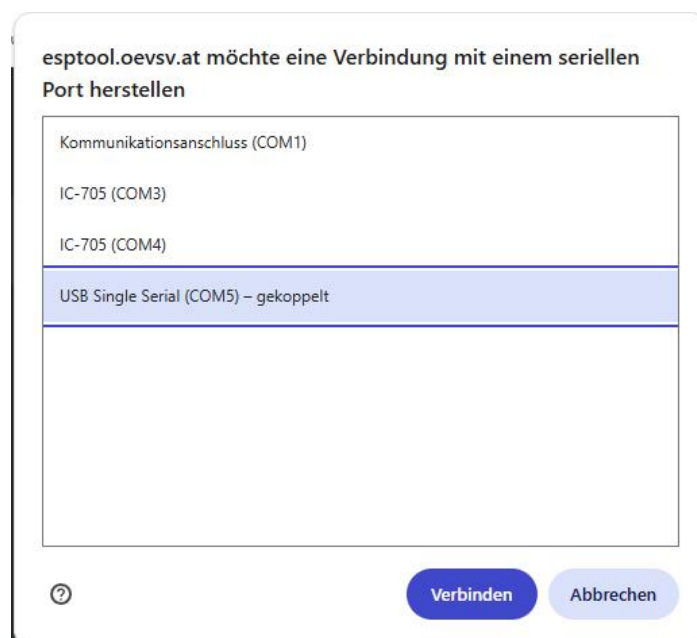
2.2. Instalacja i uruchomienie oprogramowania

1. W wirynie <https://esptool.oevsv.at/> znajduje się internetowa wersja programu instalacyjnego *esptool* autorstwa OE1KFR. Oferuje ona ostatnie (aktualne) wersje oprogramowania węzłów. Należy na niej wybrać typ modułu i rodzaj wersji: oficjalną lub próbną, a następnie nacisnąć przycisk *Connect* („połącz”), wybrać złącze COM, do którego jest podłączony mikrokomputer i potwierdzić chęć instalacji. Spis dostępnych złączy jest wyświetlany w okienku dialogowym otwieranym po naciśnięciu

przycisku *Connect*, należy wybrać właściwe i nacisnąć przycisk połączenia. W razie wątpliwości należy odłączyć moduł węzła, co spowoduje skasowanie ze spisu używanego przezeń złącza, a następnie włączyć kabel ponownie. Złącze powinno być też widoczne w *Menadżerze Urządzeń*.



Rys. 2.2.1. Okno instalatora internetowego

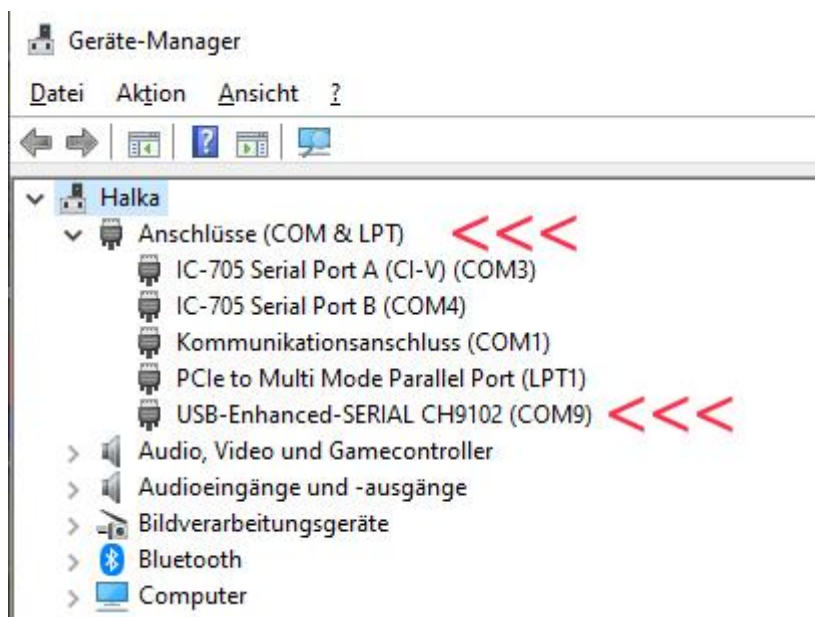


Rys. 2.2.2. Wybór złącza COM

Należy zwrócić uwagę na wybranie pasującego pliku, gdyż w przeciwnym przypadku program będzie działał tylko częściowo albo nie będzie działał w ogóle z powodu różnic w wyposażeniu modułów. W chwili opracowywania skryptu oferowane są wersje dla około dwudziestu typów modułów.

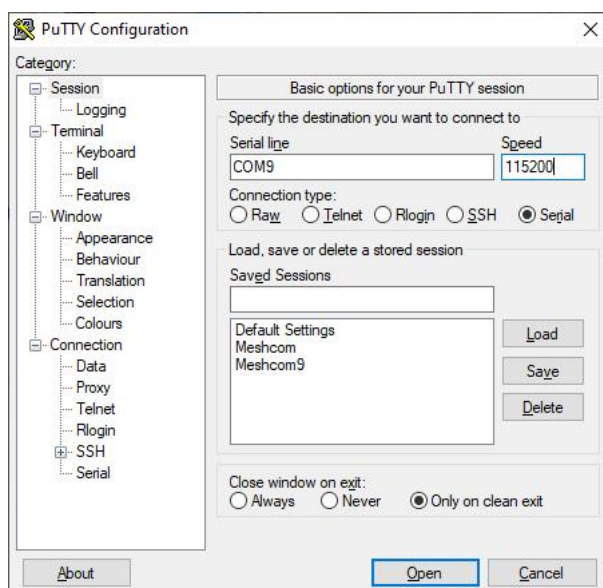
W przypadku zastępowania starszej wersji lub innych rodzajów programów (*Meshtastic* itp.) należy zaznaczyć pole kasowania dotychczasowej zawartości pamięci modułu.

Przy zakupie modułów należy koniecznie wybierać moduły standardu EU433 – czyli pracujące w paśmie 433 MHz. Eksperymentalnie, jako uzupełnienie sieci uruchamiane są również węzły pracujące w paśmie 868 MHz. Należy wówczas zakupić moduł pracujący w tym paśmie. Krótkofalowcy w Austrii również w paśmie 868 MHz podają w konfiguracji węzłów swoje znaki wywoławcze, ewentualnie, chociaż nie zawsze, z rozszerzeniem z zakresu 80 – 89 dla ułatwienia orientacji. Węzły 868 MHz pozwalają na korzystanie z sieci *MeshComu* również osobom zainteresowanym, ale nie mającym jeszcze licencji amatorskiej.

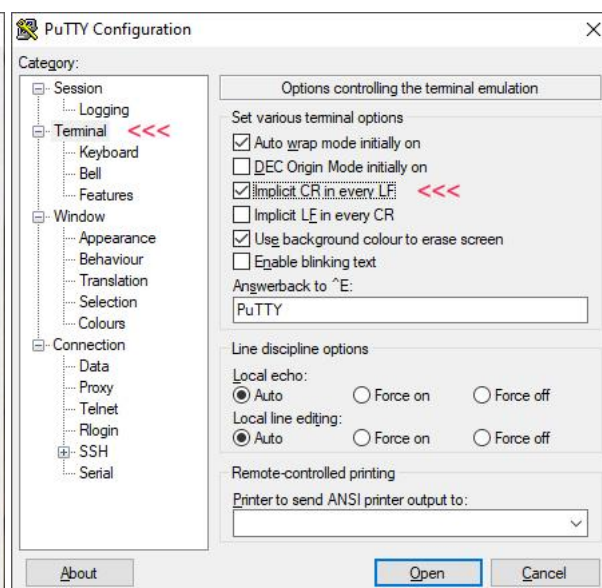


Rys. 2.2.3. Złącze COM widoczne jest w *Menadźerze Urządzeń* w spisie złączy COM i LPT. W tym przykładzie jest to złącze COM9

2. Po załadowaniu oprogramowania do mikroprocesora należy go ponownie wystartować.



Rys. 2.2.4. Parametry transmisji



Rys. 2.2.5. Dodawanie znaków CR do LF

3. Dla modułu RAK Wisblock (RAK-4631-C + RAK 19007) należy pobrać plik z rozszerzeniem *uf2*. Po podłączeniu modułu do PC za pomocą kabla z wtyczką USB-C należy dwukrotnie szybko nacisnąć

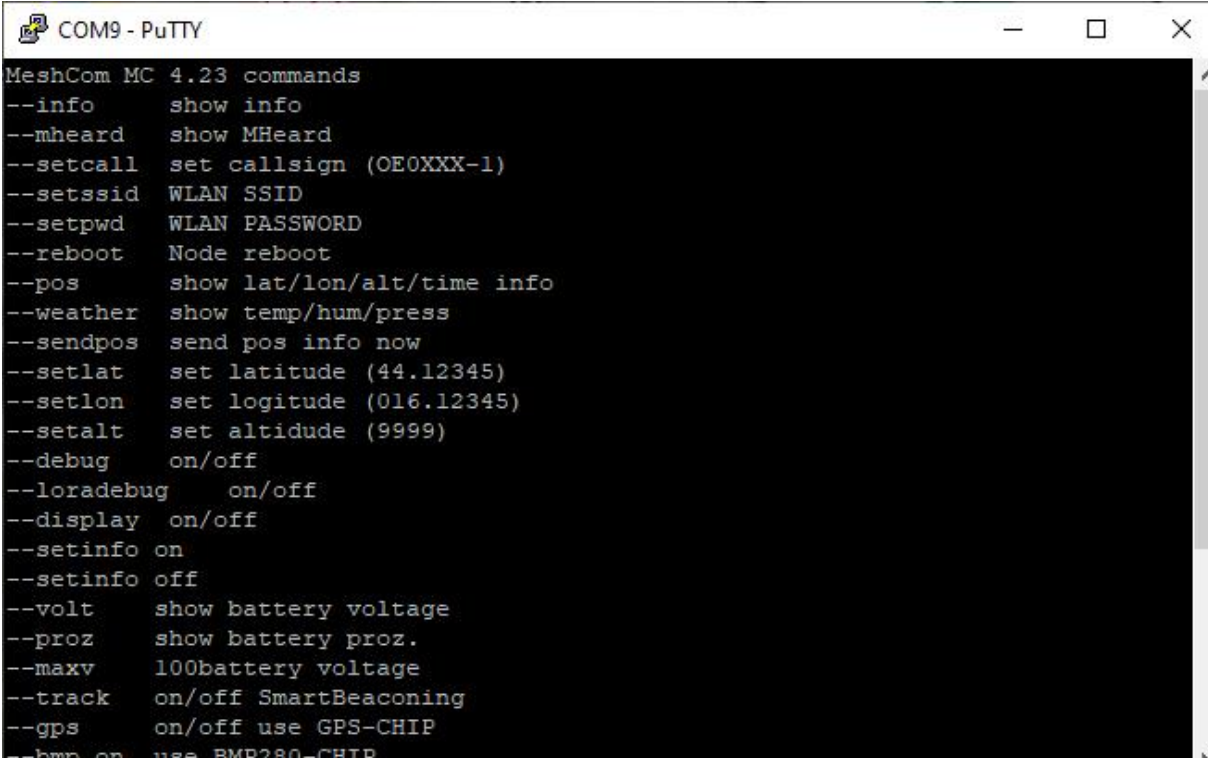
przycisk obok gniazda USB-C. Po zapaleniu się zielonej diody moduł jest widoczny dla Windows jako zewnętrzny nośnik. Należy na niego skopiować pobrany plik *uf2*. Po zakończeniu kopiowania moduł startuje automatycznie.

4. Do komunikacji z modulem można na stronie programu instalacyjnego z punktu 1 wywołać okno terminalowe, w którym użytkownik wpisuje polecenia poprzedzone dwoma myślnikami jak podano w spisie i w przykładach poniżej. Ponieważ nie różni się to od pokazanych poniżej przykładów dla *PuTTY* autor zrezygnował z dublowania przykładów.

5. Do komunikacji komputera z modulem *LoRy* można też zastosować dowolny prosty program terminalowy w rodzaju *PuTTY*. Konieczne jest wybranie w nim połączenia szeregowego (punkt „Serial”), pasującego złącza COM (w przykładzie COM9) i szybkości transmisji 115200 bit/s (rys. 2.2.4). Prawidłowe wyświetlanie odpowiedzi mikroprocesora w oknie terminalowym *PuTTY* wymaga też zaznaczenia w konfiguracji punktu dodającego powrót wózka (CR) do każdego znaku nowej linii (LF) – rys. 2.2.5.

6. Wszystkie polecenia podawane przez złącze szeregowe do modułu *LoRy* są poprzedzone podwójnym myślnikiem. Na początek konieczne jest wprowadzenie własnego znaku wywoławczego z obowiązkowym rozszerzeniem. Zasadniczo dopuszczalnym zakresem rozszerzeń jest -1 – -99, ale w przypadku konieczności zapewnienia kompatybilności ze standardem APRS zakres zawęża się do -1 – -15. Rozszerzenie -12 jest zarezerwowane dla bramek internetowych lub hamnetowych połączonych z serwerem MQTT. Dane pozycyjne do serwera *aprs.fi* są transmitowane tylko wtedy, gdy znak stacji zawiera rozszerzenie.

Do wpisania znaku służy polecenie `--setcall`, przykładowo `--setcall OE1KDA-9`. Po 10–15 sekundach od wpisania znaku program automatycznie startuje od nowa.

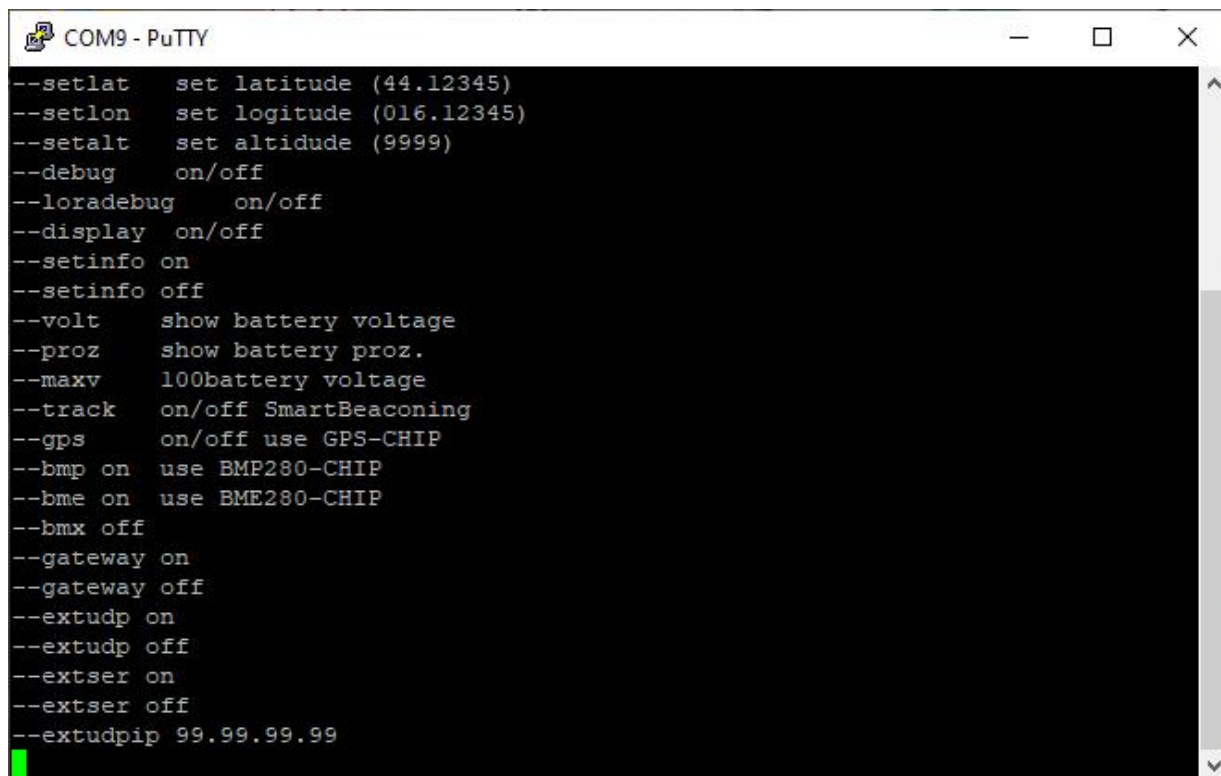


```
COM9 - PuTTY
MeshCom MC 4.23 commands
--info      show info
--mheard    show MHeard
--setcall   set callsign (OE0XXX-1)
--setssid   WLAN SSID
--setpwd    WLAN PASSWORD
--reboot    Node reboot
--pos       show lat/lon/alt/time info
--weather   show temp/hum/press
--sendpos   send pos info now
--setlat    set latitude (44.12345)
--setlon    set logitude (016.12345)
--setalt    set altitude (9999)
--debug     on/off
--loradebug on/off
--display   on/off
--setinfo   on
--setinfo   off
--volt      show battery voltage
--proz      show battery proz.
--maxv      100battery voltage
--track     on/off SmartBeaconing
--gps       on/off use GPS-CHIP
--bmp on    use BMP280-CHIP
```

Rys. 2.2.6. Tekst pomocy w oknie *PuTTY*

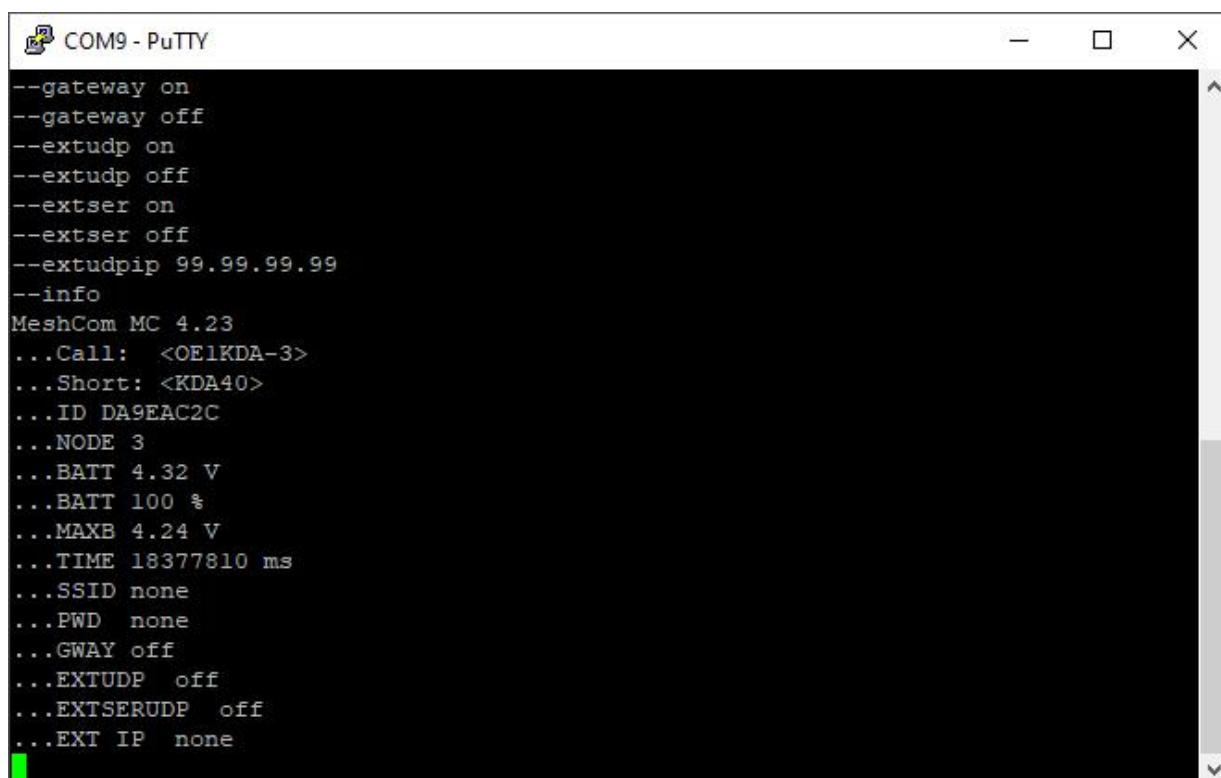
7. Użytkownicy korzystający z modułów *LoRy* nie posiadających odbiornika GPS powinni także wprowadzić własne współrzędne geograficzne korzystając w tym celu z poleceń `--setlat`, przykładowo dla

szerokości geograficznej OE1KDA --setlat 16.3502, --setlon, przykładowo dla długości geograficznej OE1KDA --setlon 48.1372 i dla wysokości n.p.m. --setalt, przykładowo --setalt 200.



```
--setlat    set latitude (44.12345)
--setlon    set logitude (016.12345)
--setalt    set altitude (9999)
--debug     on/off
--loradebug  on/off
--display   on/off
--setinfo   on
--setinfo   off
--volt      show battery voltage
--proz      show battery proz.
--maxv      100battery voltage
--track     on/off SmartBeaconing
--gps       on/off use GPS-CHIP
--bmp on    use BMP280-CHIP
--bme on    use BME280-CHIP
--bmx off
--gateway   on
--gateway   off
--extudp    on
--extudp    off
--extser    on
--extser    off
--extudpip  99.99.99.99
```

Rys. 2.2.7. Dalszy ciąg tekstu pomocy



```
--gateway on
--gateway off
--extudp on
--extudp off
--extser on
--extser off
--extudpip 99.99.99.99
--info
MeshCom MC 4.23
...Call: <OE1KDA-3>
...Short: <KDA40>
...ID DA9EAC2C
...NODE 3
...BATT 4.32 V
...BATT 100 %
...MAXB 4.24 V
...TIME 18377810 ms
...SSID none
...PWD none
...GWAY off
...EXTUDP off
...EXTSERUDP off
...EXT IP none
```

Rys. 2.2.8. Informacja o stacji skonfigurowanej jako węzeł radiowy

```

-/
/-----\
|MHeard call |   date   |   time   | typ | source hardware | mod | rssi | snr |
\-----/
/-----\
|MHeard call |   date   |   time   | typ | source hardware | mod | rssi | snr |
\-----/
/-----\
|MHeard call |   date   |   time   | typ | source hardware | mod | rssi | snr |
\-----/
/MSG:2F..not sent
/MSG:2F..not sent
mMSG:6D..not sent
hMSG:68..not sent
/MSG:2F..not sent
/MSG:2F..not sent
mMSG:6D..not sent
hMSG:68..not sent
/-----\
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| OE1KDA-9 | 2023-01-01 | 05:42:47 | POS | TLORA_V2_1_lp6 | 3 | -61 | 8 |
\-----/

```

Rys. 2.2.9. Spis odbieranych stacji (*--mheard*)

8. Częstotliwość pracy 433,175 MHz, szerokość pasma 250 kHz, stopa korekcji 4/6 i współczynnik rozpraszania 11 (= SF2048) są standardowo wpisane w programie, ale mogą być zmieniane przez użytkownika przez podanie kodukraju (tabela 2.6.1). W stosunku do poprzednich ustawień 125 kHz, 12, 4/8 uzyskuje się większą szybkość transmisji przy około 4-krotnym obniżeniu czułości.

9. Do sprawdzenia wprowadzonych danych służy polecenie *--info*. Polecenie *--help* informuje o dalszych dostępnych rozkazach i ich składni. Przykłady na ilustracjach dotyczą konfiguracji węzła sieci radiowej w wersji oprogramowania 4.23. Bramka do serwera MQTT nie została włączona.

10. Po sprawdzeniu prawidłowości konfiguracji węzeł może rozpocząć regularną pracę w eterze. Spis odbieranych stacji jest wywoływany za pomocą polecenia *--mh* (*--mheard*). Oprócz tego na początek interesujące są polecenia:

--sendpos – nadanie geograficznego położenia stacji w oparciu o dane wprowadzone w sposób podany powyżej albo odczytane z odbiornika GPS;

:tekst – nadanie tekstu wprowadzonego przez program terminalowy i złącze szeregowo. Należy zwrócić uwagę na to, że jest on poprzedzony dwukropkiem.

11. Konfiguracja bramki dostępowej do serwera MQTT wymaga podania dodatkowo poleceń:

--setssid – wprowadza nazwę lokalnej sieci WLAN,

--setpwd – wprowadza hasło dostępu do lokalnej sieci,

--setinet – wybór dostępu do serwera MQTT przez Internet, jest to ustawienie domyślne,

--sethamnet – wybór dostępu do serwera MQTT przez Hamnet, pod warunkiem istnienia odpowiedniej infrastruktury hamnetowej w otoczeniu; austriacki serwer MQTT jest w Internecie dostępny pod adresem IP 89.185.97.38, w austriackim Hamnecie serwer – pod adresem IP 44.143.8.143. W Polsce na pewno będą to inne adresy, chociaż dostęp internetowy do serwera austriackiego może być interesujący w początkowej fazie rozwoju sieci w kraju;

--gateway on – włączenie bramki.

Bramka w lokalnej sieci korzysta z adresu przyznanego przez serwer DHCP.

Pełny zestaw poleceń dostępnych przez złącze szeregowo podano w punkcie 2.6.

12. Instalacja oprogramowania dla płytki Heltec w wersji V3 wymaga pobrania z witryny <https://icssw.org/esp32s3-python-tool-installation/> plików *bootloader.bin*, *boot_app0.bin*, *partitions.bin* i pliku oprogramowania wewnętrznego (dokładna nazwa zależy od wersji oprogramowania) *FW_CL_heltec_v3_4.23.bin*.

Zapis danych w pamięci płytki odbywa się za pomocą następujących czterech poleceń dla *Windows-PowerShella* (rzeczywisty numer złącza COM należy odczytać w Menadżerze Urządzeń, w przykładzie jest to złącze COM3):

```
python.exe -u esptool --chip esp32s3 -port COM3 write_flash --flash_mode keep --flash_size detect 0x0 bootloader.bin
```

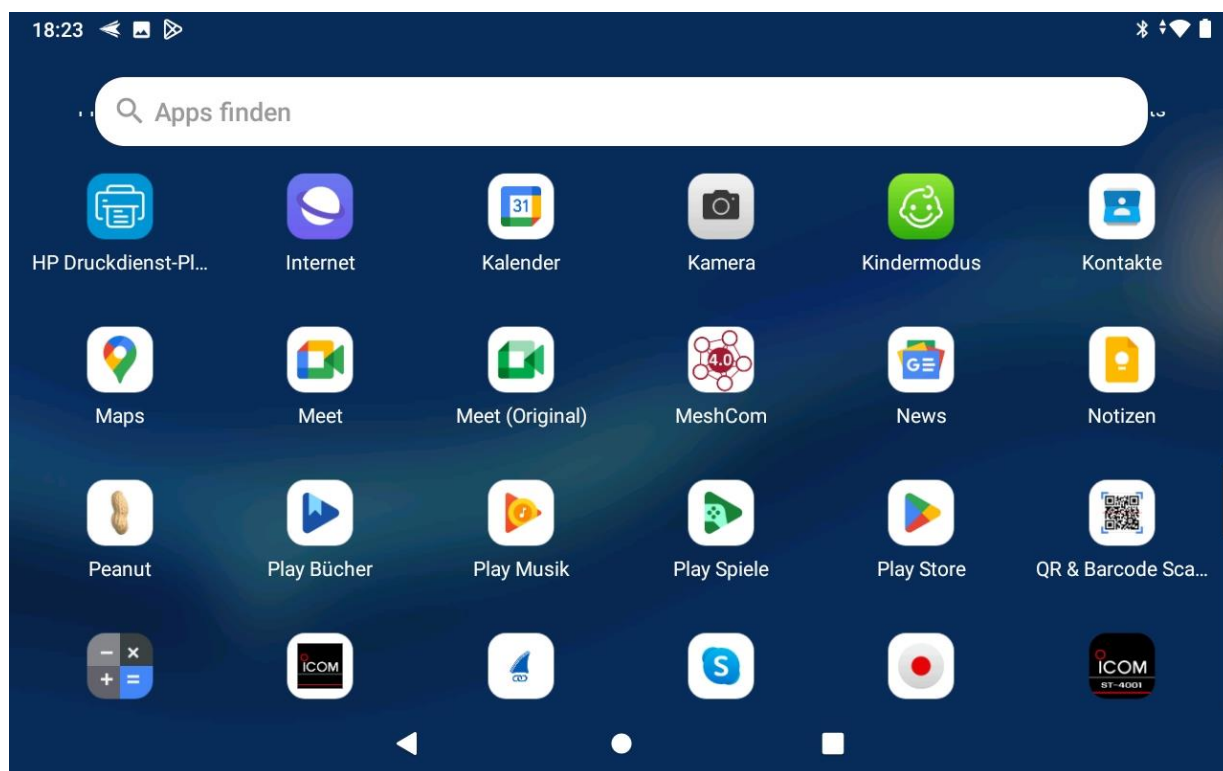
```
python.exe -u esptool --chip esp32s3 -port COM3 write_flash --flash_mode keep --flash_size detect 0xe000 boot_app0.bin
```

```
python.exe -u esptool --chip esp32s3 -port COM3 write_flash --flash_mode keep --flash_size detect 0x8000 partitions.bin
```

```
python.exe -u esptool --chip esp32s3 -port COM3 write_flash --flash_mode keep --flash_size detect 0x10000 FW_CL_heltec_v3_4.23.bin
```

Po wpisaniu całości komunikacja z płytką Heltec V3 może się odbywać identycznie jak dla pozostałych modeli przy użyciu programu terminalowego *PuTTY* i programu androidowego *MeshCom*.

2.3. Androidowy program *MeshCom*



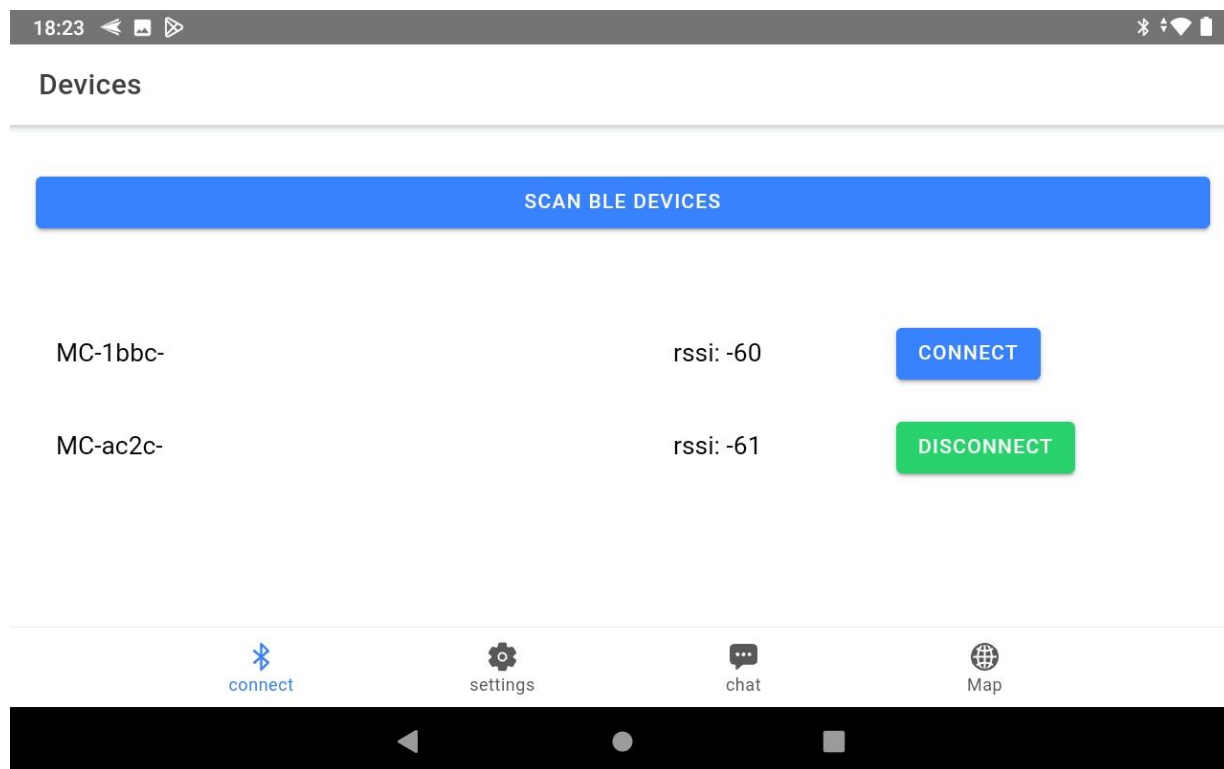
Rys. 2.3.1. Wywołanie programu *MeshCom* na komputerze androidowym (symbol na czwartej pozycji w drugiej linii symboli)

Program komunikacyjny *MeshCom* dla komputerów i telefonów androidowych jest dostępny w sklepie internetowym Google *PlayStore*. Program umożliwia wymianę krótkich wiadomości w stylu *whatsapp* i śledzenie położenia stacji sieci na mapie. Komunikacja komputera z modulem *LoRy* odbywa się przez złącze *Bluetooth*. Przed skorzystaniem z programu w starszych wersjach konieczne było *bluetoothowe* sparowanie komputera androidowego z modulem *LoRy*. Kodem dostępowym BT był 000000. W przypadku zainstalowania nowej wersji oprogramowania modułu *LoRy* lub nowej wersji

MeshComu konieczne może być skasowanie danych dostępowych BT. Począwszy od wersji 4.34w oprogramowania węzła parowanie nie jest konieczne. Połączenie BT jest dokonywane w programie, a nie w ustawieniach BT systemu operacyjnego.

Obsługa *MeshComu* jest nieskomplikowana, a korzystanie z jego funkcji w dostatecznym stopniu wyjaśniają przedstawione na ilustracjach 2.3.1 – 2.3.6 ujęcia z ekranu. Przykłady odnoszą się do wersji 4.2.

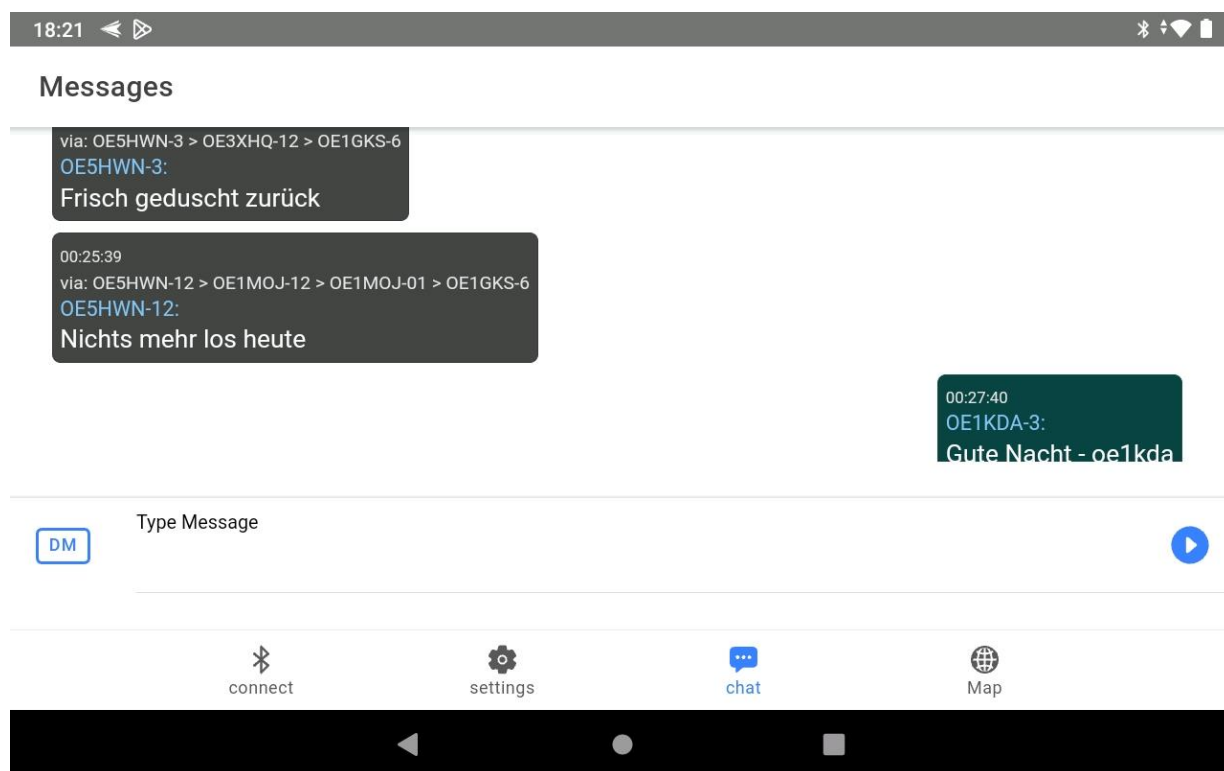
W widocznym na ilustracji 2.3.4 polu wiadomości tekstowych można także wpisywać polecenia dla modułu *LoRy* poprzedzone jak w poprzednim przypadku podwójnym myślnikiem. Pełny zestaw poleceń zawiera tabela w punkcie 2.6.



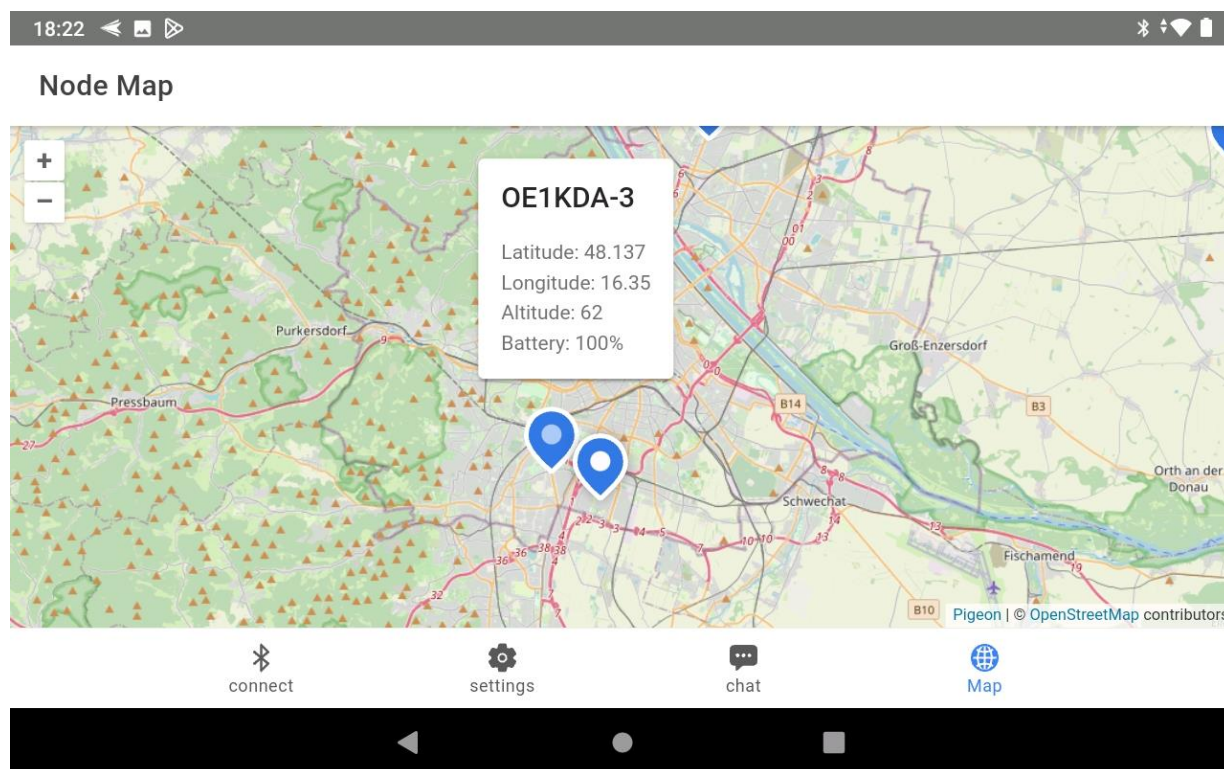
Rys. 2.3.2. Okno połączenia BT. Należy wybrać pożądane urządzenie i nacisnąć na ekranie przycisk „Connect”. Przy pierwszym połączeniu (parowaniu) w starszych wersjach otwierane jest okienko, w którym należy podać kod dostępu do modułu *LoRy* – 000000. Do rozłączenia służy przycisk „Disconnect”. W tym przykładzie program jest połączony z urządzeniem z drugiej linii na ekranie

W oknie 2.3.3 przy tekście nadanego komunikatu pojawiają się symbole informujące o jego losach. odhaczenie (zielony ptaszek) w prawym dolnym rogu oznacza, że tekst z komputera został przyjęty przez połączony z nim węzeł. Zielona chmurka oznacza, że nadany komunikat został odebrany przez co najmniej jedną stację (węzeł), natomiast zielona chmurka z ptaszkiem informuje o tym, że komunikat został odebrany przez bramkę radiowo-internetową i przekazany do serwera MQTT. W przypadku meldunku adresowanego do konkretnego korespondenta informuje o odbiorze przez jego stację (węzeł). Obecne wersje programu *Meshcom 4.0* (od wiosny 2024 roku) wymagają zainstalowania w węzłach sieci oprogramowania w wersji 4.30 lub nowszej. Najlepiej w ogóle korzystać z aktualnej wersji.

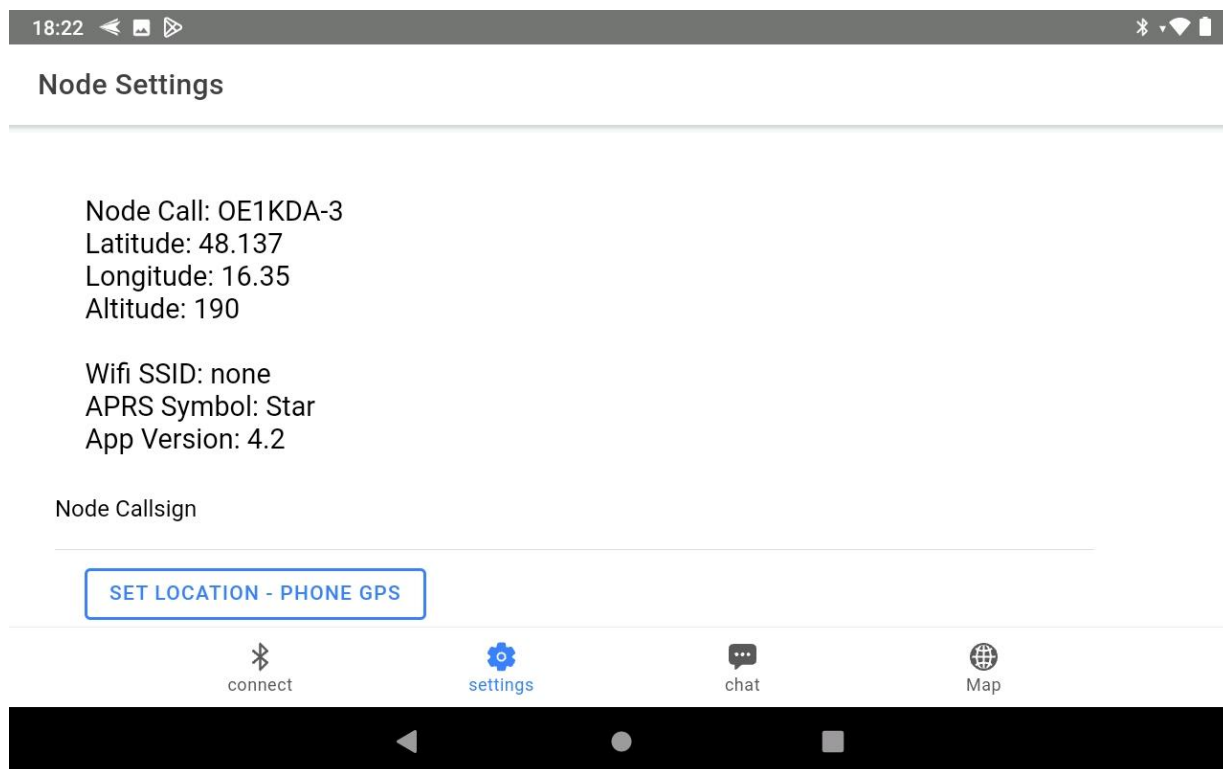
Rozróżniane są następujące rodzaje komunikatów: meldunki do wszystkich (*) – wystarczy je wpisać do linii tekstowej na ekranie i wysłać; są one wyświetlane u wszystkich; meldunki bezpośrednie (DM) – skierowane do odbiorcy o podanym w polu adresowym znaku; meldunki skierowane do grupy (GRC) skierowane do grupy odbiorców podanej w polu DM, są one wyświetlane u odbiorców, którzy podali w konfiguracji pasującą grupę i u odbiorców, którzy nie podali żadnej grupy. Meldunki poprzednich rodzajów (do wszystkich lub do konkretnego odbiorcy) są wyświetlane niezależnie od ustawienia grup. Jeżeli żadna stacja na serwerze nie korzysta z grup meldunki grupowe są transmitowane wyłącznie do stacji o tym samym prefiksie co nadawca. Grupa 9 – lokalna – jest używana tylko radiowo.



Rys. 2.3.3. Okno komunikacji tekstowej. Wiadomości albo poprzedzone podwójnym myślnikiem polecenia wpisuje się do pola z podpisem „Type Message” przy użyciu klawiatury ekranowej. Przycisk DM pozwala na wybór adresata wiadomości. Do wysłania służy niebieski przycisk ze strzałką



Rys. 2.3.4. Położenie stacji na tle mapy. Dziwnym trafem wysokość podana w konfiguracji modułu Lory 190 m została gdzieś po drodze potraktowana jako wysokość w stopach i ponownie przeliczona – stąd na ekranie wyszła nieprawidłowa wartość 62 m. Okienko informacyjne otwiera się po naciśnięciu lokalizacji stacji na ekranie



Rys. 2.3.5. Okno konfiguracji programu. Tutaj wyświetlana jest prawidłowa wysokość n.p.m.

Obecnie zdefiniowane są m.in. grupy: 2 – EU, Europejska, 3 – US, grupa USA, 9 – LOC, grupa radio-wa, lokalna, 10 – WW-GE, ogólnoswiatowa grupa niemieckojęzyczna, 13 – WW-EN, ogólnoswiatowa grupa angielskojęzyczna, 20 – grupa dla Austrii, Niemiec i Szwajcarii, 204 – grupa holenderska, 206 – belgijska, 208 – Francuska, 214 – hiszpańska, 222 – włoska, 226 – rumuńska, 228 – szwajcarska, 232 – austriacka, 234 – brytyjska, 238 – duńska, 240 – szwedzka, 260 – Polska, 262 – Niemcy i 293 – słoweńska.

Program dla iOS jest dostępny pod adresem <https://apps.apple.com/at/app/meshcom/id6447483289>.

2.4. Wymiana komunikatów z innymi systemami

W wymianie meldunków pomiędzy stacjami sieci *MeshCom* i innymi systemami krótkofalarskimi przyjęto następujące formaty komunikatów:

1. Meldunki (komunikaty) klientów APRS do węzłów *MeshCom*

Dowolny klient APRS może przysyłać meldunki do węzłów *MeshCom*, ale pod warunkiem, że adresat jest w tym czasie czynny w sieci *MeshCom*. Długość wiadomości jest ograniczona do 180 znaków alfanumerycznych. Reszta jest obcinana. Znak adresata musi zawierać rozszerzenie, a więc dopuszczalny jest znak OE1KDA-1, ale nie OE1KDA.

2. Meldunki (komunikaty) od węzłów *MeshCom* do klientów APRS mają format

:<adres docelowy>:<tekst>

Przykładowo

:OE1KDA-7:Pozdrowienia

Należy zwrócić uwagę na obowiązkowe dwukropki.

3. Meldunki (komunikaty) do APRS2SOTA wymagają zarejestrowania znaku nadawcy u G0LGS (<https://www.sotaspots.co.uk/>).

Zarejestrowani nadawcy mogą wówczas nadawać komunikaty adresowane do APRS2SOTA mające następujący format:

:APRS2SOTA:<numer rej. szczytu> <częstotliwość> <emisja> [znak] [uwagi]

Np.

:APRS2SOTA:OE/OO-303 145.500 FM OE5JFE/P Spot via Meshcom

4. Poczta elektroniczna do Internetu. Wiadomości mają następujący format:

:EMAIL:<adres odbiorcy> <tekst>

Należy zwrócić uwagę na znak odstępu między adresem odbiorcy i tekstem wiadomości.

5. Wiadomości do sieci Winlinku (DM – *direct message*) są adresowane do WLNK-1 z podaniem adresu poczty elektronicznej na początku tekstu.

2.4.1. Komunikacja z klientami w protokole UDP

Wymieniane są meldunki tekstowe i pozycyjne odebrane radiowo z sieci LoRa MeshCom lub odebrane przez serwer w protokole UDP. Wymiana odbywa się w protokole JSON nałożonym na UDP. Nadawanie odebranych z powyższych źródeł meldunków do klienta przez kanał logiczny 1799.

Dane pozycyjne:

```
{„src_type“:„node/udp/lora“,„type“:„pos“,„src“:„<source_path>“,„msg“:„“,„lat“:„<lat>“,„lat_dir“:„N/S
”
„long“:„<lon>“,„long_dir“:„W/E“,„aprs_symbol“:„<SYM>“,„<aprs_symbol_group>“:„<GROUP>“,
„hw_id“:„<MAC>“,„msg_id“:„<msg_id>“,„alt“:„<alt>“,„batt“:„<batt_proz>“,„firmware“:„<fw_num>“,„f
w_sub“:„<fw_sub>“
}
```

gdzie

node...oznacza, że meldunek pochodzi z sieci radiowej Lora

udp...oznacza, że meldunek pochodzi z serwera MeshCom

lora... oznacza, że meldunek pochodzi z sieci radiowej Lora

msg_id...w postaci szesnastkowej (*heksadecymalnej*)

fw_num...wersja oprogramowania wewnętrznego węzła

fw_sub...oznaczenie dodatkowe wersji a-z

Meldunki tekstowe:

```
{„src_type“:„node/udp/lora“,„type“:„msg“,„src“:„<source_path>“,
„dst“:„<destination_path>“,„msg“:„<payload>“,„msg_id“:„<msg_id>“,„firmware“:„<fw_num>“,„fw_
sub“:„<fw_sub>“}
```

gdzie

node...oznacza, że meldunek pochodzi z sieci radiowej Lora

udp...oznacza, że meldunek pochodzi z serwera MeshCom

lora... oznacza, że meldunek pochodzi z sieci radiowej Lora

fw_num...wersja oprogramowania wewnętrznego węzła

fw_sub...oznaczenie dodatkowe wersji a-z

Telemetria (nadawana tylko dodatkowo do komunikatu **pos**, dane z własnego węzła):

```
{„src_type“:„node“,„type“:„tele“,„temp1“,:9.99,„temp2“,:9.99,„hum“,:9.99,„qfe“,:999.9,„qnh“,:999.9,“
gas“,:9.9,„co2“,:9.9}
```

gdzie

node...dane telemetryczne pochodzą z węzła

tele...typ telemetria

Pozostałe parametry:

<source_path> – znak wywoławczy lub kilka znaków

przykłady

OE1ABC-1 – stacja odebrana bezpośrednio

OE1ABC,OE1XOR-12 – stacja odebrana za pośrednictwem OE1XOR.

<destination_path>

do wszystkich – *

do wybranej grupy

10...9999 – numer grupy, dwie do pięciu cyfr.

do wybranej stacji – podawany jest jej znak

np. OE1KDA-12

<payload> – treść użytkowa

– używany zbiór znaków UTF-8,

– maksymalna długość 150 znaków alfanumerycznych.

<msg_id> – jednoznaczny numer identyfikacyjny meldunku, powinien składać się z adresu MAC i co najmniej 3-cyfrowego numeru bieżącego.

<lat>, <lon> – współrzędne geograficzne w formacie dziesiętkowym 99.9999.

N/S, W/E – oznaczenia półkuli wschodniej, zachodniej i północnej, południowej.

Symbole APRS wybierane z witryny

https://www.yachttrack.org/info_camper/downloads/APRS_Symbol_Chart.pdf

<GROUP>, <SYM>

<batt_proz> procent naładowania akumulatora 0 – 100.

Uruchomienie złącza UDP:

Parametry połączenia z zewnętrznym klientem:

--extudpip 255.255.255.255

Włączenie kanału logicznego 1799

--extudp on

Wyłączenie kanału logicznego 1799

--extudp off

Pozostałe parametry

--setssid....

--setpwd....

Jeżeli złącze WiFi nie korzysta z adresu IP przydzielanego przez serwer DHCP można podać adres stały:

--setownip 255.255.255.255

--setowngw 255.255.255.255

--setownms 255.255.255.255

Należy wybrać wolny adres z domowej sieci WiFi. Bramka jest adresem używanym przez modem internetowy (ang. *ruter*). Maski musi odpowiadać masce w domowej sieci.

Napisany w *Pythonie* program klienta autorstwa DG9VH jest dostępny w Internecie pod adresem

<https://github.com/dg9vh/MeshCom-Client> a oprogramowanie pulpitu w *githubie* pod

<https://github.com/dh5dan/meshdash> .

Program służący do nadawania meldunków meteorologicznych w sieci *MeshComu* autorstwa IK5XMK znajduje się pod adresami

https://github.com/ik5xm/meteo_mc

i

https://github.com/ik5xm/mc_msg2dstar .

Programy klientów komunikujących się przez złącze BT autorstwa OE3WAS i DK5EN znajdują się odpowiednio pod adresami https://github.com/karamo/MeshAll42_MIT-AI2 i

<https://github.com/DK5EN/MeshCom-BLE> .

2.4.2. Skrzynka elektroniczna DB0SEP

Skrzynka elektroniczna (ang. BBS) DB0SEP autorstwa DL4QB jest dostępna w sieci *MeshCom* pod znakiem db0sep-12. Autor zaleca korzystanie z niej internetowo – po włączeniu bramki za pomocą polecenia gateway on – gdyż wymiana informacji przez sieć radiową może okazać się zbyt wolna i może dochodzić do utraty wątku zwłaszcza w trakcie szybszej dyskusji.

Użytkownicy mają do dyspozycji następujące polecenia, które należy podawać jako komunikat bezpośredni (DM):

db0sep add – zarejestrowanie własnego znaku wywoławczego w skrzynce;

db0sep br – (*bulletin read*), odczyt publicznych biuletynów, wiadomości do wszystkich;

db0sep bs – (*bulletin send*), nadanie wiadomości na publiczne forum, wiadomości są dostępne przez 48 godzin;

składnia: db0sep bs tytuł: tekst

db0sep h – wywołanie pomocy;

db0sep mh – wywołanie spisu stacji odbieranych przez skrzynkę;

db0sep l – małe L, nie duże I, wywołanie spisu wiadomości, przy braku wiadomości brak odpowiedzi;

db0sep u – wywołanie spisu zarejestrowanych użytkowników;

db0sep r l – odczytanie pierwszej wiadomości;

db0sep e l – skasowanie pierwszej wiadomości, db0sep r * – skasowanie wszystkich wiadomości;

db0sep p – wysłanie pakietu sprawdzającego *ping* – sprawdzenia czy skrzynka jest dostępna;

db0sep t – sprawdzenie czasu działania skrzynki.

Przykład nadania wiadomości do pojedynczego adresata:

db0sep s oe1pab Pytanie:tekst zapytania

należy zwrócić uwagę na dwukropek oddzielający tytuł od treści wiadomości. Adresatami mogą być tylko zarejestrowani użytkownicy.

Skrzynka próbuje nadać co osiem godzin komunikat do adresata jeśli zawiera wiadomości do niego.

Baza danych *MeshDash-SQL* autorstwa DH5DAN (github.com/dh5dan/meshdash) pracuje na *Malinie* i kontaktuje się z węzłem *MeshComu* przez WLAN pobierając i rejestrując odebrane komunikaty. Dla użytkowników jest ona dostępna z PC przez WLAN za pomocą przeglądarki internetowej.

2.5. Urządzenia dodatkowe

1. Dodatkowy przycisk zwierany do masy po naciśnięciu.

W modułach T-Beam jest to przycisk środkowy spośród trzech zawartych na płycie.

W modułach Heltec V2 i V3 jest podłączony do wyprowadzenia nr 0.

W modułach T-Lora i ESP32-E22 jest połączony do wyprowadzenia nr 12.

2. Czujniki meteorologiczne BMP280 (pomiar ciśnienia i temperatury) i BME280 (pomiar ciśnienia, temperatury i wilgotności względnej).

W modułach T-Beam, T-Lora T3_V1.6.1 Heltec V2 i V3 podłączenia do wyprowadzeń magistrali I2C jak dla wyświetlacza. Napięcie zasilania jest pobierane z wyprowadzenia 3,3 V.

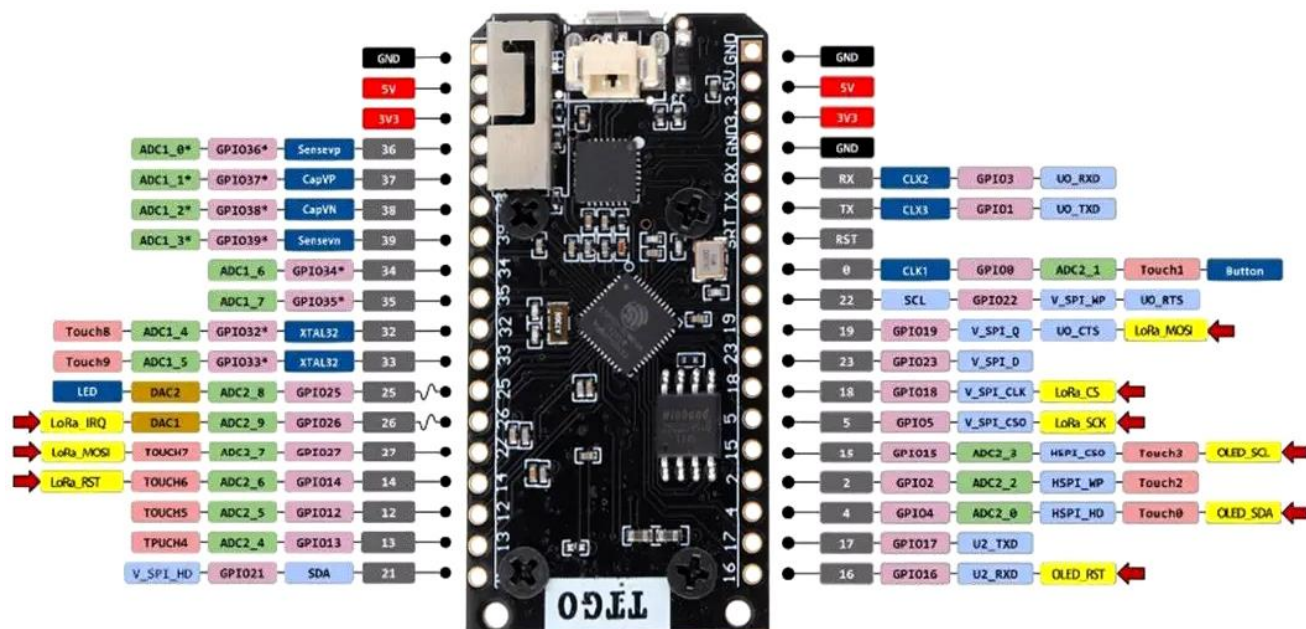
Do włączenia czujników służą odpowiednio polecenia

--bmp on, lub

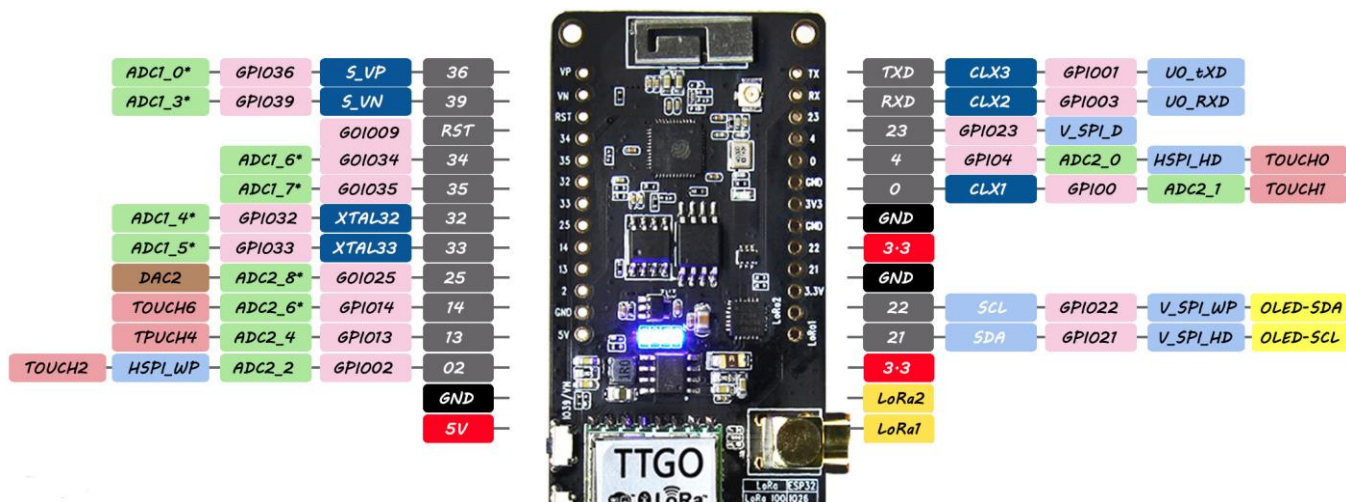
--bme on.

Konieczne jest ponowne wystartowanie modułu. Odczyt danych meteorologicznych następuje po podaniu polecenia --weather przez złącze szeregowe albo za pomocą programu androidowego.

Do całkowitego wyłączenia czujników służy polecenie --bmx off.



Rys. 2.5.1. Numeracja wyprowadzeń na płytce T-Lora. Wygląd płytki może się różnić od pokazanej w zależności od producenta



Rys. 2.5.2. Numeracja wyprowadzeń na płytce T-Beam. Wygląd płytki może się różnić w zależności od producenta

3. Odbiorniki GPS. Dopuszczalne są jedynie odbiorniki zasilane napięciem 3,3 V. Konieczne jest podłączenie masy, napięcia zasilania 3,3 V oraz wyprowadzeń TX i RX.

Odbiornik GPS6MV2 HW-248 – UBLOX NEO-6M-0-001

Moduł Heltec V2

RX <-- wyprowadzenie 2 (TX z punktu widzenia modułu),

TX --> wyprowadzenie 17 (RX z punktu widzenia modułu),
 Moduł Heltec V3
 RX <-- wyprowadzenie 37 (TX z punktu widzenia modułu),
 TX --> wyprowadzenie 36 (RX z punktu widzenia modułu),
 Moduł ESP32-E22
 RX <-- wyprowadzenie 16 (TX z punktu widzenia modułu),
 TX --> wyprowadzenie 17 (RX z punktu widzenia modułu),
 Moduł T-Lora T3_V1.6.1
 RX <-- wyprowadzenie 13 (TX z punktu widzenia modułu),
 TX --> wyprowadzenie 15 (RX z punktu widzenia modułu).

2.6. Zestaw poleceń *MeshComu*

Tabela 2.6.1. Zestaw poleceń podawanych wyłącznie przez złącze szeregowo

Polecenie	Znaczenie
--help	Wywołanie pomocy
--info	Wywołanie informacji o bieżących ustawieniach
--pos	Wywołanie informacji o współrzędnych geograficznych stacji
--mheard (--mh)	Wywołanie spisu stacji odebranych od momentu uruchomienia programu
--path (--mh)	Odebrane przez protokół Hey trasy transmisji od ostatniego włączenia węzła. Protokół i komunikaty typu Hey służą do rozpoznania istniejących połączeń z węzłami sieci i dynamiczne reagowanie na zmiany w niej.
--setcall <znak>	Wprowadzenie znaku wywoławczego z rozszerzeniem. Po 15 sekundach od wpisania znaku następuje automatyczny start programu
--setctry xx	Wybór standardu stosowanego w poszczególnych krajach: EU (ustawienie domyślne), UK, US, VR2, 868, 915. W krajach europejskich stosowany jest opisany powyżej standard EU, eksperymentalnie krótkofalowcy uruchamiają sieci w zakresie 868 MHz, przewidzianym dla stacji nielicencjonowanych
--setgrc...	Wybór pożądaných grup, przykład --setgrc232;2321;260;20 --setgrc bez parametrów powoduje skasowanie dotychczasowego wyboru
--setssid <nazwa>	Podanie nazwy lokalnej sieci WiFi, automatyczny start po 15 sekundach
--setpwd <hasło>	Podanie hasła dostępu do lokalnej sieci, automatyczny start po 15 sekundach
--setwifiap on/off	Włączenie usługi WEB w trybie pracy jako punkt dostępowy
--sethamnet	Dostęp do serwera MQTT przez Hamnet. Po 10 sekundach następuje automatyczny start programu
--setinet	Dostęp do serwera MQTT przez Internet. Jest to ustawienie domyślne. Po 10 sekundach od podania polecenia następuje automatyczny start programu
--setinfo on/off	Włączenie lub wyłączenie komunikatów Lora RX/TX i UDP, nie zapisywane na stałą
--gateway on	Włączenie bramki – dostępu do serwera MQTT przez sieć WiFi
--gateway off	Wyłączenie bramki
--webserver on/off	Włączenie usługi WEB dostępnej przez łącze WiFi/ethernetowe
--setinfo off	Wyłączenie wyświetlania komunikatów LoRa/UDP w programie terminalowym. Ustawienie domyślne
--setinfo on	Włączenie wyświetlania powyższych komunikatów
--debug on/off	Włączenie lub wyłączenie trybu diagnostycznego
--loradebug on/off	Włączenie lub wyłączenie diagnostyki dla transmisji LoRa
--gpsdebug on/off	Włączenie lub wyłączenie diagnostyki dla odbioru GPS
--wxdebug on/off	Włączenie lub wyłączenie diagnostyki dla czujników pomiarowych
--bleddebug on/off	Włączenie lub wyłączenie diagnostyki dla złącza <i>Bluetooth</i>
--softserdebug on/off	Włączenie lub wyłączenie diagnostyki dla złącza szeregowego, dla funkcji telemetrycznych polecenie nie zapisywane na stałą
--showI2C	Wykrywanie urządzeń połączonych przez magistralę I2C

Nadawanie wiadomości do wszystkich w trybie bezpośrednim (DM) przez złącze szeregowe wymaga wpisania jej w następującym formacie:

::{znak nadawcy}tekst<ENTER>

przykładowo:

::{OE1KDA-1}tekst<ENTER>

Tabela 2.6.2

Zestaw poleceń dostępnych na złączach szeregowym i *Bluetooth*. Są one poprzedzone podwójną poziomą kreską

Polecenie	Znaczenie
--help	Wywołanie pomocy
--volt	Wyświetlanie napięcia w voltach na wyświetlaczu modułu
--proz	Wyświetlanie stanu zasilania (naładowania akumulatora) w procentach
--maxv 99.9	Podanie maksymalnego napięcia naładowanego akumulatora. Istotne dla wskazań procentowych
--button on	Aktywacja przycisku w modelach TBEAM, TLORA, ESP32/E22, HELTEC V2/V3
--button off	Wyłączenie przycisku j.w. Gdy przycisk nie jest podłączony należy wyłączyć odpytanie jego stanu
--button gpio N	Deklaracja kontaktu dla przycisku na złączu gpio, N jest numerem kontaktu
--all	Wyświetlanie na wyświetlaczu meldunków pozycji aż do nadejścia nowego meldunku
--msg	Wyświetlanie tylko odebranych meldunków
--display on/off	Włączenie lub wyłączenie wyświetlacza modułu <i>LoRa</i> , po odbiorze meldunku wyświetlacz jest zawsze włączony na 30 sekund ***
--sendpos	Nadawanie meldunku zawierającego własne współrzędne
--setlat xx.xxxxxx	Wprowadzenie długości geograficznej w stopniach (przy braku odbiornika GPS). Wartości dodatnie – długości wschodnie
--setlon xxx.xxxxxx	Wprowadzenie szerokości geograficznej w stopniach jak powyżej. Wartości dodatnie oznaczają szerokości północne
--setalt xxxxx	Wprowadzenie wysokości w metrach n.p.m.
--utcoff +/- 99.9	Różnica między czasem lokalnym i czasem UTC
--settime rrrr.mm.dd hh:mm:ss	Wprowadzenie daty i czasu UTC
--track on	Włączenie wskazań dla inteligentnej (zależnej od szybkości ruchu) transmisji współrzędnych ***
--track off	Wyłączenie powyższych wskazań ***
--postime 9999	Odstęp czasu w sekundach między transmisjami współrzędnych, minimum 300 sekund = 5 minut
--wx	Włączenie wskazań meteorologicznych. Warunkiem jest podłączenie czujnika BMP280, BME280 lub BME680
--gps on	Włączenie odczytu odbiornika GPS. Dotyczy to dodanego odbiornika
--gps off	Wyłączenie odczytu odbiornika GPS. Zmniejsza zużycie prądu z akumulatora
--pos	Wyświetlenie współrzędnych bieżących lub zapisanych w pamięci
--bme on	Włączenie czujnika BME280
--bmp on	Włączenie czujnika BMP280
--bmx off	Wyłączenie czujników BME280, BMP280, BME680
--680 on/off	Włączenie lub wyłączenie czujnika BME680
--811 on/off	Włączenie lub wyłączenie czujnika CCS811
--onewire on.off	Włączenie lub wyłączenie magistrali <i>1-wire</i>
--onewire gpio 99	Wybór wyprowadzenia używanego przez magistralę <i>1-wire</i>
--atxt <tekst>	Wprowadzenie tekstu dodawanego do komunikatów APRS

--reboot	Ponowne załadowanie i wystartowanie programu
--setcall znak wywoł.	Wprowadzenie znaku wywoławczego (dozwolonego w APRS), po 15 sekundach ponowny start programu **
--setctry xx	Wybór regionalnego standardu transmisji (patrz tabela) **
--setssid WiFinazwa	Podanie nazwy lokalnej sieci WiFi, maksymalna długość 32 znaki alfanumeryczne *
--setpwd hasłoWiFi	Podanie hasła dostępu do lokalnej sieci bezprzewodowej, maksymalna długość 63 znaki alfanumeryczne, *, **
--setgrc ...	Filtracja grup, numery oddzielane są średnikami, całość pisana bez odstępów, przykład --setgrc260;261. Numeracja grup jest oparta na stosowanej w sieci DMR.
--setgrc	Podane bez numerów kasuje podane poprzednio numery grup
--gateway on/off	Włączenie bramki – dostępu do serwera MQTT przez sieć WiFi lub jej wyłączenie
--gateway srv oe/dl	Wybór internetowego serwera wyświetlającego pulpit – austriackiego lub niemieckiego. Niemiecki serwer został uruchomiony w połowie roku 2025.
--webserver on/off	Włączenie lokalnego serwera http węzła dostępnego przez WiFi lub ethernet
--setwifiap on/off	Włączenie trybu pracy jako punkt dostępowy
--setownip xx.xx.xx.xx	Podanie własnego statycznego adresu IP dla węzła, kasowanie przez podanie rozkazu bez danych *
--setowngw xx.xx.xx.xx	Podanie statycznego adresu domyślnej bramki, kasowanie przez podanie rozkazu bez danych *
--setownms xx.xx.xx.xx	Podanie statycznej maski sieci (konieczne podanie wszystkich trzech adresów), kasowanie przez podanie adresu bez danych
--showI2C	Wykrywanie urządzeń połączonych przez magistralę I2C
--webpwd xxxx	Podanie hasła dostępu do powierzchni obsługi przez WiFi *
--btcode NNNNNN	Wprowadzenie kodu dostępu przez BLE, domyślnie 000000, wymagane 6 cyfr i > 100000
--ota-update	Włączenie aktualizacji oprogramowania węzła drogą radiową
--extudpip xx.xx.xx.xx	Adres docelowy dla pakietów UDP dla JSON
--extudp on/off	Włączenie kanału JSON opartego o datagramy UDP. Kanał logiczny 1799, https://groups.io/g/meshcom/message/222
--nomsgall in/off	Włączenie lub wyłączenie wyświetlania własnych meldunków do wszystkich

* Dla skasowania podać „none”.

** Po 15sekundach od podania polecenia następuje ponowny start programu.

*** Odstęp w sekundach, kierunek w stopniach, odległość od ostatniego punktu w metrach.

**** Bramka pozostaje stale włączona.

Polecenia dostępne bezpośrednio z programu androidowego: gateway, gps, button, track, bme, bmp.
WX-Info – wywołanie danych meteorologicznych, jedynie gdy na złączu I2C włączony czujnik BME lub BMP.

POS-Info – wywołanie współrzędnych pozycyjnych, gdy podłączony odbiornik GPS.

Minimalna konfiguracja węzła wymaga podania poleceń: --setcall....; --setlat.....; --setlon...; --setalt...; Domyślnie podany jest rejon EU, w przypadku korzystania z innego standardu konieczne jest polecenie --setctry...

Minimalna konfiguracja węzła łączącego z Internetem wymaga podania dodatkowo poleceń: --setssid...; --setpwd...; --gateway on; --gateway srv oe (lub dl; domyślnie oe). Domyślnie przyjęty jest dostęp przez internet, polecenie --setinet jest więc zbędne. W przypadku korzystania z Hamnetu niezbędne jest polecenie --sethamnet.

Tabela 2.6.3

Standardy regionalne (* wartość proponowana domyślnie)

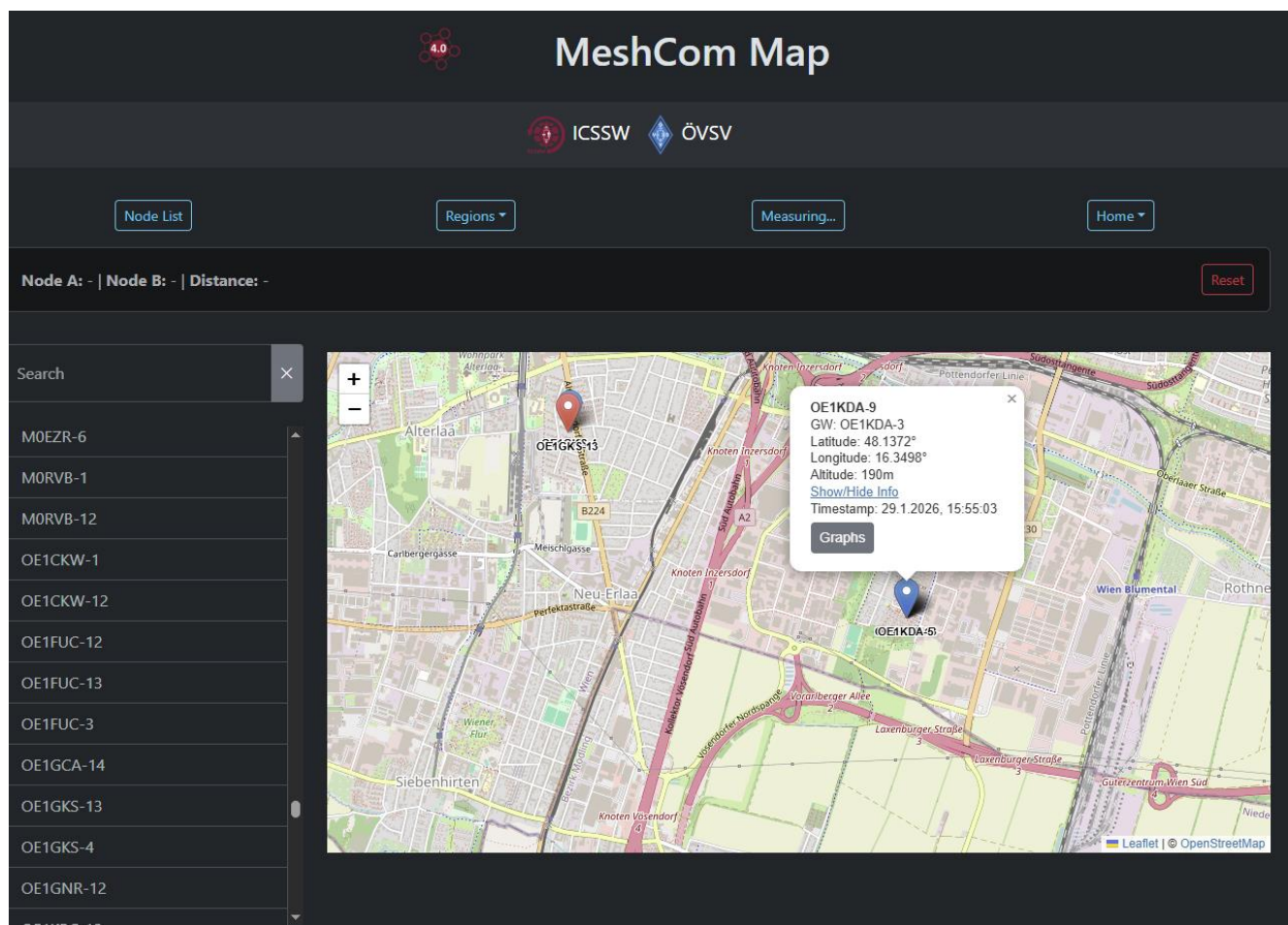
Identyfikator kraju	Kod kraju	Rejon lub kraj	Częstotł. środkowa [MHz]	Pasmo [kHz]	Nagłówek [bajt.]	Wsp. rozprasz.	Stopa korekcji	Częstotł. LoRa APRS [MHz]
0	EU	Europa	433,175	250	32	11	4/6	433,775
1	UK	W. Brytania	439,9125	125	8	10	4/4	433,775
2	ON	Belgia	433,175	125	8	10	4/6	433,775
4	LA	Norwegia	433,925	125	8	10	4/6	
5	868	Nielicencj.	869,525	250	8	11	4/6	
6	915	Nielicencj.	906,875	250	8	11	4/6	
7	MAN	dowolny	433,175 *	250	32	11	4/6	
8	EU8	Europa	433,175	250	8	11	4/6	433,775
9	UK8	W. Bryt.	439,9125	125	8	10	4/4	433,775
10	US	Am. Pn.	433,175	250	8	11	4/6	433,775
11	VR2	Hongkong	433,775	250	8	11	4/6	

2.7. Aktywność

MeshCom 4.0 Server														
NOT REGISTERED (D.05.25) 2023-07-11 18:10:34														
MeshCom NODES														
GATEWAYS														
NODES	NR.	LASTTIME	CALL	VIA GW	HOP	SNR	RSSI	HW	FW	LAT	LON	ALT	BAT	LAST GPS
	1	2023-07-11 18:10:25	9V1LH-12	9V1LH-12				TLORA T3_V1.6.1	4.20	01.3770	103.9417	42m	100%	0:13:51
ACTIVITY	2	2023-07-11 18:10:23	BOT GATE	BOT GATE				00						
INTERLINK	3	2023-07-11 18:10:21	DB0WTH-99	DB0WTH-99				HELTEC V2	4.13	49.4080	09.8247	465m	100%	0:13:31
UDP-GW	4	2023-07-11 17:32:24	DL4SDR-44	DB0WTH-99	4	-2	-101	E22	4.23	49.4978	09.7673			0:37:56
	5	2023-07-11 17:22:30	DL4SDR-5	DB0WTH-99	3	-2	-102	TBEAM T22_V1.1	4.23	49.4978	09.7662	152m	78%	0:47:45
EXTERN	6	2023-07-11 18:10:30	DD1WKS-12	DD1WKS-12				TLORA T3_V1.6.1	4.23	49.4268	06.8320			0:25:53
LOG	7	2023-07-11 17:42:48	DD7MH-1	DD7MH-12	4	6	-50	RAK4631	4.23	48.1650	12.6167	462m	74%	0:27:39
DENY	8	2023-07-11 18:10:11	DD7MH-12	DD7MH-12				RAK4631	4.20	48.1650	12.6167	466m	93%	0:27:34
	9	2023-07-11 17:42:34	DD7MH-3	DD7MH-12	4	7	-55	RAK4631	4.23	48.1652	12.6167	477m	43%	0:27:53
SITE-INFO	10	2023-07-11 18:03:47	DG1MFX-17	DG1MFX-99	4	10	-36	TBEAM T22_V1.1	4.10	48.1032	11.5888	560m	100%	0:06:47
WIKI	11	2023-07-11 18:10:25	DG1MFX-99	DG1MFX-99				TBEAM T22_V1.1	4.11	48.1037	11.5888	545m		0:08:41
	12	2023-07-11 18:10:31	DG3SBI-99	DG3SBI-99				TBEAM T22_V1.1	4.23	48.8417	09.7098			0:25:39
MeshCom	13	2023-07-11 18:10:31	DG5NET-99	DG5NET-99				TLORA T3_V1.6.1	4.23	49.5152	10.8783	299m		0:10:02
	14	2023-07-11 17:46:21	DG9FFM-1	DG9FFM-12	5	13	-38	TBEAM 1268	4.23	49.7567	09.5142	155m	100%	0:24:07
	15	2023-07-11 18:10:29	DG9FFM-12	DG9FFM-12				HELTEC V2	4.23	49.7567	09.5142	160m		0:19:58
OE1KBC	16	2023-07-11 17:48:07	DG9FFM-3	DG9FFM-12	5	6	-101	HELTEC V2	4.23	49.7598	09.5105	160m		0:22:21
OE1KFR														
	27	2023-07-11 18:13:49	OE1EMP-13	OE1EMP-13				TBEAM T22_V1.1	4.23	48.1332	16.4667	160m	87%	0:18:31
	28	2023-07-11 18:14:06	OE1GKS-12	OE1GKS-12				TBEAM T22_V1.1	4.23	48.1480	16.3208	242m	98%	0:14:45
	29	2023-07-11 18:08:47	OE1GKS-4	OE1GKS-12	5	11	-70	TBEAM T22_V1.1	4.23	48.1480	16.3208	242m	100%	0:05:19
	30	2023-07-11 17:27:55	OE1KDA-3	OE1GKS-12	5	-16	-127	TLORA T3_V1.6.1	4.23	48.1370	16.3500	189m	100%	0:45:56
	31	2023-07-11 16:36:15	OE1UHA-5	OE1GKS-12	5	-11	-121	TLORA T3_V1.6.1	4.21	48.1668	16.3185		4%	outdated

Rys. 2.7.1. Fragment spisu czynnych stacji na pulpicie serwera *MeshCom* pod adresem internetowym <https://srv08.oevsv.at/meshcom/>. Linia 30 dokumentuje obecność stacji OE1KDA-3. Na ilustracji opuszczono linie 17 – 26 i kolumny danych telemetrycznych. W kolumnie HOP podana jest pozostająca jeszcze liczba retransmisji. Jest ona zmniejszana o jeden po każdej retransmisji

W witrynie <https://mcmap.oevsv.at/> wyświetlane są z kolei lokalizacje stacji na mapie. Stacje o znacznikach niebieskich nie mają bezpośredniego połączenia z serwerem internetowym i ich dane docierają przez sieć LoRa, natomiast stacje zaznaczone na czerwono mają włączoną bramkę internetową. Użytkownik ma do wyboru dowolną część świata i dowolną skalę mapy. Naciśnięcie znacznika stacji otwiera okienko informacyjne z danymi stacji, a naciśnięcie w nim przycisku ekranowego *Graph* otwiera wykresy danych telemetrycznych jeśli stacja dostarcza tych danych.



Rys. 2.7.2. Lokalizacja stacji na internetowej mapie. W spisie po lewej stronie wybierany jest znak stacji. W przykładzie informacje o stacji OE1KDA-9 odbieranej za pośrednictwem bramki OE1KDA-3

2.8. Czujniki telemetryczne

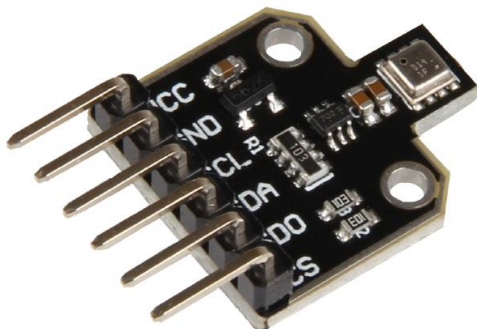
W oprogramowaniu węzłów *Meshcomu* przewidziana jest możliwość podłączenia czujników mierzących temperaturę otoczenia, wilgotność względną, ciśnienie atmosferyczne albo stężenie gazów szkodliwych. Uruchomienie czujnika wymaga jego podłączenia do jednego ze złączy, którymi dysponuje mikrokomputer i włączenia pomiaru w programie. Odczytane i ewentualnie przeliczone dane pomiarowe są zawarte w komunikatach nadawanych przez węzły sieci. Meldunki bieżące i poprzednie wraz z wykresami przebiegów mierzonych wartości są dostępne w witrynie [2.8.3]. Transmisja danych telemetrycznych i ich dostępność w internecie przyczyniają się do zwiększenia atrakcyjności sieci. Do wywołania danych telemetrycznych służy polecenie `-wx`. W przypadku dostępu za pomocą sieci WiFi lub przez BT użytkownicy mogą otworzyć okienka zawierające te dane. Należą do nich m.in. temperatura wewnętrzna i zewnętrzna, wilgotność względna, ciśnienie zmierzone (QNF) i skorygowane do poziomu morza (QNH), stężenie gazów szkodliwych w nieprzeliczonej postaci oporności czujnika (w $k\Omega$), stężenie przeliczone na równoważnik CO_2 , napięcie i prąd zmierzone za pomocą czujnika INA226 itd. Zależnie od wyposażenia stacji tylko część danych zawiera rzeczywiste dane, a pozostałe mają wartości zerowe. Użytkownicy mogą definiować własne zestawy danych, co opisano na końcu punktu.

Mikrokomputery stosowane w węzłach *Meshcom* są oprócz kanału radiowego LoRa wyposażone w złącza I2C, SPI, *1-Wire* i *Bluetooth*. Złącze I2C jest dwukierunkową magistralą, na którą składają się (oprócz masy) dwa przewody SCL i SDA (patrz dodatek B). Pierwszy z nich służy do transmisji sygnału zegarowego synchronizującego wymianę danych, a drugi – SDA – do przekazywania danych w obie strony. Magistrala jest zasadniczo przewidziana do połączeń między układami scalonymi znajdującymi się na tej samej płytce drukowanej albo na płytkach sąsiadujących. Znajduje ona też zastosowanie w połączeniach z czujnikami na niewielkie odległości. W mikrokomputerach używanych w sieci *Meshcom* jest do niej podłączony także wyświetlacz. Magistrala nie wymaga żadnej konfiguracji w programie węzła. W oprogramowaniu *Meshcomu* służy do podłączenia czujników BME/BMP 280, 680 i CCS811 (w modułach RAK także LPS33). W przypadku gdy czujnik nie reaguje po włączeniu lub w innych niejasnych sytuacjach przydatne jest polecenie diagnostyczne `showI2C`. Odpowiedź informuje o znalezionych na magistrali czujnikach i ich adresach nawet jeżeli są nieczynne (nie włączone w programie albo nie aktywowane za pomocą wejścia aktywującego).

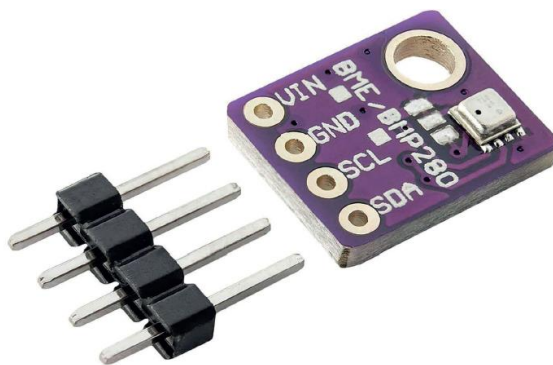
W połączeniach z czujnikami używane jest także, opracowane przez firmę Dallas, szeregowo asynchroniczne złącze *1-Wire* składające się z dwukierunkowego przewodu danych i masy. Złącze asynchroniczne nie wymaga sygnału zegarowego. Podłączone do niego czujniki wymagają oczywiście doprowadzenia napięcia zasilania. Oprogramowanie węzłów *Meshcomu* wymaga zadeklarowania używanego kontaktu za pomocą polecenia `onewire gpio 25`. Autor zrezygnował z dalszych prób i wykorzystał zalecane dla modułu TLORA wyprowadzenie 25. Magistrala wymaga zainstalowania opornika podciągającego 4,7 $k\Omega$ od przewodu sygnałowego do plusa zasilania (rys. 2.8.1). W oprogramowaniu *Meshcomu* jest wykorzystana do podłączenia czujnika temperatury DS18B20 (fot. 2.8.3).

Złącze *Bluetooth* służy do komunikacji telefonów komórkowych lub komputerów androidowych z węzłami *Meshcom*. Szczegóły zawiera punkt 2.3.

Złącze COM pozwala na podawanie poleceń z komputera PC za pomocą zainstalowanego na nim programu terminalowego PuTTY (punkt 2.2). Zestaw dostępnych poleceń znajduje się w punkcie 2.6.



Fot. 2.8.1. Czujnik meteorologiczny BME680

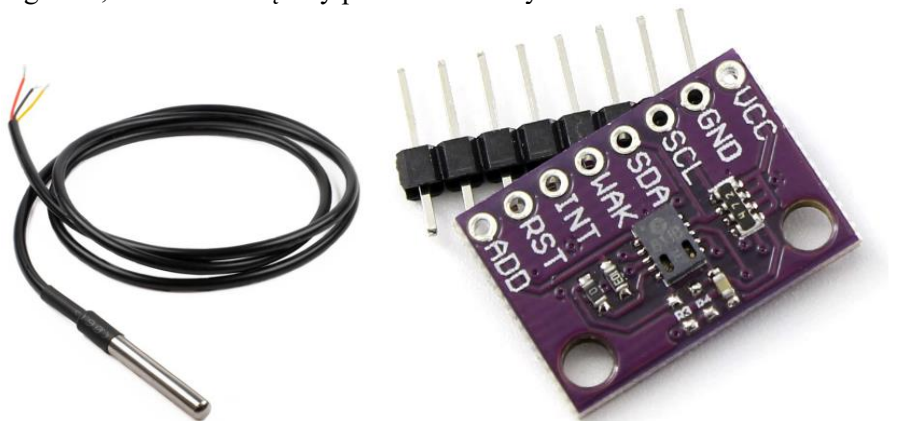


Fot. 2.8.2. Czujnik meteorologiczny BME280

BME680 jest uniwersalnym czujnikiem ciśnienia atmosferycznego w zakresie 300 – 1100 hPa (z dokładnością do $\pm 0,12$ hPa), temperatury otoczenia w $^{\circ}\text{C}$ (z dokładnością do $\pm 1^{\circ}\text{C}$), wilgotności względnej w % (z dokładnością do $\pm 3\%$) i stężenia gazów szkodliwych: etanu, etanolu, acetonu, izoprenu i tlenku węgla. Zmierzona wartość ciśnienia atmosferycznego nie jest w oprogramowaniu węzła przeliczana na ciśnienie nad powierzchnią morza (QNH). Poprawkę w zależności od wysokości n.p.m. podano w dodatku C.

Czujnik może komunikować się z mikrokomputerem przez złącze I2C albo SPI. Obecnie w oprogramowaniu węzłów amatorskich wykorzystywane jest jedynie złącze I2C (tab. 2.8.1).

Stężenie gazów w otoczeniu czujnika wpływa na jego oporność w ten sposób, że redukuje tlen związany z powierzchnią gazoczułą i zmniejsza oporność czujnika. W czystej atmosferze utlenianie powierzchni gazoczułej powoduje wzrost jej oporności. Zmierzona wartość wyjściowa jest podawana w kiloomach, a jej przeliczenie na standaryzowany indeks jakości powietrza (rys. 2.8.2) wymaga użycia biblioteki podprogramów firmy *Bosch* (uwzględniającej wpływy parametrów otoczenia na charakterystykę czujnika). Ta część zadania nie została jeszcze zrealizowana w obecnych wersjach programu, dlatego też komunikaty zawierają jedynie oporność czujnika. Wartości większe oznaczają mniejsze stężenie wykrywanych gazów, a niższe – większy poziom zanieczyszczeń.



Fot. 2.8.3. Wygląd termometru DS18B20 w wykonaniu hermetycznym; zasilanie – przewód czerwony, dane – żółty, masa – czarny

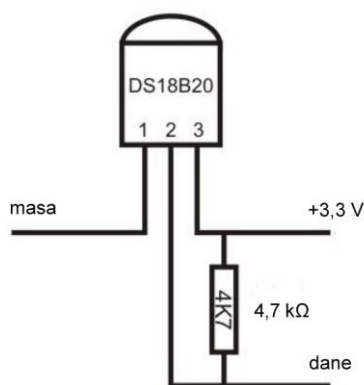
Fot. 2.8.4. Czujnik dwutlenku węgla CJMCU-811

Do włączenia czujnika w programie służy polecenie *680 on* podawane przez złącze COM z komputera za pomocą programu terminalowego PuTTY. Możliwe jest też włączenie z androidowego programu *Meshcom*. Wyłączenie pomiarów następuje po podaniu polecenia *bm x off*. Napięcie zasilania BME680 wynosi 3,3 V. Pobór prądu w trakcie pomiarów stężenia gazów dochodzi do 12 mA, a w trakcie pozostałych – kilku mikroamperów.

Polecenie *weather* lub *wx* powoduje wyświetlenie komunikatu zawierającego dane meteorologiczne, *sendpos* – nadania standardowego komunikatu zawierającego geograficzną pozycję stacji (odczytaną z odbiornika GPS w modułach weń wyposażonych bądź wpisaną przez operatora) z ewentualnymi dodatkowymi danymi.

BME280 jest podobnym uniwersalnym czujnikiem pomiarowym, różniącym się jedynie tym, że nie mierzy stężenia gazów. Zakres pomiarów ciśnienia leży między 300 i 1100 hPa (z dokładnością 1 hPa), temperatury $-40 - +85^{\circ}\text{C}$ (z dokładnością $\pm 1^{\circ}\text{C}$), a wilgotności względnej 0 – 100 % (z dokładnością $\pm 3\%$). Korzysta on jedynie ze złącza I2C. Napięcie zasilania może wynosić 3,3 V albo 5 V. BMP280 pozwala jedynie na pomiary ciśnienia i temperatury. Oba czujniki przewyższają dokładnością wcześniejsze typy BMP180 i BME180 i charakteryzują się niższym poborem prądu. W celu włączenia czujnika należy podać polecenia *bmp on* lub *bme on* a w celu ich wyłączenia *bm x off*. Możliwe jest też włączenie z komputera androidowego. Komunikaty węzłów *Meshcom* zawierają w tym przypadku również ciśnienie przeliczone do poziomu morza (QNH).

DS18B20 jest cyfrowym termometrem korzystającym z magistrali *1-wire* (tab. 2.8.2). Zakres pomiarowy wynosi $-55 - +125^{\circ}\text{C}$, a dokładność $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Pomiary rozpoczynają się po podaniu przez złącze COM polecenia *onewire on*. Można go także włączyć z androidowego komputera lub telefonu. Wyłączenie następuje po podaniu polecenia *onewire off*. W rozpowszechnionym wydaniu czujnik jest połączony hermetycznie z kablem i dzięki temu może być umieszczony na zewnątrz (fot. 2.8.3). Wyniki jego pomiarów są podawane w komunikatach jako temperatura zewnętrzna. Może być zasilany napięciem 3,3 V albo 5 V. Oprócz tego w sprzedaży znajduje się wersja w plastikowej obudowie tranzystorowej nadająca się do pomiarów wewnątrz pomieszczeń.



Rys. 2.8.1. Schemat połączeń dla termometru DS18B20

Czujnik CCS811 (CJMCU-811) jest przeznaczony do pomiaru stężenia dwutlenku węgla w pomieszczeniach w zakresie $400 - 32768 \times 10^{-6}$. Jest on przeznaczony m.in. do zastosowań w telefonach komórkowych, domowych stacjach pomiarowych i domowych urządzeniach klimatyzacyjnych. CCS811 korzysta z magistrali I2C i wymaga uruchomienia za pomocą polecenia *811 on*. Wyprowadzenie *Wake* musi być połączone z masą. W przeciwnym wypadku czujnik jest wprowadzanie wykrywany za pomocą polecenia *showI2C*, ale nie wykonuje pomiarów. Wyłączenie CCS811 następuje po podaniu polecenia *811 off*. Maksymalne dopuszczalne napięcie zasilania wynosi 3,6 V, typowe 3,3 V. W trakcie pomiaru pobiera on prąd 26 mA, a w trakcie czuwania 19 μA .

Moduły RAK współpracują (za pośrednictwem magistrali I2C) z cyfrowym czujnikiem barometrycznym LPS33. Jego zakres pomiarowy wynosi 300 – 1200 hPa, napięcie zasilania 3,3 V a pobór prądu tylko kilka mikroamperów. LPS33 jest wyposażony również w złącze SPI, dzięki czemu może współpracować z mikrokomputerami Arduino i podobnymi. Do włączenia czujnika służy polecenie *lps33 on*, a do wyłączenia – *lps33 off*.

Tabela 2.8.1

Wyprowadzenia na listwach kontaktowych: magistrali I2C z uwzględnieniem masy i napięcia zasilania

Wyprowadzenie	TLORA	TBEAM	HELTEC LoRa 32 V3	RAK4631
SCL	IO22	IO22	GPIO42	36
SDA	IO21	IO21	GPIO41	35
Masa	GND	GND	GND	3
3,3 V	3V3	3V3 (obok SDA)	3V3	5

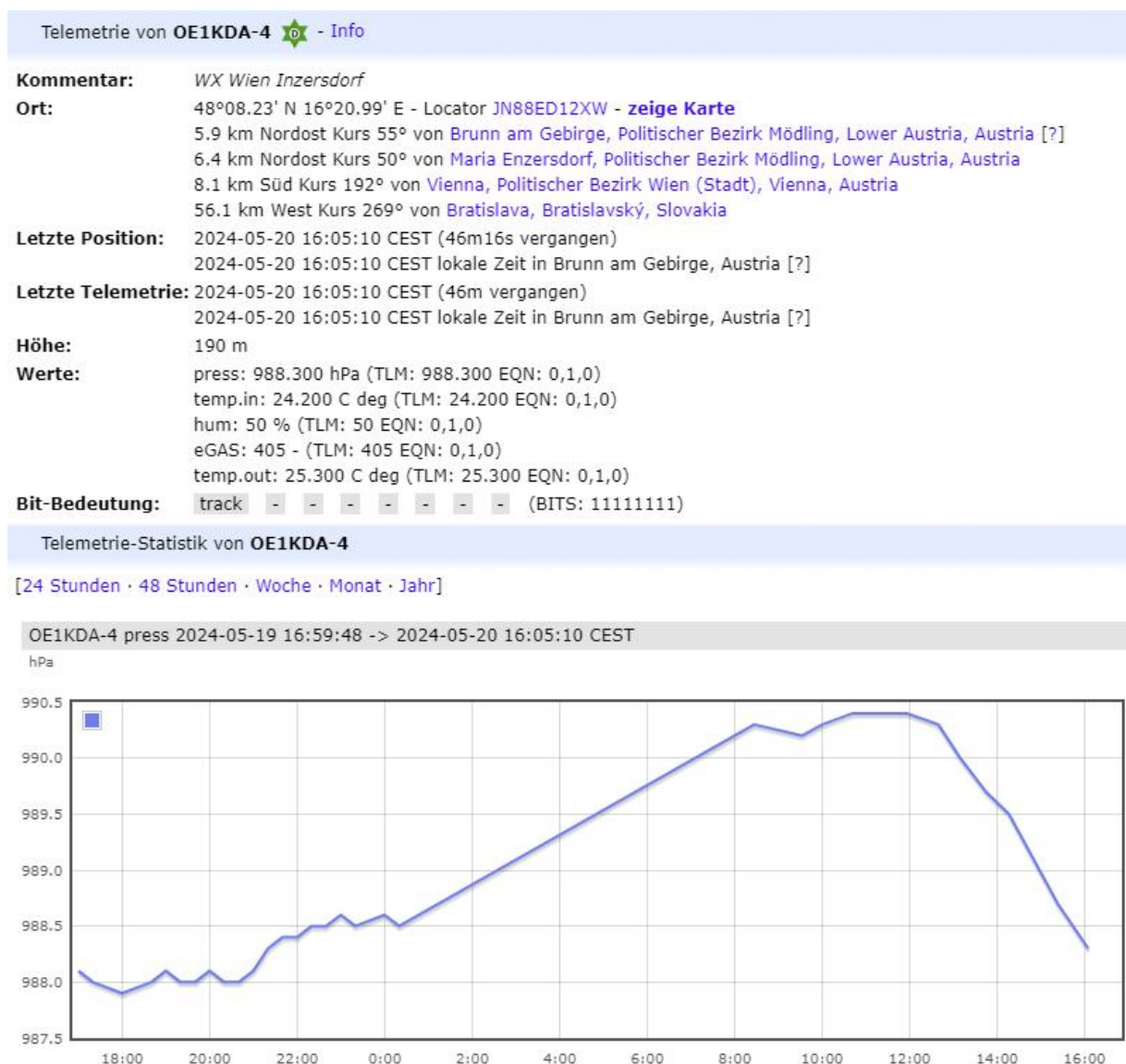
Tabela 2.8.2

Wyprowadzenia magistrali *1-Wire*. W tabeli pominięto wyprowadzenia zasilania i masy, ponieważ są one wymienione w tabeli 2.8.1.

Wyprowadzenie	TLORA, E22	TBEAM	HELTEC LoRa 32 V2
Sygnałowe	IO25	IO25	17

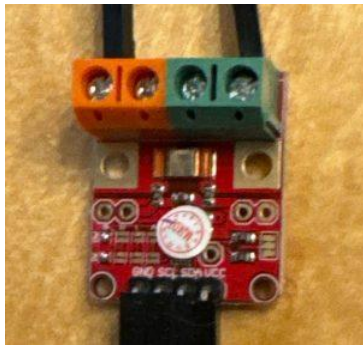
Indeks IAQ	Jakość powietrza
0 – 50	dobra
51 – 100	przeciętna
101 – 150	niedobra
151 – 200	zła
201 – 300	gorsza
301 – 500	bardzo zła

Rys. 2.8.2. Znaczenie indeksu IAQ

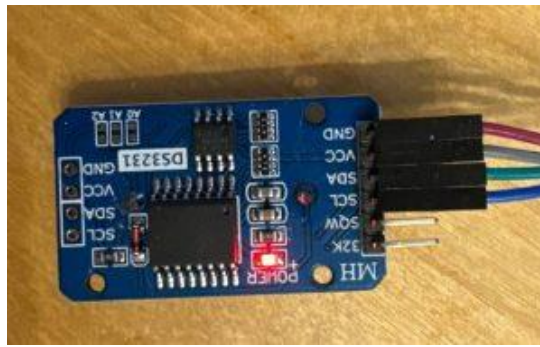


Fot. 2.8.6. Fragment danych telemetrycznych stacji OE1KDA-4 wyposażonej w czujniki BME680 i DS18B20 – przebieg zmian ciśnienia atmosferycznego w ciągu 24 godzin [2.8.3]

Moduł INA226 służy do pomiarów napięć stałych w zakresie do 36 V i prądów stałych w zakresie do 20 A. Może więc przykładowo służyć do zdalnej obserwacji stanu i prądów ładowania lub obciążenia akumulatora ładowanego z baterii słonecznej, używanego do awaryjnego zasilania różnych urządzeń. Do połączenia z mikroprocesorem służy magistrala I2C. Wyniki pomiarów można odczytać za pomocą polecenia `--info` lub korzystając z usługi WEB.



Fot. 2.8.7. Czujnik INA226



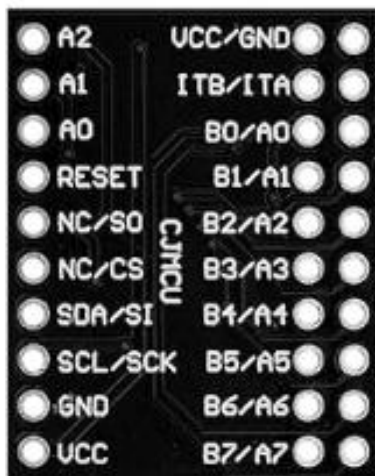
Fot. 2.8.8. Zegar RTC DS3231

Układ zegara czasu rzeczywistego RTC DS3231 jest zasilany z akumulatora podtrzymującego i dostarcza informacji o bieżącej dacie i czasie. Nastawianie i odczyt zegara odbywa się za pośrednictwem magistrali I2C lub usługi WEB. Układ jest rozpoznawany automatycznie przy starcie mikrokomputera i nie wymaga oddzielnego włączania. Jeżeli węzeł jest wyposażony w odbiornik GPS data i czas są odczytywane z komunikatów odbiornika.

Moduł MCP23017 zwiększa o 16 liczbę wejść i wyjść mikrokomputera węzła. Jest on podłączony do magistrali I2C i jest automatycznie rozpoznawany przy starcie programu. Każda z linii może być dowolnie programowana jako wejście lub wyjście w zależności od potrzeb.

Jedno z wejść GPIO może zostać też zadeklarowane jako wejście analogowe za pomocą polecenia `--analog gpio 99`. W miejsce 99 podawany jest numer kontaktu. W modułach E22 i T-BEAM jest to domyślnie kontakt 32. Po włączeniu pomiarów za pomocą polecenia `--analogcheck on` są one wykonywane co 30 sekund. Zmierzone wartości są przekazywane przez złącze BLE do programu sterującego i mogą być też wywołane za pomocą polecenia `--info`. Do wyłączenia pomiarów służy polecenie `--analogcheck off`. Zależnie od zakresu mierzonych napięć użytkownik musi włączyć na wejście dzielnik napięcia o tak dobranym stosunku podziału, żeby nie groziło uszkodzenie wejścia.

Odczyt wejść i sterowanie wyjściami odbywa się za pośrednictwem serwera WEB programu. Do wyjść można podłączyć dodatkową płytkę z przekaźnikami zasilanymi napięciem 3,3 V.



Fot. 2.8.9. Płytkę dodatkowych wejść i wyjść węzła



Fot. 2.8.10. Sterowanie na stronie WEB serwera

Począwszy od wersji 4.34w użytkownicy mogą definiować zestawy danych telementrycznych w pożądanej kolejności korzystając z następujących poleceń podawanych przez konsolę (złącze szeregowe):

```
--parm tm1,tm2,tm3,tm4,tm5 – gdzie tm1...tm5 są dowolnymi oznaczeniami, nieużywane nie są
wymieniane;
-- unit u1,u2,u3,u4,u5 – podaje jednostki dla wartości mierzonych w tej samej kolejności co poprzednio;
mogą być to V, A, mV itp.;
--eqns 0,1,0, 0,1,0, 0,1,0, 0,1,0, 0,1,0 – nie muszą być podawane;
--values v1,v2,v3,v4,v5 – wartości z poniższego spisu,
    press – dla BMP, BME280, BME680;
    hum – dla BMP, BME280, BME680;
    temp – dla BMP, BME280, BME680;
    onewire
    co2 – MCU811;
    gasres – dla BME680;
    batt – odczyt z płytki węzła;
    proc – odczyt z płytki węzła;
    vbus – dla INA226;
    vcurrent – dla INA226;
    qnh – ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza przeliczone ze zmierzonego na podstawie
wysokości odczytanej z GPS.
--ptime 99 – odstęp między pomiarami i transmisjami w minutach; w co dziesiątym meldunku
ustawienia są wysyłane do serwera aprs.fi.
--tel — wyświetlanie ustawień, np.
PARM: temp.in,temp.out,qfe,qnh,hum
UNIT: C,C,hPa,hPa,%rel
EQNS: none
VALUES: temp,onewire,press,qnh,hum
PTIME: 15
```

2.9. Serwer WEB

Oprogramowanie węzła począwszy od wersji 4.32a zawiera własny serwer WEB dostępny przez sieć WiFi równoległe z funkcją bramki radiowo-internetowej. Włączenie bramki internetowej nie jest jednak niezbędne.

W celu włączenia serwera należy przez złącze COM (program terminalowy *PuTTY*) podać polecenie `--webserver on`. Możliwe jest także włączenie z poziomu programu *Meshcom* z komputera androidowego. W sieci lokalnej musi być uruchomiona usługa DHCP. Serwer węzła jest dostępny przez przeglądarkę internetową pod adresem `<znak wywoławczy>.local`, przykładowo `oe1kda-3.local`.

Począwszy od wersji 4.32d program może pracować też w trybie punktu dostępowego (ang. *Access Point*). Konieczne jest podanie polecenia `--setwifiap on`. Nazwę sieci i hasło dostępu do punktu dostępowego należy podać za pomocą poleceń:

```
--setssid <nazwa sieci>
--setpwd <hasło dostępu do WLAN>
```

Węzeł łączy się z siecią lokalną automatycznie jeżeli serwer lub bramka są włączone (odpowiednio) za pomocą poleceń `--webserver on` lub `--gateway on`.

Uwaga: nie wszystkie strony są odświeżane automatycznie. Część z nich wymaga ręcznego odświeżenia – ich ponownego wywołania.

Po wprowadzeniu danych w formularzu konfiguracyjnym konieczne jest naciśnięcie odpowiedniego przycisku SET w celu ich zapisania w pamięci węzła (rys. 2.9.1).

▲ oe1kbc-21.local

MeshCom 4.0 OE1KBC-21

UTC-Offset:	2.0	set
POS-Latitude (+/-):	48.2804	
POS-Longitude (+/-):	16.4146	
POS-Altitude:	183	set
APRS-Text:	WebSERVER	set
APRS-GROUP:	/ <	set
APRS-SYMBOL:	b	set
ONEWIRE-PIN:	31	set
COMMAND:		
	send	

SETUP BUTTONS

DISPLAY	GPS	TRACK	BUTTON
BME 280	BMP 280	BME 680	MCU 811
MESH	ONEWIRE (36)	REBOOT	
INFO	POS	WX	MHEARD
SETUP	MESSAGE	SENDPOS	

Rys. 2.9.1. Przykład strony konfiguracyjnej węzła na jego serwerze WEB

2.10. Aktualizacja oprogramowania w czasie bieżącej pracy

Funkcja OTA pozwala na aktualizację oprogramowania wewnętrznego węzła z mikrokontrolerem ESP32 przez sieć WiFi. W programie sterującym przez BT jest ona włączana za pomocą przycisku OTA-Update, w oknie dialogowym przez przeglądarkę internetową przycisk nosi tę samą nazwę, a przy dostępie przez złącze COM należy podać polecenie `--ota-update`.

Aktualne pliki oprogramowania znajdują się pod adresem:

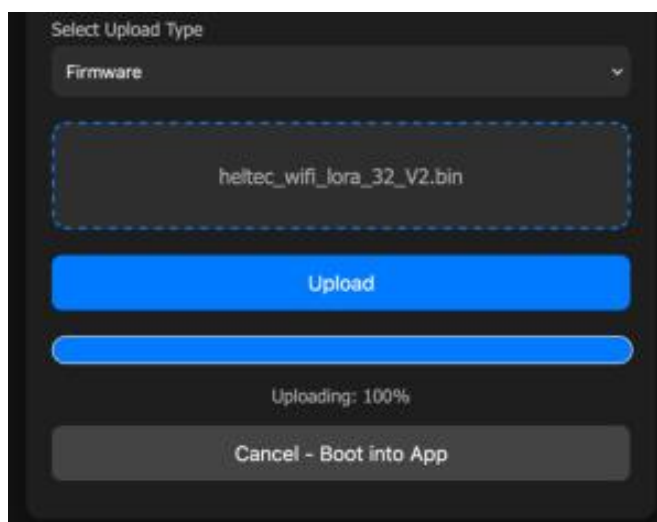
<https://github.com/icssw-org/MeshCom-Firmware/releases>

Po wywołaniu funkcji aktualizacji przez sieć program odczeka 180 sekund i jeżeli w tym czasie nie rozpocznie się pobieranie plików powraca do zwykłego trybu pracy (dot. wersji 4.34q i nowszych).

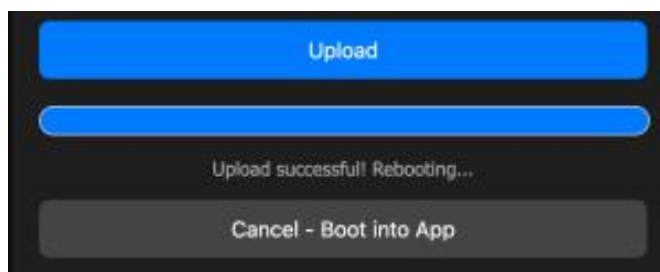
W przypadku gdy węzeł nie ma połączenia z siecią domową lub znajduje się w trybie pracy punktu dostępowego użytkownik powinien połączyć się z nim za pomocą przeglądarki internetowej korzystając z adresu punktu dostępowego, z adresu IP 192.168.4.1 lub `<znak_wywoławczy>.local` albo z adresu `MeshCom-OTA.local` i w okienku dialogowym (rys. 2.10.1) nacisnąć przycisk *Upload*. Należy wybrać plik pasujący do modelu mikrokomputera i po naciśnięciu przycisku *Upload* (rys. 2.10.2) rozpoczyna się pobieranie a następnie instalacja. Po jej zakończeniu pojawia się meldunek na ekranie i mikrokomputer ponownie startuje (rys. 2.10.3).



Rys. 2.10.1



Rys. 2.10.2



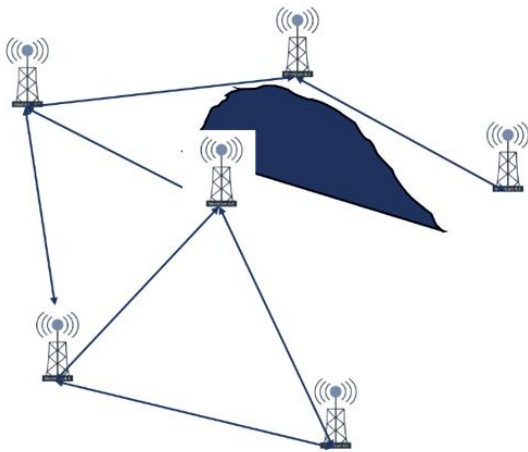
Rys. 2.10.3

W drugim wariantcie, gdy węzeł jest połączony z siecią lokalną po naciśnięciu przycisku lub podaniu polecenia łączy się automatycznie z siecią i instalacja przebiega jak wyżej.

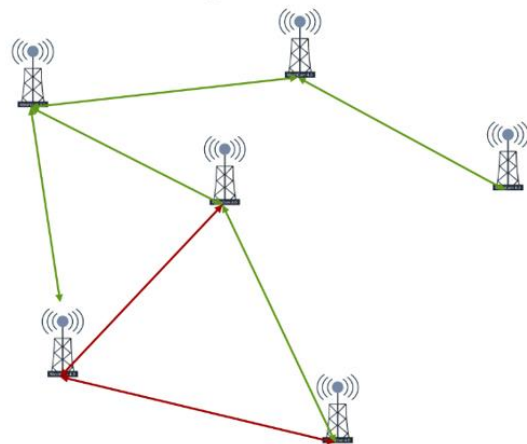
2.11. Koncepty sieci

W rozdziale tym wykorzystano fragmenty prezentacji i ilustracje OE1KBC (icssw).

Zaletą sieci o topologii pełnej siatki jest automatyczna reakcja na zmiany sytuacji (wyłączenie węzłów, pojawienie się nowych), zauważenie ich i dopasowanie tras transmisji do nowego stanu sieci. Jeśli jednak poszczególne węzły słyszą się wielokrotnie poprzez różne trasy i odcinki łączy rośnie obciążenie kanału radiowego przez większą liczbę transmisji. W sieciach o rzadkim rozmieszczeniu węzłów i niewielkiej ich liczbie – sieciach peryferyjnych – nie stanowi to istotnego problemu, a nawet ważniejsze może być zapewnienie niezawodności połączeń. W gęstszych sieciach, na które składa się większa liczba węzłów, liczba redundantnych tras staje się na tyle duża, że wyłączenie funkcji rozpoznawania sytuacji w sieci (funkcji „mesh”) w niektórych węzłach nie zmniejsza znacząco jej niezawodności, ale za to obniża niebezpieczeństwo przeciążenia kanału radiowego.



Rys. 2.11.1

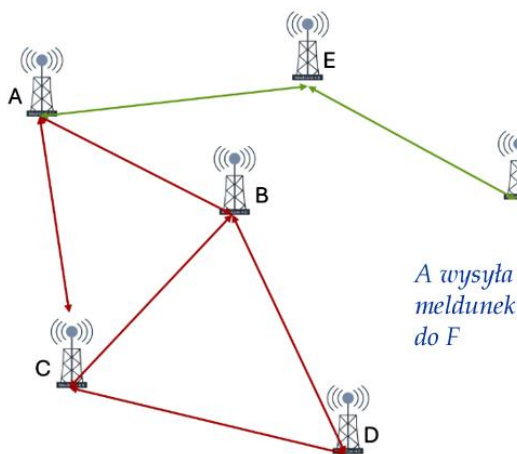


Rys. 2.11.2

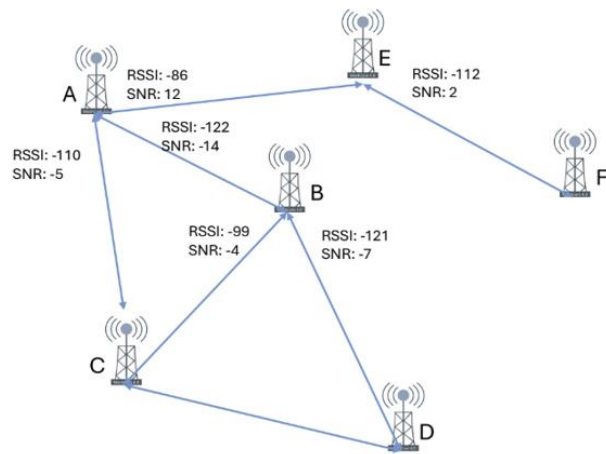
Na rysunku 2.11.1 przedstawiony jest przykład sieci, w której wszystkie węzły mają włączoną funkcję rozpoznawania stanu sieci. Widoczna na nim przeszkoda (góra) zasłania część stacji od reszty sieci.

Na rysunku 2.11.2 węzły sieci zapamiętują informacje o węzłach sąsiednich. Tylko węzły niezbędne dla utrzymania ruchu w sieci mają włączoną funkcję sieciową. W tym przypadku pozwala to na zmniejszenie o dwa liczby powtórzeń.

W przykładzie z rysunku 2.11.3 węzły przekazują meldunki tylko bezpośrednio do znanych sąsiadów. Tylko węzły znajdujące się na najkrótszych trasach połączeń mają włączoną funkcję sieciową. W tym przykładzie transmisji meldunków bezpośrednich (DM) liczba powtórzeń zmniejszyła się o pięć co w jeszcze większym stopniu odciąża sieć.



Rys. 2.11.3



Rys. 2.11.4

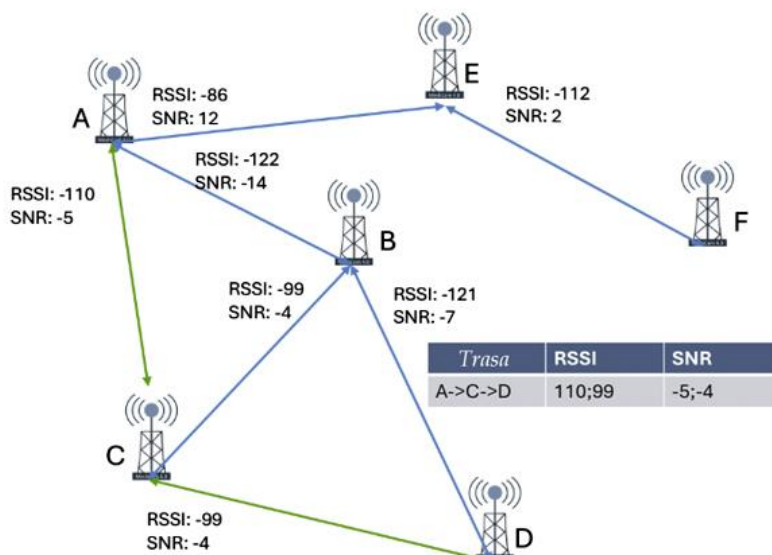
Podstawą działania sieci o topologii siatki jest automatyczne rozpoznawanie najbliższych sąsiadów każdego węzła. W tym celu węzły posługują się komunikatami typu HEY. Pozwalają one na rozpoznawanie ubywających i przybywających węzłów. Jest to szczególnie korzystne w sieciach krótko-falarskich i w przypadku wykorzystania sieci w warunkach kryzysowych, ponieważ zbędne jest przygotowywanie z góry struktur sieci i rozpowszechnianie informacji o nich.

Komunikaty HEY przekazują w sieci aż do bramek internetowych następujące informacje: znak stacji (węzła), trasę transmisji, siłę odebranego sygnału (parametr RSSI) i stosunek sygnału do szumu (parametr SNR), patrz rys. 2.11.4. Tabelę tras w węźle bramki otrzymanych przez wymianę komunikatów HEY przedstawia rys. 2.11.5.

Pfad	RSSI	SNR
F->E->A	112;86	2;12
E->A	86	12
D->B->A	121;122	-7;-14
C->B->A	99;122	-4;-14
B->A	122	-14
D->C->A	83;110	15;-5
C->A	110	-5

Rys. 2.11.5. Tabela tras

Na rysunku 2.11.6 przedstawiono przykład transmisji komunikatu bezpośredniego (DM) z węzła A do węzła D, przy minimalnym obciążeniu kanału radiowego.



Rys. 2.11.6

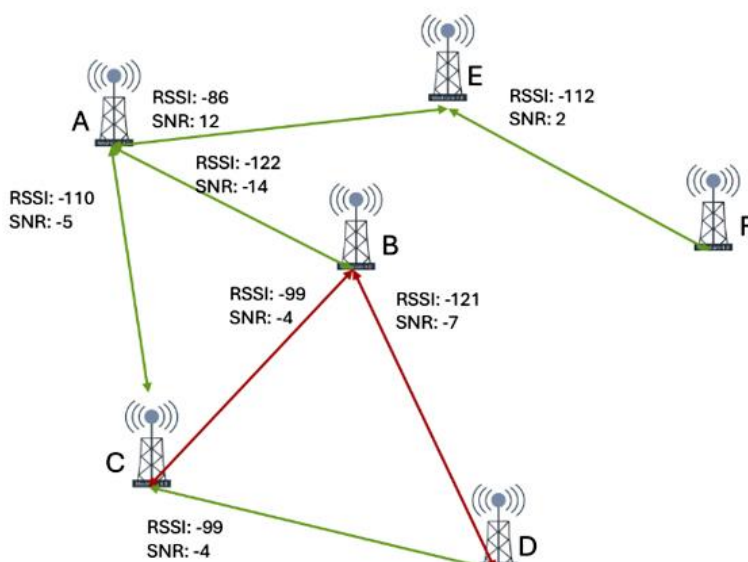
Potwierdzenie ACK przesyłane w postaci komunikatu DM informuje nadawcę, że wiadomość od niego została niezawodnie dostarczona. Potwierdzenie dostarczenia jest przesyłane w postaci komunikatu DM. Każda z wysyłanych wiadomości otrzymuje w momencie wysłania jednoznaczny i ważny w całej sieci identyfikator meldunku (MSG-ID). Dla sytuacji przedstawionej na rysunku 2.11.6 potwierdzenie ACK jest przesyłane na tej samej trasie tylko w odwrotnym kierunku – od D do A – i również

powodując minimalne obciążenie kanału radiowego. Łatwo to zauważyć porównując wpisy w tabeli tras z rysunków 2.11.6 i 2.11.7.

<i>Trasa</i>	RSSI	SNR
D->C->A	99;110	4;-5

Rys. 2.11.7

Za pomocą polecenia GRC wybierane są grupy odbiorców, do których można wysyłać meldunki zamiast meldunków adresowanych do wszystkich. Adresowanie grupowe można wykorzystać do rozsyłania alarmów, meldunków o wyższym priorytecie, komunikatów meteorologicznych itd. Meldunki GRC są rozsyłane w oparciu o stale aktualizowaną na podstawie meldunków HEY tabelę tras na bramce, a węzły są informowane, że nie mają poszukiwać trasy. Pozwala to w prezentowanym przykładzie na ograniczenie retransmisji o jedną (rys. 2.11.8).



Rys. 2.11.8

Zadanie serwera MeshCom nie ogranicza się do funkcji reflektora czyli do wysyłania otrzymywanych komunikatów do wszystkich, ale wysyła on też pozycje stacji, telemetrię i komunikaty do sieci aprs.fi. W szczególności wysyła on też do niej komunikaty informacyjne SOTA i pocztę elektroniczną wymienianą w sieci Winlinku.

3. „MeshCore” i inne sieci

MeshCore jest opracowanym w 2025 roku niescentralizowanym systemem służącym do transmisji komunikatów tekstowych o długości 120 – 200 znaków alfanumerycznych (niemożliwa jest transmisja nagrań dźwiękowych, obrazów i filmików), opartym na modułach LoRa pracujących w pasmach 433 i 868 MHz (zakres 915 MHz jest stosowany m.in. w Australii, Nowej Zelandii i USA), tak jak w *MeshComie* i *Meshtasticu*. Należą do nich m.in. LilyGo T-Lora, LoRa32, T-Beam, T-Ddeck, T-Deck Pro, różne modele z serii RAK w tym RAK4631, Heltec V2 – V4, nRF52840 itd. Sieć nie korzysta z dostępu do Internetu i z serwera MQTT. Analogicznie jak *MeshComie* sieć może zapewniać komunikację w rejonach peryferyjnych nie mających dostępu do sieci energetycznej lub w przypadku awarii sieci, w przypadkach katastrof żywiołowych, akcji ratunkowych albo imprez czy aktywności sportowych na świeżym powietrzu. Dla zmniejszenia obciążenia kanału radiowego dane telemetryczne (napięcie zasilania modułu, stan naładowania akumulatora, ewentualnie także współrzędne geograficzne) nie są nadawane automatycznie, a tylko na życzenie. Inne rodzaje danych telemetrycznych jak przykładowo meteorologiczne rozpowszechniane w sieciach *MeshComu* i *Meshtasticu* nie są tutaj dostępne. Z porównania z realizacjami węzłów *Meshtasticu* wynikało, że *MeshCore* jest bardziej oszczędny w zużyciu energii. Opracowanie jest stosunkowo nowe i wiele jeszcze może się w nim zmienić z biegiem czasu.

W odróżnieniu od systemu *MeshCom* dopuszczalna liczba odcinków retransmisji (skoków w sieci) wynosi 64, ale w praktyce stosowana jest dużo niższa. W *MeshComie* i *Meshtasticu* maksymalna liczba retransmisji wynosi 7. Zasadniczo *MeshCore* jest bardzo zbliżony do *Meshtastica*. Oprócz modułu ESP32 użytkownicy potrzebują do wymiany wiadomości i konfiguracji modułu LoRa telefonu lub komputera ze złączem *Bluetooth* albo USB, ale można także korzystać z lokalnej sieci WiFi.

Oprogramowanie węzłów jest bezpłatnie dostępne w Internecie pod adresem [3.1], a do jego zapisania w pamięci służy m.in. program *ESPTool* lub za pomocą narzędzia dostępnego w Internecie pod adresem <https://flasher.meshcore.co.uk>. Przed wpisaniem programu do pamięci modułu należy wybrać ze spisu używane urządzenie i wariant węzła (jego oprogramowania) i połączyć urządzenie kablem USB jak w przypadku *MeshComu*, a następnie wybrać pasujące symulowane przez sterownik złącze COM. Numer złącza COM można sprawdzić w *Menadźerze Urządzeń* – włączając i wyłączając kabel USB łatwo zauważyć które ze złączy znika i pojawia się w spisie. W zależności od modułu ESP32 konieczne może być zainstalowanie sterownika CP2102 (CP210x) lub CH9102 jak to opisano w poprzednim rozdziale, o ile nie został on już wcześniej zainstalowany z innych powodów. Programowanie funkcjonuje tylko pod niektórymi przeglądarkami internetowymi, takimi jak *Chrome* czy *Edge*, ale np. nie pod *Firefoxem*. Przed zaprogramowaniem modułu zawierającego zupełnie inny rodzaj oprogramowania j.np. *Meshtastic* lub wyraźnie starszą wersję *MeshCore* należy zaznaczyć pole kasowania („Erase”) i zapisywać aktualną wersję w całkowicie czystej pamięci. Jeżeli moduł zawierał przedostatnią lub niewiele starszą wersję można zrezygnować z kasowania, dzięki czemu nienaruszone pozostają dotychczasowe parametry konfiguracyjne.

T-Deck (plus) wymaga wyłączenia, przyciśnięcia kulki i ponownego włączenia dla uruchomienia trybu instalacyjnego. Kulkę należy przytrzymać wcisniętą jeszcze przez dwie lub trzy sekundy po włączeniu. Dopiero potem należy włączyć kabel USB. T-Deck pojawia się w *Menadźerze Urządzeń* z przypisanym mu przez system numerem złącza COM. Na płytkach Heltec zamiast kulki naciskany jest w ten sam sposób przycisk programowania (PRG).

Rozróżniane są warianty oprogramowania:

- węzła indywidualnego (ang. *companion*) sterowanego przez program komunikacyjny za pośrednictwem złącza *Bluetooth*, USB lub przez Wifi; jest to podstawowy wariant dla użytkowników indywidualnych; oprogramowanie jest dostępne na Githubie:

https://github.com/meshcore-dev/MeshCore/tree/main/examples/companion_radio

- prostego przekaźnika powiększającego zasięg sieci (*simple repeater*);

https://github.com/meshcore-dev/MeshCore/tree/main/examples/simple_repeater; w stacji przekaźnikowej wyłączone są złącza WiFi i *Bluetooth* (BT), użytkownik nie może się więc połączyć z nią bezpośrednio a jedynie za pomocą węzła indywidualnego, wprawdzie także w fazie

konfiguracyjnej, ale konfiguracji można dokonać też przez złącze USB; w sieciach *Meshtastic* i *MeshCom* każdy węzeł może pełnić funkcję przekaźnika retransmitującego dane, w *MeshCore* konieczne są specjalne stacje przekaźnikowe dodatkowo do stacji indywidualnych, jak na przykład w sieciach krótkofalarskich; przekaźniki powinny być lokalizowane w miejscach zapewniających pożądaną zasięgi, nie zawsze muszą być to zasięgi maksymalne, ale często jest to ważne kryterium;

- serwera pocztowego – skrzynki elektronicznej (*simple room server*);
https://github.com/meshcore-dev/MeshCore/tree/main/examples/simple_room_server
- węzła zapewniającego bezpieczną komunikację tekstową (*simple secure chat*);
https://github.com/meshcore-dev/MeshCore/tree/main/examples/simple_secure_chat.

Z węzłem ostatniego typu użytkownicy mogą się komunikować przez monitor szeregowy w środowisku *Visual Studio Code*, albo za pomocą szeregowego terminala na komputerach androidowych.

Oprogramowanie komunikacyjne dla połączenia z węzłami pierwszego rodzaju przez sieć jest dostępne pod adresem <https://app.meshcore.nz/>,

dla urządzeń androidowych –

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.liamcottle.meshcore.android>

i dla iOS pod adresem <https://apps.apple.com/us/app/meshcore/id6742354151?platform=iphone>

Konfiguracji wariantów drugiego i trzeciego typu można dokonać przez USB za pomocą programu

<https://config.meshcore.dev/>.

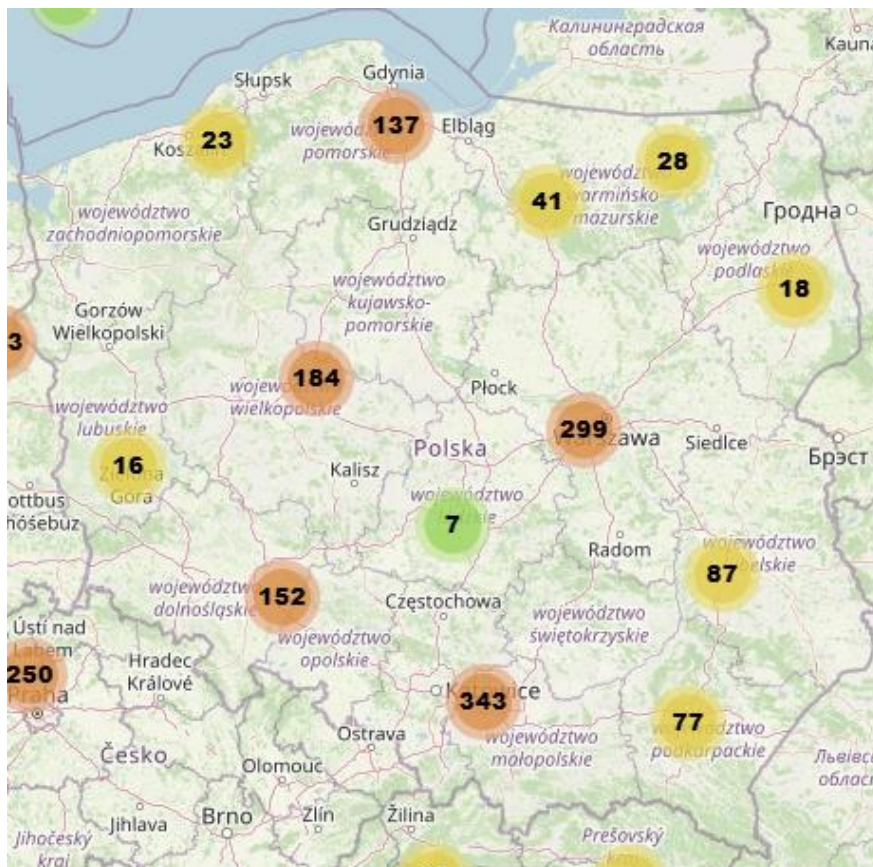
W Europie stosowane są następujące parametry: współczynnik rozpraszania SF 11, szerokość pasma 250 kHz, stopa korekcji 4/5, moc w.cz. do 22 dBm (rzadziej 1 W lub więcej z dodatkowym wzmacniaczem mocy), w paśmie 868 MHz częstotliwość 869,525 MHz identycznie jak w sieci *MeshCom*. W paśmie 433 MHz w Europie stosowana jest częstotliwość 433,650 MHz. W niektórych krajach (Niemcy, Czechy itp.) lub rejonach używane są też współczynnik rozpraszania 8 (co jest wartością kompromisową między zapewnieniem możliwie dużego zasięgu i szybkości transmisji; w Czechach współczynnik rozpraszania 7), stopa korekcji 4/8 (w zestawieniach podawana też jako 8), częstotliwość pracy 869,618 MHz i szerokość pasma 62,5 kHz. W trakcie konfiguracji najwygodniej jest wybrać zestaw parametrów dla kraju zamieszkania (w przypadku użytkowników europejskich EU433 MHz lub EU/UK (*LongRange* dla szerokości pasma 250 kHz albo *narrow* dla szerokości pasma 62,5 kHz) dla pasma 868 MHz. Wybór częstotliwości pracy i szerokości pasma sygnału zależy od rozpowszechnionego wśród stacji sąsiadujących. W Polsce jest to wariant EU/UK (*narrow*) z szerokością pasma 62,5 kHz, współ-czynnikami rozpraszania 8 i częstotliwością roboczą 869,618 MHz i stopą korekcji 4/5 lub 4/8 (podawaną odpowiednio jako 5 lub 8; niezależnie od różnicy dane są odbierane prawidłowo). Współrzędne geograficzne stacji można wybrać naciskając jej lokalizację na mapie programu komunikacyjnego *MeshCoreApp* (na telefonie lub przenośnym komputerze androidowym albo z iOS). Operatorzy stacji pracujących bezobsługowo mogą nie życzyć sobie podawania dokładnych lokalizacji stacji w obawie przed wandalizmem. Można w takiej sytuacji podać lokalizację przybliżoną, leżącą przykładowo w promieniu kilkuset metrów od rzeczywistej. Wpływ parametrów łączności na jej właściwości (szybkość, niezawodność itp.) omówiono w rozdziale pierwszym.

W odróżnieniu od sieci *Meshtastic*, gdzie węzły nadają w stałych odstępach czasu komunikaty informujące o swojej obecności w sieci *MeshCore* użytkownik musi sam spowodować nadanie przez węzeł komunikatu „Advert” informującego sieć o obecności węzła. Daje to mniejsze obciążenie kanału radiowego, co może nie być bez znaczenia w dużych sieciach. Oprócz transmisji w kanale radiowym LoRa wiadomości mogą być rozpowszechniane przez złącza *Bluetooth* (BLE), WiFi i złącza szeregowy. Sieć odróżnia w poszukiwaniu węzły użytkowników i stacje przekaźnikowe. Możliwe jest ograniczenie użytkownikom praw do odczytu lub też i retransmisji określonych wiadomości. Dobór optymalnych tras i ograniczenie osób uprawnionych do odczytu wiadomości daje zmniejszenie poboru energii przez węzły.

Sieć *MeshCore* zapamiętuje najszybsze trasy połączenia między stacjami i korzysta z nich w następnych transmisjach. Oznacza to jednak przy pierwszym połączeniu między danymi stacjami większe obciążenie sieci związane z poszukiwaniem najlepszej trasy (*Flood routing*). Komunikaty

„Advert” są wtedy rozsyłane do wszystkich węzłów sieci. W przypadku późniejszej niedostępności tej trasy np. z powodu wyłączenia jednego z węzłów poszukiwanie odbywa się ponownie w identyczny sposób. Zalecane jest też, aby po dłuższym okresie nieużywania węzła lub tak poprostu od czasu do czasu wywołać funkcję *Flood*, sprawdzić (odświeżyć w pamięci swojego i innych węzłów) w ten sposób stan sieci i przypomnieć innym węzłom o swojej obecności albo dać się poznać nowym użytkownikom. Niektórzy użytkownicy sieci robią to nawet raz na dobę.

Użytkownik ma też możliwość wpisania znanych mu tras do oprogramowania. Jest to szczególnie przydatne w przypadku węzłów stałych.



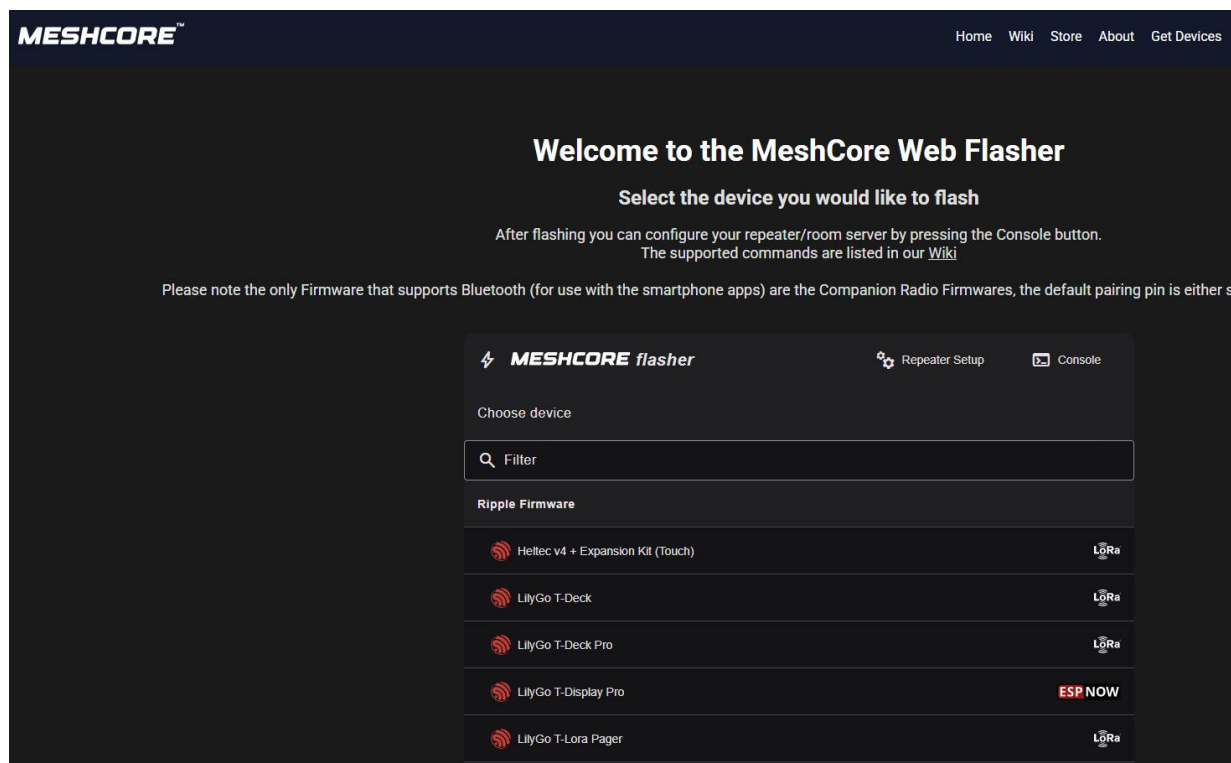
Rys. 3.1. Mapa węzłów *MeshCore* w Polsce w dniu 24 stycznia 2026 (źródło: <https://meshcore.co.uk/map.html>). Najbardziej interesująca jest jednak znajomość sąsiadujących stacji. Powiększając wycinek mapy uzyskuje się więcej szczegółowych informacji. Stacje indywidualne są reprezentowane przez symbol sylwetki, a przekaźniki – symbolem anteny.

Po uruchomieniu węzła jego oprogramowanie może być aktualizowane drogą radiową.

Program komunikacyjny *MeshCoreApp* służy do nadawania i odbioru komunikatów tekstowych w sposób podobny jak w innych komunikatorach w rodzaju *WhatsApp*, oraz do konfiguracji modułu LoRy. Telefon albo przenośny komputer służą jako terminal komunikacyjny i dla łączności *MeshCore* nie muszą mieć połączenia ani z siecią telefonii komórkowej ani z Internetem. Użytkownik ma wprawdzie do dyspozycji większą liczbę kanałów, ale w praktyce najważniejszym z nich jest kanał 1 – publiczny. Dostęp do niego mają wszyscy użytkownicy sieci. Każdy z użytkowników może też w miarę potrzeby zakładać własne kanały za pomocą punktu menu „Dodaj kanał” („Add channel”). Kanały prywatne, w których łączność jest szyfrowana są w spisie kanałów zaznaczone symbolem kłódki. Zakładający kanał prywatny wysyła do osób zaproszonych do korzystania z niego klucz służący do szyfrowania wiadomości. Dzięki zakładaniu szyfrowanych kanałów prywatnych i zapraszaniu do nich innych użytkowników przez przesłanie im klucza szyfrującego ogranicza się dosyć precyzyjnie zasięg rozpowszechniania wiadomości i uprawnienia do ich odczytu. Do otwierania menu służy symbol trzech kropek.

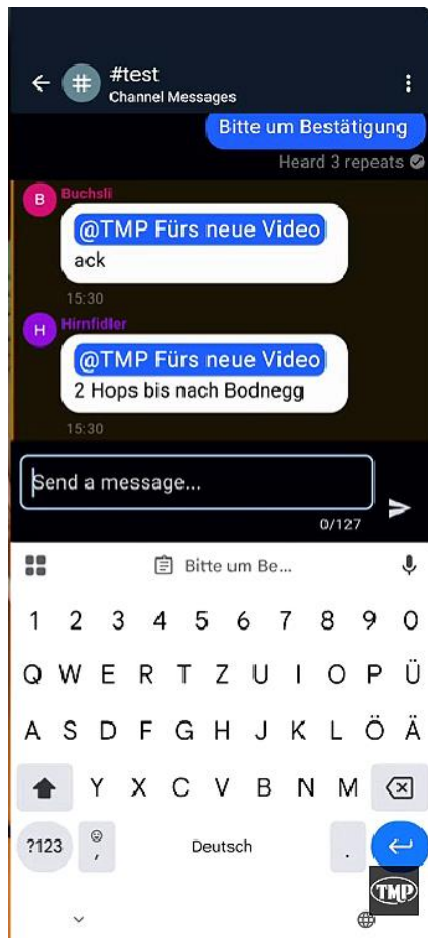
Spis kontaktów ma pojemność 350 pozycji, które mogą być dopisywane automatycznie lub ręcznie przez użytkownika. Może on także kasować nieaktualne lub niepotrzebne. Do kontaktów zaliczane są wszystkie rodzaje stacji (węzłów) *MeshCore*, a nie tylko stacje indywidualne użytkowników.

Sparowanie telefonu (lub komputera) przez BT wymaga podania kodu. W urządzeniach wyposażonych w wyświetlacz kod ten jest podany na ekranie, a dla niewyposażonych obowiązuje kod 123456. Parowania dokonuje się nie z poziomu systemu operacyjnego, a z poziomu programu.



Rys. 3.2. Internetowy programator modułów LoRa (fagment strony)

Wymieniane wiadomości są szyfrowane na całej trasie od nadawcy do odbiorcy, co jest niedozwolone w transmisjach krótkofalarskich, dlatego też krótkofalowcy powinni pracować w podzakresach ogólnie dostępnych (ang. ISM), ale korzystając z większych mocy (teoretycznie nawet aż do dozwolonej w ramach licencji) – dotyczy to licencjonowanych stacji pracujących w paśmie 433 MHz. Nie obowiązują wówczas procentowe ograniczenia czasu pracy. Stosowane jest szyfrowanie asymetryczne to jest oparte o parę kluczy: publiczny i prywatny. Klucze, stanowiące nierozłączną parę, są generowane podczas pierwszego uruchomienia płytki. Klucz publiczny jest przeznaczony do przekazywania go korespondentom, którzy za jego pomocą szyfrują wiadomości przeznaczone dla tego adresata. Adresat może rozszyfrować wiadomość tylko za pomocą klucza prywatnego (którego nie powinien ujawniać nigdy i nikomu). Zasada jest więc prosta: wiadomości są zawsze szyfrowane kluczem publicznym adresata. Wiadomości tych nie można rozszyfrować za pomocą klucza publicznego, a jedynie za pomocą prywatnego.



Rys. 3.3. Komunikacja tekstowa w MeshCoreApp



Rys. .3.4. Mapa stacji

3.1. Meshtastic

Tabela 3.1.1

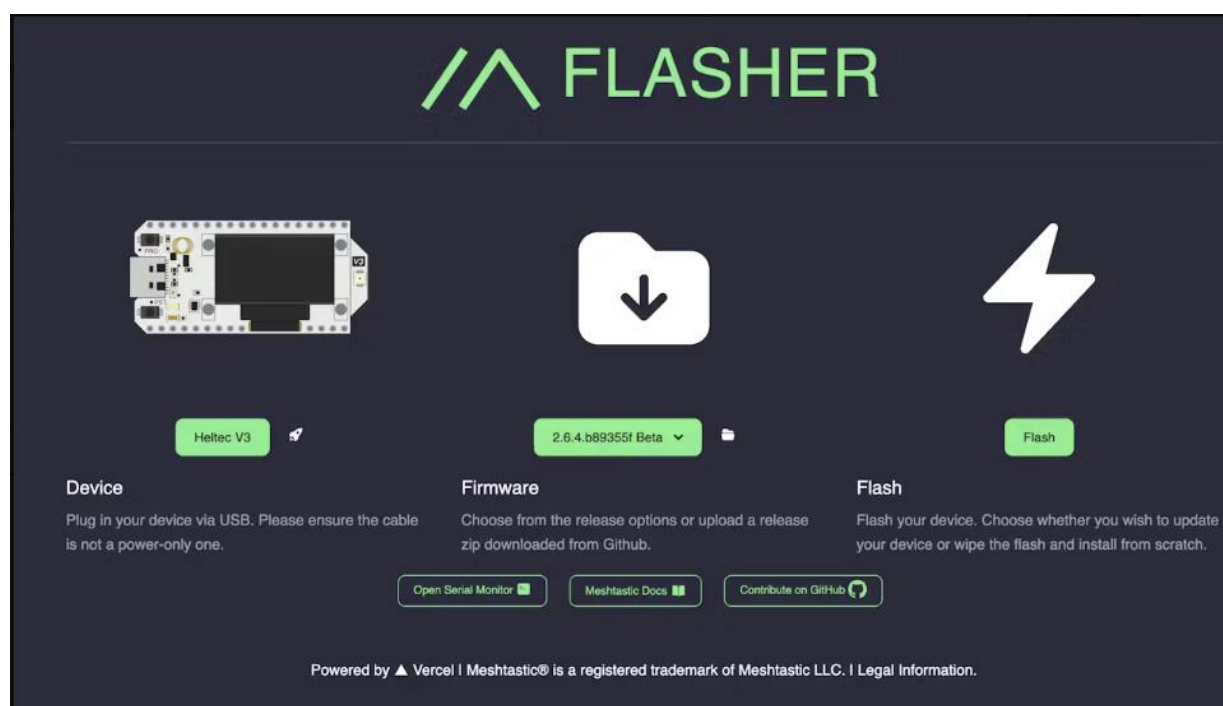
Standardowe zestawy parametrów transmisji w Meshtasticu

Oficjalna nazwa zestawu	Szybkość transmisji [kbit/s]	Współczynnik rozpraszania	Stopa korekcji	Szerokość pasma [kHz]
Short Turbo	21,88	7	4/5	500
Short Fast	10,94	7	4/5	250
Short Slow	6,25	8	4/5	250
Medium Fast	3,52	9	4/5	250
Medium Slow	1,95	10	4/5	250
Long Turbo	1,34	11	4/8	500
Long Fast	1,07	11	4/5	250
Long Moderate	0,34	11	4/8	125
Long Slow	0,18	12	4/8	125
Very Long Slow	0,09	12	4/8	62,5

Uwaga: jak łatwo zauważyć pierwsza część nazwy wskazuje na klasę zasięgów, a druga na szybkość transmisji. Eksperymentalnie można stosować dowolne inne kombinacje parametrów.

Wspominany wielokrotnie powyżej system Meshtastic stał się wzrorem dla rozwiązań krótkofalarskich, ale zasadniczo jego głównym obszarem zastosowań są ogólnie dostępne sieci LoRa pracujące w nie-licencjonowanych podzakresach pasm 433 – 434 i 869,400 – 868,650 MHz (w USA w paśmie 915

MHz – standardowo na częstotliwości 906,875 MHz). Oczywiście krótkofalowcy mogą organizować własne sieci bez obowiązujących nielicencjonowanych użytkowników ograniczeń mocy, rodzajów anten i procentowych czasów nadawania. Czas nadawania dla nielicencjonowanych użytkowników wynosi przeważnie 10%, a w niektórych podzakresach pasma 868 MHz może być nawet niższy – 1%. Domyślnymi częstotliwościami są 433,875 MHz i 869,525 MHz. Zależnie od zakresu mocy nadawania są ograniczone do 10 lub 100 – 500 mW. Najpopularniejszym zakresem w Europie jest dla nielicencjonowanych użytkowników zakres 868 MHz. Zakresy używane w różnych krajach są wymienione w witrynie [3.1.1]. Maksymalna liczba odcinków transmisji (skoków w sieci) wynosi 7, ale domyślnie nastawiona jest liczba trzech. Podobnie jak pozostałe dwa omawiane systemy sieć *Meshtastic* jest siecią zdecentralizowaną i nie wymagającą połączenia z Internetem. Oprogramowanie jest dostępne bezpłatnie na *Githubie* i w witrynie [3.1], podobnie też jego kod źródłowy. Pierwsze opracowania pochodzą z 2020 r. Do zapisu programu w pamięci modułu najlepiej skorzystać z instalatora w witrynie <https://flasher.meshtastic.org/>. Narzędzie to funkcjonuje w przeglądarkach *Chrome* i *Edge* w sposób opisany w rozdziałach poświęconych *MeshComowi* i *MeshCore*.



Rys. 3.1.1. Strona instalacyjna *Meshtastica*

Analogicznie jak w poprzednio omówionych sieciach stosowany jest system transmisji z rozpraszaniem widma – LoRa. Zasady jego działania, parametry i ich wpływ na właściwości kanału radiowego omówiono w rozdziale pierwszym.

W oprogramowaniu *Meshtastic* przewidziano możliwość podłączenia czujników telemetrycznych za pośrednictwem magistrali I2C.

Transmisje mogą być szyfrowane przy użyciu kluczy PSK klasy AES128 (16 bajtów) lub AES256 (32 bajty). W transmisjach krótkofalarskich szyfrowanie jest zakazane. Sieć *Meshtasticu* może korzystać z serwera MQTT, ale można ten dostęp wyłączyć i korzystać tylko z łączności radiowej..

Istnieje oprogramowanie dla większości modułów LoRa: ESP32 LilyGo (T-Lora, TTGO T-Beam), RAK (m.in. RAK4631, Heltec V3 i V4, T-Deck, T-Deck plus, T-Deck pro, nRF52, ThinNode_M1 i M5 itd. Zalecane jest, aby były one wyposażone w moduł LoRa SX126x. Aktualizacja oprogramowania przez radio nie jest możliwa.

Opracowano wersje oprogramowania komunikacyjnego (terminalowego) dla systemu Android (*Meshtastic Android App*), iOS, iPadOS i macOS. Są one dostępne w odpowiednich sklepach internetowych. Służące za terminale telefony, przenośne komputery tabliczkowe lub komputery stacjonarne łączą się z modułami LoRa (węzłami sieci) za pośrednictwem złącza BT, przez WiFi albo przez złącze szeregowe. Oprócz okien terminalowych programy dysponują funkcjami wyboru kanału logicznego, wyświetlania lokalizacji sąsiednich stacji na mapie, konfiguracji itd.

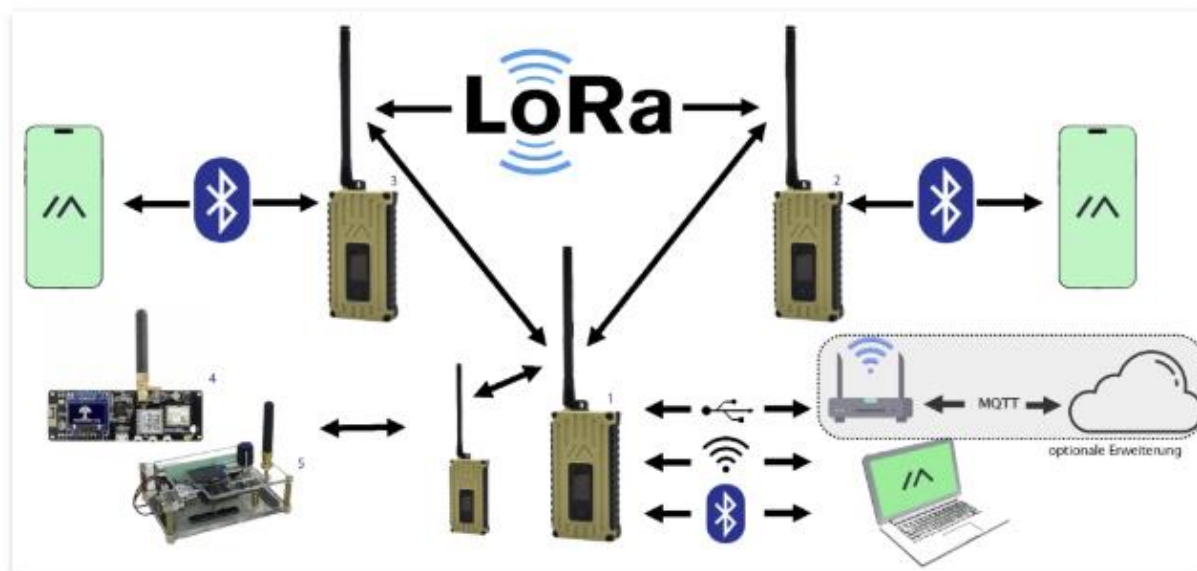
Do komunikacji w systemie *Meshtastic* dostępnych jest 8 kanałów logicznych, przy czym kanał o numerze 0 jest stosowany domyślnie. Jest to kanał publiczny, dostępny dla wszystkich i nieszyfrowany. Pozostałe muszą być w miarę potrzeb aktywowane przez użytkowników.

Z kolei program *MeshSense*, w wersjach dla Windows, Linuksa, Linuksa dla *Maliny (Raspberry Pi)* i MacOS, służy do przedstawienia danych statystycznych dotyczących sieci *Meshtastic* w okolicy i lokalizacji węzłów na mapie.

Najczęściej spotykanym i proponowanym domyślnie w konfiguracji wariantem (rolą w sieci) jest rola klienta, nie tylko odbierającego i nadającego wiadomości, ale także retransmitującego wiadomości rozchodzące się w sieci ale z racji lokalizacji tylko w bliskim zasięgu, drugim wariantem jest klient bierny (ang. *mute*), którego stacja nie retransmituje wiadomości od stacji trzecich, a trzecim klient ukryty (ang. *hidden*), którego stacja retransmituje komunikaty w ograniczonym zakresie, ale nie są widoczne w spisie węzłów. Te trzy warianty stanowią w przybliżeniu 95% węzłów w sieci. Oprócz tego istnieją stacje przekaznikowe (ang. *repeater*) i bramki o dużym zasięgu, większym niż stacje przekaznikowe, (ang. *router*) zajmujące się tylko pośrednictwem w retransmisji danych, ale zlokalizowane tak, żeby zapewnić możliwie większe zasięgi. Mogą więc one łączyć ze sobą dwie lokalne chmury węzłów odgradzone od siebie jakąś przeszkodą lub wskutek większej odległości. Zerują one licznik retransmisji i przekazują wiadomości dalej. Oba rodzaje stacji są wybierane priorytetowo w retransmisji danych jeśli są tylko osiągalne. Nie są one widoczne w spisie węzłów. Bramki mogą być administrowane tylko zdalnie. Ujemną stroną instalacji tych dwóch rodzajów stacji o dużym zasięgu jest zwiększenie niebezpieczeństwa kolizji pakietów danych i przez to obniżenie przepustowości sieci. Często skutecznym rozwiązaniem okazuje się sieć węzłów klienta wspomagana przez niewielką liczbę bramek umieszczonych w dobrze przemyślanych lokalizacjach.

Węzły lokalizatorów (ang. *tracker*) rozpowszechniają tylko własne współrzędne geograficzne odczytane z odbiornika GPS, a węzły telemetryczne (ang. *sensor*) – tylko dane z czujników telemetrycznych. Obie te ostatnie grupy stanowią w przybliżeniu 1% węzłów sieci *Meshtastic*. Węzeł lokalizacyjny typu poszukiwanie zgubionego (LOST&FOUND) nadaje swoje współrzędne geograficzne w postaci tekstowej.

Krótkofalowcy podają swój znak wywoławczy jako nazwę węzła, a po włączeniu w konfiguracji trybu licencjonowanego nadawcy szyfrowanie staje się niedostępne.



Rys. 3.1.2. Sieć *Meshtasticu* z ewentualnym wykorzystaniem serwera MQTT w Internecie

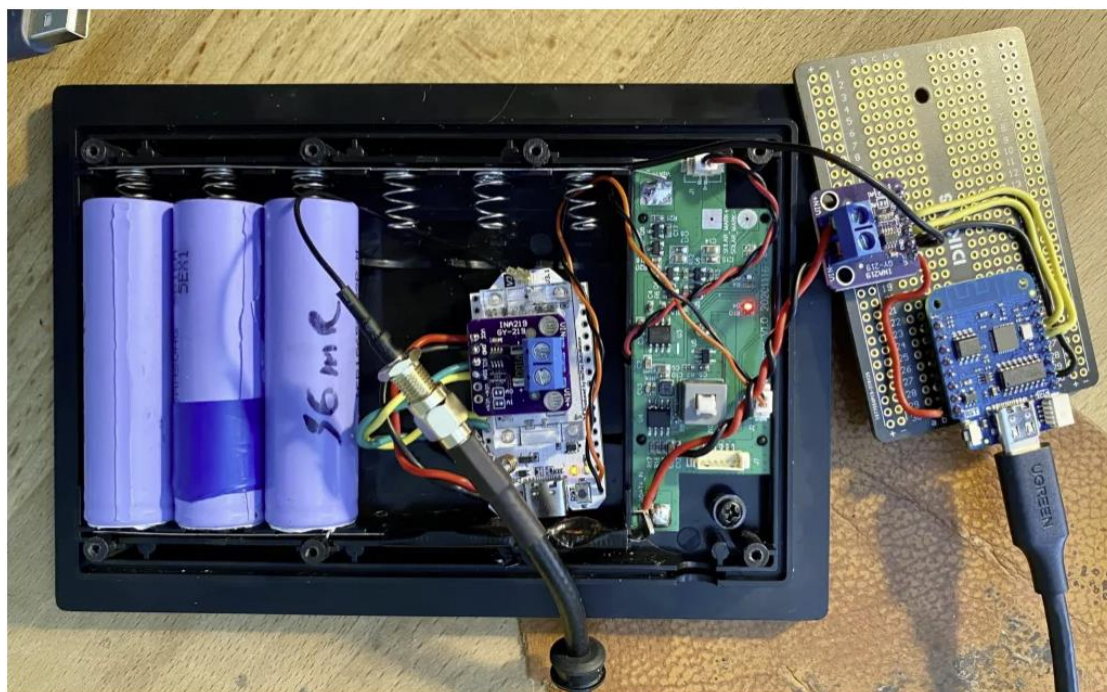
W pierwszym rzędzie system służy do komunikacji tekstowej w kanałach publicznych i prywatnych w sposób znany z innych komunikatorów. Oprócz tego mogą być przesyłane dane pozycyjne GPS i dane telemetryczne otrzymane z czujników BME280, BME680 i pokrewnych (temperatura, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne), INA219, INA226, INA260 (napięcie, pobór prądu), PMSA0031 (zawartość niepożądanych cząsteczek w powietrzu) LTR390UV (natężenie promieniowania ultrafioletowego), medycznych MAX30102, MLX90614, MLX90632 i innych. Czujniki należy po ich podłą-

czeniu aktywować w konfiguracji programu. Sposoby podłączenia większości z nich omówiono w rozdziale drugim. Dalszą możliwością jest zdalne sterowanie układów podłączonych do złącza GPIO (zdalne wyłączniki, alarmy itp.).

Według dokumentacji *Meshtastic* pozwala też na cyfrową transmisję fonii przy użyciu wokodera *Codec2* (domyślnie w wariancie 700B). Przewidziano też podłączenie przycisku nadawania do kontaktu 39 złącza GPIO na modułach ESP32.



Fot. 3.1.3. Węzeł przekaźnikowy *Meshtastic* złożony z dwóch modułów Heltec i dwóch anten logarytmiczno-periodycznych



Fot. 3.1.4. Węzeł *Meshtasticu* na module Heltec zamontowany z pojemniku z tyłu panelu baterii słonecznej. Obok widoczne są akumulatory i po prawej stronie układ nadzorujący ładowanie. Podłączenie do wyprowadzeń 41 i 42 Helteca czujnika INA219 pozwala nie tylko na lokalny odczyt napięcia zasilania, ale również na odczyt zdalny (telemetryczny) stanu akumulatorów

DL1MBD opracował rozwiązanie dwupasmowej i dwusystemowej stacji przekaźnikowej o mocy <150 mW złożonej z węzła *MeshCom* pracującego na częstotliwości sieci amatorskiej 433,175 MHz i węzła *Meshtasticu* pracującego w zakresie 469,40 – 469,65 MHz [3.1.3]. Zastosowano w nich moduły Heltec V3. Oba wypełniają omówione wcześniej typowe zadania we własnych sieciach (pozwalając użytkownikom na równoległe i niezależne korzystanie z nich zarówno w warunkach normalnych jak i kryzysowych) i mogą też korzystać z dostępnych w nich serwerów MQTT. Węzeł *Meshtasticu* 869 MHz dodatkowo do retransmisji pakietów pozwala na zdalne włączanie, wyłączanie, wyzerowanie (przez wyłączenie i powtórne włączenie) węzła *MeshComu* 433 MHz za pomocą przekaźnika i dysponuje też przełącznikiem tranzystorowym do innych celów. Węzeł amatorski pracuje oczywiście bez szyfrowania danych natomiast węzeł *Meshtasticu* może korzystać z szyfrowania. Oba węzły pracują o tyle niezależnie od siebie, że nie wymieniają między sobą wiadomości i nie stanowią bramki między sieciami. W przypadku przerwania połączenia z Internetem pozostają dwie lokalne niezależne sieci radiowe *LoRa*. W węźle *Meshtasticu* ustawiony jest wariant „Long Range / Fast” o parametrach: współczynnik rozpraszania 11, stopa korekcji 4/5, szerokość pasma 250 kHz – co daje szybkość transmisji 1,07 kbit/s. W węźle *MeshComu* stosowany jest wariant EU lub EU8.



Rys. 3.1.5. Dwupasmowy i dwusystemowy węzeł *MeshComu* i *Meshtasticu* zainstalowany na zewnątrz i zasilany z baterii słonecznej

Całość jest zasilana z akumulatorów litowo-polimerowych 3,7 V o pojemności 8000 mAh – wystarczającej na 12 – 19 godzin pracy – ładowanych z baterii słonecznej 10 Wp, 12 – 14 V pod nadzorem układu ładującego i może być zainstalowana w dogodnym radiowo miejscu: na szczytach górskich lub wzgórz, na wieżowcach, wieżach, kominach itp. Węzły można też uzupełnić o czujniki meteorologiczne lub inne jak to opisano powyżej a w *MeshComie* skonfigurować APRS i ewentualnie włączyć bramkę internetową albo hamnetową albo punkt dostępowy WiFi. Moduły Heltec V3 pozwalają na

korzystanie albo z łącza BT albo WiFi, ale nie równolegle. Oprogramowanie jest aktualizowane przez łącze USB.

3.2. „Gaulix”

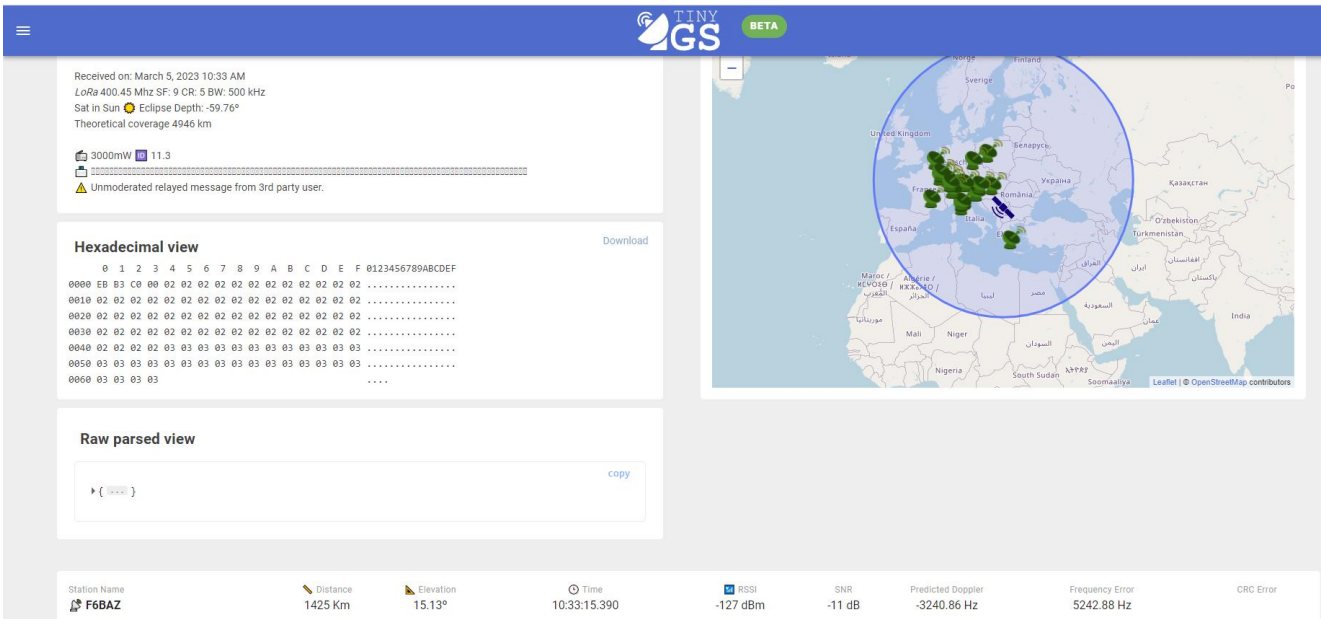
Na systemie *Meshtastic* oparta jest francuska sieć *Gaulix* (<http://f5svp.fr>; <https://gaulix.fr>). Jest to, oparta na *Meshtasticu*, sieć bezpłatnie dostępna dla wszystkich. Do komunikacji wykorzystywane są trzy kanały publiczne. Użytkownicy mogą też zakładać kanały prywatne. Przyjęto też obowiązujące wszystkich zasady nazywania węzłów oparte m.in. o lokalizację geograficzną, pasmo, rodzaj modulacji, rolę węzła w sieci, dostęp internetowy do serwera *MQTT Gaulix*, oraz zestawy parametrów (*Long Moderate, Long Fast* itd.). Sieć pracuje w podzakresach nielicencjonowanych (ang. ISM), 433 – 434 MHz, i w podzakresie 469,400 – 469,650 MHz na częstotliwości 869,4625 MHz z mocą maksymalną 500 mW. Węzły muszą przestrzegać ograniczeń procentowego czasu nadawania. W internecie została uruchomiona strona generująca nazwy spełniające wymagania normy w oparciu o wprowadzone dane. Przykładem takiej nazwy jest *68SOULLM8CIP*. W pozostałych omówionych sieciach nie obowiązywały tak sztywne zasady, a krótkofalowcy i tak podają w nazwach swoje znaki wywoławcze. Program pracuje na modułach typu ESP32 takich jak LiLyGo T-BEAM, Heltec V3, RAK4631 i in. z układem nadawczo-odbiorczym, SX1262, T-Deck, T-Deck plus, modułach nrf i także na *Malinie*. Przewidziano też możliwość podłączenia czujników pomiarowych BME280, BME680 i BME688.

3.3. „Reticulum”

„Reticulum (ang. *Reticulum Network Stack*; RNS) jest opartym na kryptografii narzędziem służącym do tworzenia różnorodnych sieci lokalnych lub o większym zasięgu w oparciu o łatwo dostępne moduły lub urządzenia komunikacyjne. Uzyskuje się w ten sposób rozwiązania pracujące niezależnie od innych, tanie i łatwe w realizacji, korzystające z różnych rodzajów modulacji i pracujące w szerokim zakresie szybkości transmisji – reklamowane jako sieci dla ludu³. W razie potrzeby sieci te mogą też współpracować ze sobą. Dla zachowania tajemnicy korespondencji w sieciach można stosować mocne szyfrowanie na całej trasie od nadawcy do odbiorcy. Klucze szyfrujące są używane jednorazowo. Transmitowane w nich pakiety danych nie zawierają adresów nadawcy lub informacji pozwalających na jego identyfikację lub identyfikację urządzenia nadawcy. Nie istnieje również centralna baza danych adresów ani instytucja koordynująca ich przydział. Wśród tworzonych w ten sposób sieci mogą być też sieci pracujące z modulacją *LoRa*, sieci oparte o urządzenia ethernetowe lub WiFi, TNC dla Packet Radio, TNC w trybie KISS, sieci TCP/IP, łącza szeregowe itd.

³ Por. Volksempfänger – odbiornik ludowy, który w znacznym stopniu przyczynił się do radiofonizacji Niemiec przed II wojną światową albo Volkswagen — samochód ludowy, który znacząco przyspieszył motoryzację Niemiec po wojnie.

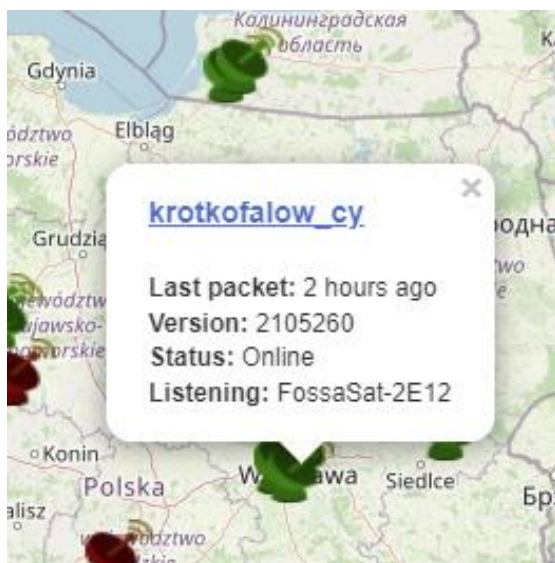
4. Odbiór satelitów „LoRa”



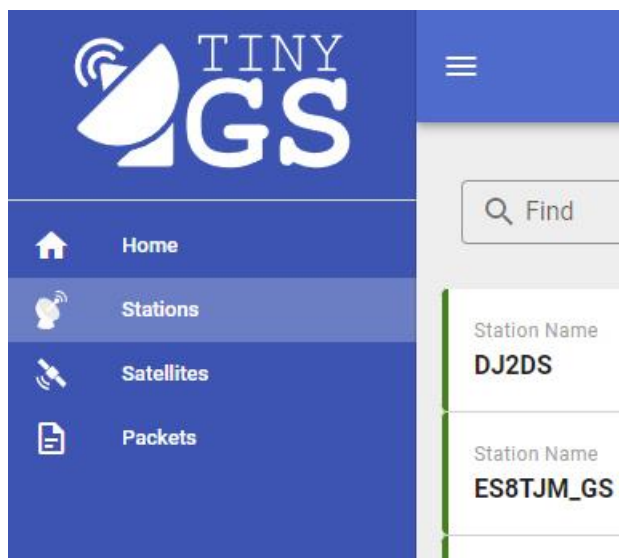
Rys. 4.1. Witryna tinygs.com: informacje o jednym z satelitów



Rys. 4.2. Stacje odbiorcze na terenie Polski w dniu 12 lipca 2023 w godzinach popołudniowych



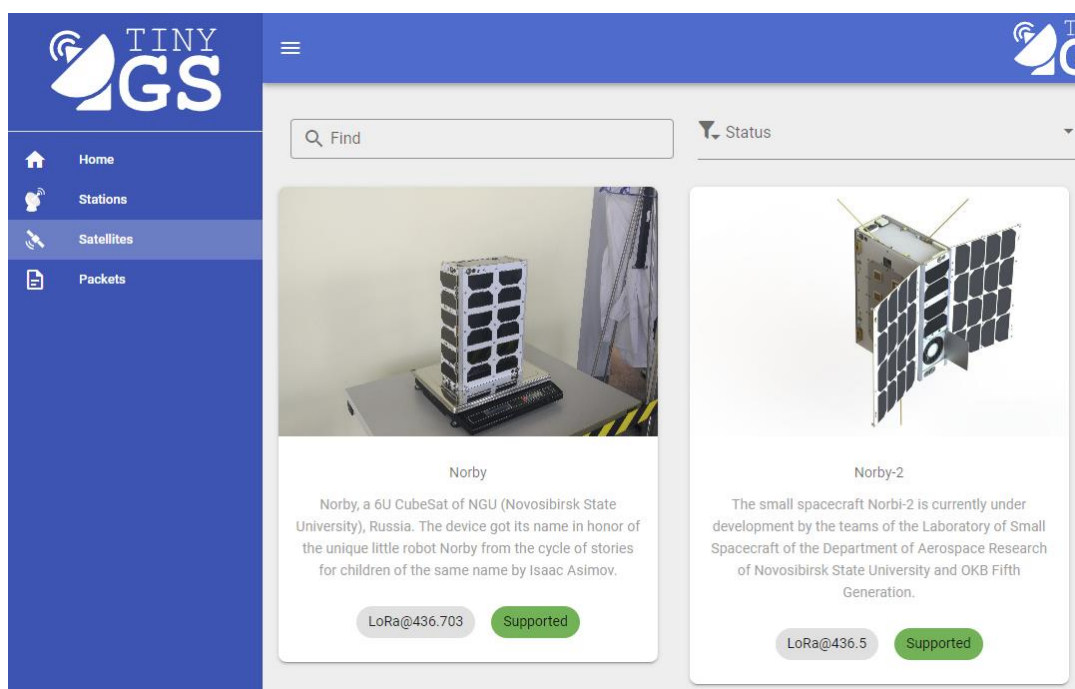
Rys. 4.3. Po naciśnięciu symbolu stacji na mapie wyświetlane są dodatkowe informacje



Rys. 4.4. Menu boczne witryny, wybrany spis stacji

Witryna [4.1] prezentuje światową sieć stacji naziemnych *TinyGS* odbierających satelity nadające dane telemetryczne w systemie LoRa, sondy meteorologiczne i nadajniki zainstalowane na pokładach innych obiektów latających. Sieć ta zapewnia ciągły odbiór danych z satelitów niezależnie od ich położenia na orbicie i nie narażając organizatorów eksperymentów na koszt utrzymywania profesjonalnych stacji naziemnych. Oprócz pokazanej na ilustracjach mapy stacji menu boczne strony (otwierane za pomocą symbolu trzech poziomych kresek) umożliwia wywołanie spisów stacji, satelitów i odebranych ostatnio pakietów. Po naciśnięciu znaku stacji w spisie otwierane jest okno zawierające informacje o jej aktywności, dane statystyczne spis ostatnio odebranych pakietów, mapa wskazująca położenie stacji i mapa nieba pokazująca aktualne położenie satelitów.

Spis satelitów pozwala na wywołanie szczegółowych informacji o każdym z nich. Na ostatniej stronie („Packets”) wyświetlany jest spis ostatnio odebranych komunikatów. Naciśnięcie komunikatu powoduje wyświetlenie informacji o satelicie i szczegółów dotyczących pakietu danych.



Rys. 4.5. Fragment spisu satelitów

Tanie i nieskomplikowane wyposażenie stacji opiera się na modułach ESP32 LoRa (433 MHz), takich jak Heltec WiFi LoRa32 V1 i V2, TTGO Lora32 V1 i V2, T-BEAM z wyświetlaczami OLED 0,96 cala i inne ESP32 z wyświetlaczami wyposażone w nadawczo-odbiorcze moduły SX126X lub SX127X, oraz w łączę WLAN umożliwiające połączenie internetowe z siecią *TinyGS*.

Oprogramowanie stacji odbiorczej i program ładujący z PC do mikroprocesora przez złącze USB są bezpłatnie dostępne w witrynie [4.2]. Pod adresem [4.6] znajduje się strona instalująca oprogramowanie w sposób podobny jak instalacje *MeshComu*, *Mashtastica* itd. W celu skonfigurowania go należy za pomocą przeglądarki internetowej połączyć się z serwerem HTTP modułu pod adresem 192.168.4.1. Oprogramowanie stacji można załadować także korzystając ze środowiska *PlatformIO*. Po pierwszym załadowaniu i skonfigurowaniu programu możliwe jest włączenie funkcji automatycznej aktualizacji („AutoUpdate”). Możliwa jest też instalacja przy wykorzystaniu środowiska programistycznego „Arduino IDE”. Na zakończenie konieczne jest zameldowanie stacji w sieci. Możliwe są obecnie aktualizacje oprogramowania przez radio. Konieczne może być zainstalowanie sterownika CP210x, CH9102 lub CH340 zależnie od typu modułu.

Załączone do modułów krótkie pionowe antenki są oczywiście niewystarczające. Konieczne jest użycie zewnętrznej anteny dipolowej, pionowej w rodzaju GP [4.3], kilkuelementowej anteny Yagi, anteny dwuzwojowej albo dowolnej innej anteny satelitarnej na pasmo decymetrowe. Najlepiej gdy znajduje się ona na dachu, ale dobre rezultaty (dzięki odbiciom od ścian budynków) dają też anteny balkonowe. Odbiór wewnątrz budynków jest przeważnie niemożliwy. Umieszczenie anteny na zewnątrz wymaga zamknięcia układu w hermetycznej obudowie, którą można wykonać samodzielnie na drukarce trójwymiarowej. W zależności od miejsca instalacji anteny możliwy jest odbiór 10 – 12 lub nawet więcej pakietów dziennie. Odebrane dane telemetryczne są przekazywane internetowo do serwera *MQTT*. Są one dostępne w Internecie pod adresem [4.1].

Miniaturowe satelity *CubeSat* zaliczają się do klasy U i składają się przeważnie z jednego lub kilku sześciennych modułów o boku 10 cm i masie nie przekraczającej 1,3 kg. Są to krążące na niskich orbitach satelity obserwacyjne o przeznaczeniu naukowym, ale czasami też i krótkofalarskim. Na ich pokładach przeprowadzane są też różne doświadczenia naukowe (co obniża ich koszty w porównaniu z innymi możliwościami). Satelity są wysyłane przez wyższe uczelnie, instytucje państwowe i przedsiębiorstwa prywatne. Moce nadajników wynoszą przeważnie 500 mW do 1 W, wyjątkowo spotykane są moce 2 – 7 W.

Uruchomienie i utrzymywanie sieci profesjonalnych stacji odbiorczych powodowałoby jednak koszty nieporównywalnie wysokie w porównaniu z kosztami budowy i wysłania w kosmos satelitów. Dlatego też sieć odbiorcza składa się z tanich stacji, których budowa i uruchomienie leży w zasięgu amatorów.

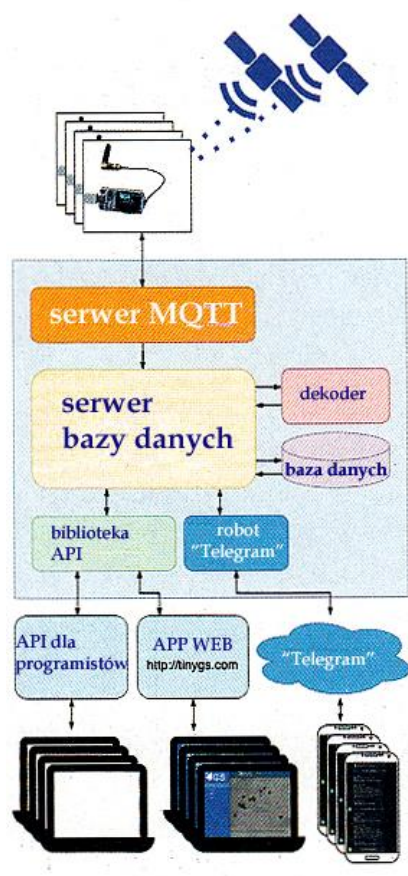
Obecnie możliwy jest m.in. odbiór satelitów FEES, FEES2, FossaSat 2E1 – 2E6, Gossamer, Norbi i SATLLA-2A/B. Częstotliwości pracy różnią się dla poszczególnych satelitów, ale m.in. są to 400,45 MHz, 401,7 MHz, 436,703 MHz, 436,9 MHz i 437,6 MHz. Niektóre z satelitów pracują w paśmie 915 MHz. Możliwe jest przekazywanie do sieci danych pochodzących z dowolnych satelitów *LoRa* i od innych obiektów latających. Dane te mogą być nadawane zresztą nie tylko w systemie *LoRa* ale i dowolnymi innymi rodzajami modulacji odbieralnymi przez moduły *LoRa*, a więc FSK, GFSK, MSK, GMSK i OOK.

Oprogramowane jest wyposażone w tryb testowy. W celu sprawdzenia pracy odbiornika konieczne jest użycie drugiego modułu *LoRa* jako źródła sygnału. Nadawane przez to źródło próbne pakiety danych nie są przekazywane do sieci.

Architekturę sieci przedstawiono na rysunku 4.6. Dane z satelitów są odbierane przez dużą liczbę stacji naziemnych i następnie przekazywane przez WLAN do internetowego serwera MQTT (ang. *message queing telemetry transport*). Protokół ten jest używany w transmisji danych telemetrycznych między różnymi urządzeniami także w przypadku sieci o ograniczonych możliwościach i większych opóźnieniach w transmisji. Serwer MQTT otrzymuje oprócz danych telemetrycznych informacje o satelitach, takie jak ich nazwa, częstotliwość pracy i rodzaj modulacji. Jest on połączony z głównym serwerem sieci, na którym następuje dekodowanie i zapis (archiwizacja) danych. Dane są przekazywane także do sieci APRS – do serwera *aprs.fi*.

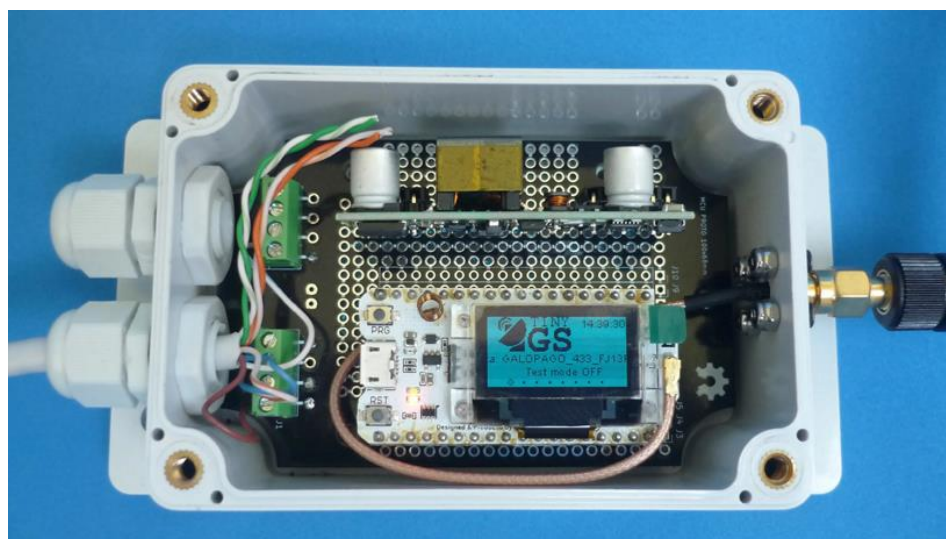
Dane odebrane przez własną stację i przez wszystkie inne zameldowane w sieci są udostępniane w witrynie *TinyGS*. Użytkownicy mogą selekcjonować dane według stacji odbiorczych, satelitów i wybierać pakiety danych. Dane te mogą pochodzić również od innych obiektów np. balonów i zawierać informacje o ich lokalizacji.

Użytkownicy mogą także wywoływać informacje o aktualnie odbieralnych satelitach i o stacjach odbiorczych wraz z ich współrzędnymi geograficznymi, statystykami odbioru itp. Oprócz tego można wyświetlać położenie odbieralnych satelitów na tle mapy. Kontakty między użytkownikami ułatwia kanał *TinyGS Telemetry* w komunikatorze *Telegram*. Pierwsze opracowania systemu pochodzą z roku 2019, a pierwsze satelity zostały wystrzelone w roku 2020.



Rys. 4.6. Struktura sieci *TinyGS* (źródło <https://tinygs.com>)

Fot. 4.7. TTGO w obudowie



Fot. 4.8. Przykład umieszczenia odbiornika w hermetycznej obudowie

5. Próbnik połączeń „LoRy”

Skonstruowane z myślą o zastosowaniach krótkofalarskich urządzenie, opisane w „Funkamateurze” 3/2023, jest oparte na module *ESP32 LoRa V2* firmy „Heltec” i służy do sprawdzania działania i jakości połączeń radiowych w systemie „LoRa” w paśmie 433 MHz. Może ono przydać się konstruktorom urządzeń łącznościowych i programistom opracowującym ich oprogramowanie albo do badań zasięgu sieci.

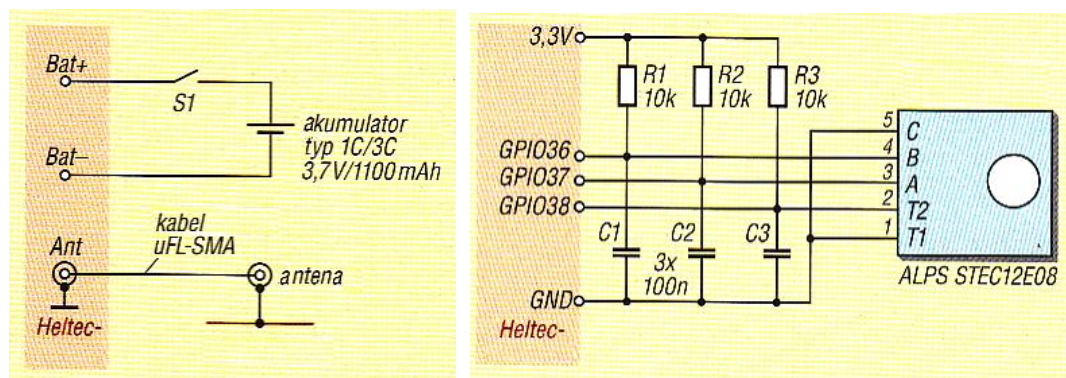
Przewidziano także możliwość wykorzystania układu do nauki telegrafii. Konieczne jest podłączenie do kontaktu GPIO25 wtórnika emiterowego, na dowolnym tranzystorze npn, sterującego słuchawki o oporności $2 \times 16 \Omega$ (rys.4.3). Generowany jest ton o częstotliwości 650 Hz.

Próbnik FTD może być sterowany przez łącza *Bluetooth* (BT) albo USB z komputera lub inteligentnego telefonu. Ustawione parametry i odbierane dane są wyświetlane na ekranie telefonu, komputera i na wyświetlaczu próbnika. Moduł jest wyposażony w wyświetlacz organiczny OLED o przekątnej 0,96 cala i złącze WiFi. Podobnie jak w module RA-02 występuje tutaj gniazdko antenowe $\mu\text{FL/IPEX}$. Oprócz tego jest on wyposażony w gniazdko JST-PH do podłączenia akumulatora, który można ładować przez gniazdko USB (rys. 5.1).

W konstrukcji przewidziano możliwość dołączenia do kontaktów GPIO36–38 obrotowego 24-pozycyjnego kodera obrotowego typu ALPS STEC 12E08 (rys. 5.2). Jego wykorzystanie jest przewidziane dopiero w przyszłych wersjach oprogramowania.

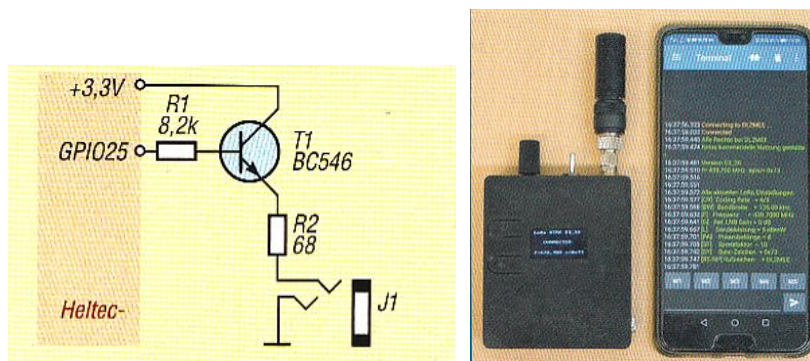
Oprogramowanie w postaci archiwum jest dostępne w Internecie w witrynie „Funkamateura” pod adresem https://www.funkamateur.de/tl_files/downloads/hefte/2023/dl2mee_field-test-device.zip.

Do załadowania oprogramowania służy program narzędziowy *ESPTool.py* dla PC dostępny w witrynie <https://docs.espressif.com/projects/esptool/en/latest/esp32/esptool>.



Rys. 5.1. Podłączenie akumulatora i anteny (przeciwwaga anteny – pasek miedzi na płytce)

Rys. 5.2. Podłączenie kodera



Rys. 5.3. Podłączenie słuchawek przez wtórnika emiterowego Fot. 5.4. Widok ogólny

Na komputerze ładującym konieczne jest zainstalowanie sterownika CP2102 firmy *Silicon Labs*. W większości przypadków jest on już zainstalowany w związku z wcześniejszymi potrzebami. Po zała-

dowaniu do procesora ESP32 i wywołaniu oprogramowanie rozpakuje się samoczynnie i wykonuje niezbędne kroki instalacyjne. W przypadku wystąpienia błędów w czasie instalacji należy odłączyć zasilanie od modułu, odłączyć go od złącza USB i po upływie 20 sekund po podłączeniu przerwanych połączeń wystartować ESP32 ponownie. Po uruchomieniu oprogramowania warto wprowadzić w konfiguracji własny znak wywoławczy.

Program można obsługiwać przez złącze USB albo bezprzewodowo przez złącze BT przy użyciu dowolnego programu terminalowego z komputera albo telefonu androidowego, np. bezpłatnego programu *Serial Bluetooth Terminal App*. Szybkość transmisji wynosi domyślnie 115200 bodów. Korzystanie ze złącza BT wymaga uprzedniego sparowania urządzeń.

Użytkownik ma do dyspozycji następujące funkcje: wprowadzenie znaku wywoławczego (*#RP znak*), odbiór i nadawanie pakietów „LoRy” (polecenia *#ME* dla włączenia monitorowania i *#PL* dla zmiany parametrów), nadawanie tekstu radiolatarni (*#BI* odstęp czasu; *#BT* tekst komunikatu i *#BAKE* dla włączenia transmisji), funkcję stacji przekaźnikowej (*#REP*), monitorowania dwóch kanałów (*#MO...* dla wprowadzenia częstotliwości i nazw kanałów; *#MONI* dla włączenia), pracę w trybie APRS (*#APRS...*) i jako trener do nauki telegrafii (*#CW...*). Podanie poleceń bez parametrów powoduje wyświetlenie pomocy i informacji o niezbędnych parametrach.

Dla włączenia transmisji komunikatów APRS tak, aby pozycja była widoczna na mapie w witrynie *aprs.fi* służy następująca (przykładowa) sekwencja poleceń:

<i>#RP OE1KDA</i>	- wprowadzenie znaku wywoławczego
<i>#L 18</i>	- moc nadawania 18 dBm
<i>#APRS DEF</i>	- parametry APRS
<i>#APRS ANZ</i>	- położenie stacji
<i>APRS PUT</i>	- nadanie pakietu.

Dane pozycyjne są zapisane na stałe w programie i należy je dopasować do stanu rzeczywistego.

Do nauki telegrafii służą (przykładowo) następujące polecenia:

<i>#CW A 10</i>	- nadanie 10 skrótów CW
<i>#CW F 2</i>	- nadawanie grup po 5 znaków przez 2 minuty
<i>#CW M 4</i>	- nadawanie grup mieszanych.

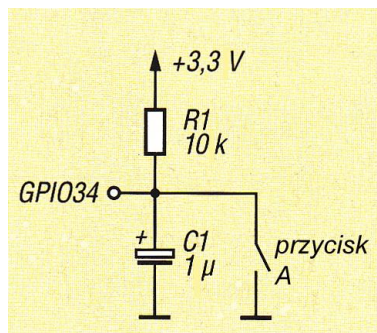
Konstrukcja i wyposażenie płytki Heltec V3 różni się znacznie od konstrukcji w wersji V2. Oznacza to, że dopasowanie oprogramowania do wersji V3 może okazać się czasochłonne. W związku z trudnościami z zakupem płytek w wersji V2 autorzy programu opracowali wersję dla płytek LILYGO-LoRa32-T3_V1.6.1. Oferuje ona prawie pełną funkcjonalność wersji pierwotnej.

Oprogramowanie to jest dostępne w witrynie Funkamateura na stronie:

FUNKAMATEUR > Downloads/Archiv > Downloads zum Heft,

a plik nosi nazwę *FTDFirmwareTTGO.zip*.

Konieczne jest zainstalowanie dodatkowego przycisku podłączonego do wyprowadzenia GPIO34.



Rys. 5.5. Sposób podłączenia przycisku

Znajdujący się na płytce procesor jest trochę słabiej ekranowany aniżeli procesor na płytce Helteca V2 i może powodować cichy gwizd przy odsłuchu telegrafii. Autorzy planują opracowanie dodatkowego filtra, który eliminowałby to zjawisko.

6. Analizator „LoRy”

LoRa Sniffer firmy *DX Patrol* służy do obserwacji i analizy komunikacji radiowej w systemie LoRa. Jest on obsługiwany bezprzewodowo za pomocą programów sterujących pracujących pod systemami Android lub iOS. Analizator jest produkowany w dwóch wersjach: dla pasm 433 i 868 MHz.

Pierwsza z nich jest wprawdzie bardziej interesująca dla krótkofalowców, ale również i oni korzystają czasami z sieci czynnych w wyższym zakresie. Analizator pozwala nie tylko na odbiór, wyświetlanie i protokołowanie odebranych komunikatów, ale również na nadawanie własnych (w formacie ASCII lub dwójkowym) dla celów testowych. Protokołowane komunikaty można uzupełnić o czas odbioru i współrzędne geograficzne analizatora w momencie odbioru. Użytkownicy mogą dowolnie dobierać parametry LoRy, a więc możliwa jest analiza pracy węzłów *Meshcom*, stacji *LoRaAPRS* i innych przyszościowych rozwiązań na tym polu. Oprócz tego użytkownik ma do dyspozycji funkcje obserwacji aktywności w kanale radiowym i obliczające czas transmisji bloku danych o podanej długości przy wybranym zestawie parametrów transmisji.

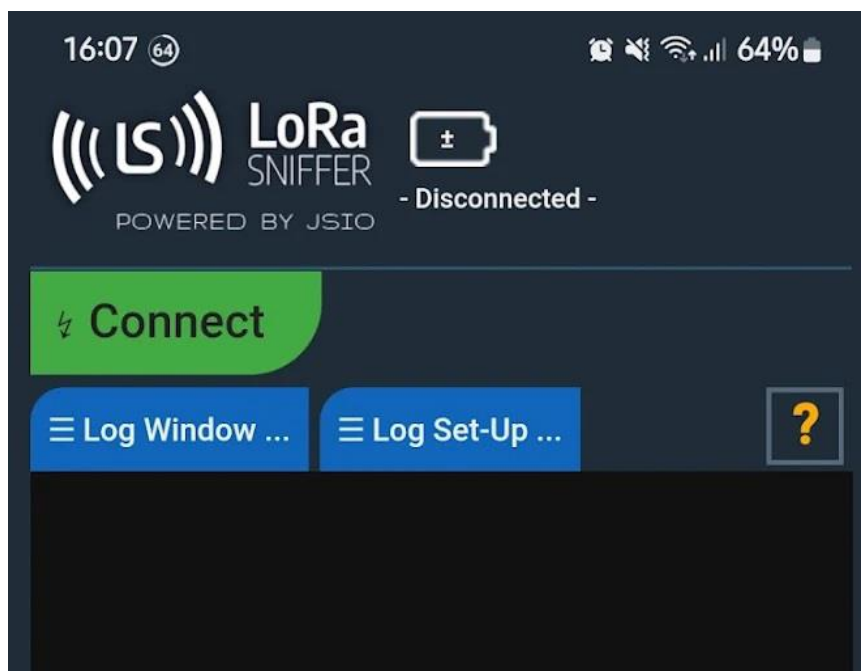


Fot. 6.1. Widok ogólny analizatora

Moduł mikrokomputera jest wyposażony jedynie w trzy diody świecące sygnalizujące włączenie (zielona), ładowanie akumulatora i stan połączenia BLE z komputerem (czerwone), dlatego też do pełnej obsługi i konfiguracji służy program pracujący na komputerze tabliczkowym (ang. *tablet*) albo na telefonie komórkowym. Program pod nazwą *LoRaSniffer* (LS) jest dostępny w sklepach internetowych *Google Play* lub *App Store*. Łączność z komputerem androidowym lub pracującym pod systemem iOS odbywa się w kanale Bluetooth (BLE). Sparowanie komputera z analizatorem nie wymaga podania hasła. Użycie dwóch współpracujących ze sobą analizatorów pozwala na badanie jakości transmisji w zależności od jej parametrów i dobieranie optymalnych parametrów dla danej sieci.

Po wywołaniu programu LS na ekranie komputera widoczny jest zielony przycisk „Connect” („Połącz”) – fot. 6.2, a po udanym połączeniu z analizatorem jest on zastępowany przez pomarańczowy przycisk „Detach” („Rozłącz”). Użytkownik ma wówczas do dyspozycji cztery zakładki (fot. 6.3). Pierwsza z nich pod nazwą „Radio” służy do wprowadzenia parametrów transmisji: częstotliwości pracy, szerokości pasma rozproszonego sygnału, współczynnika rozpraszania, stopy korekcji, mocy nadajnika i innych. Użytkownik może (po naciśnięciu przycisku „User Settings” na ekranie) zapisywać

własne profile zawierające potrzebne mu zestawy parametrów, przykładowo dla sieci *Meshcom*, *LoRaAPRS* itd. lub je wywoływać. Zakładka „Send” („Nadaj”) służy do wprowadzania i nadawania do sieci włączonych komunikatów oraz do przeglądania już nadanych. Komunikaty ASCII są wpisywane za pomocą klawiatury ekranowej. Zakładka „Test” zawiera funkcje diagnostyczne sieci ułatwiające znalezienie optymalnego zestawu parametrów dla danej sytuacji. Wymaga to użycia dwóch analizatorów, z których jeden pracuje jako stacja przekaźnikowa i jest zlokalizowany w miejscu przyszłej stacji przekaźnikowej sieci, a drugi pracujący w trybie standardowym jest zlokalizowany w miejscu jednego z jej węzłów. Ostatnim elementem jest zakładka programów narzędziowych („Tools”). Pozwalają one na śledzenie aktywności w paśmie pracy, obliczanie czasu transmisji pakietu danych o wybranej długości, pomiar poziomu szumów w kanale radiowym, przeglądanie protokołu, aktualizację oprogramowania itd.

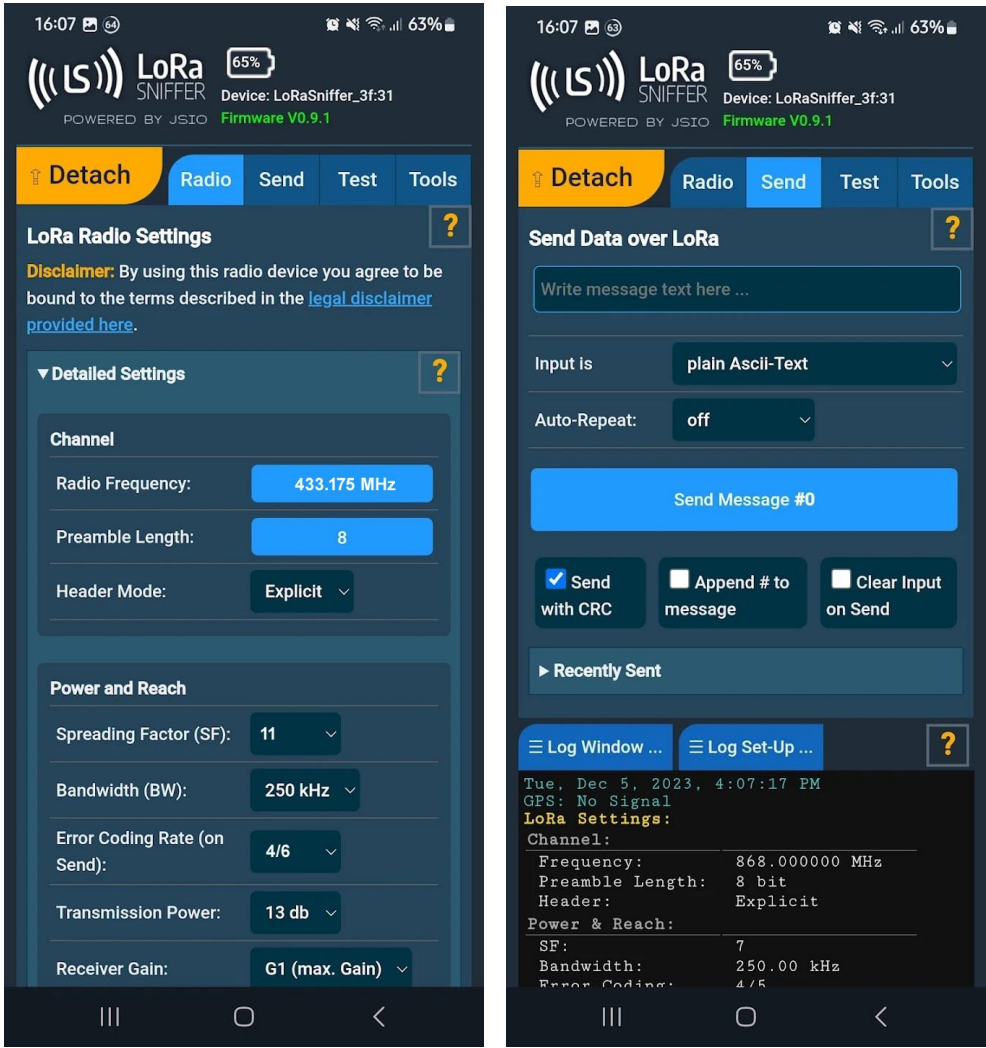


Fot. 6.2. Górna część okna przed połączeniem z analizatorem

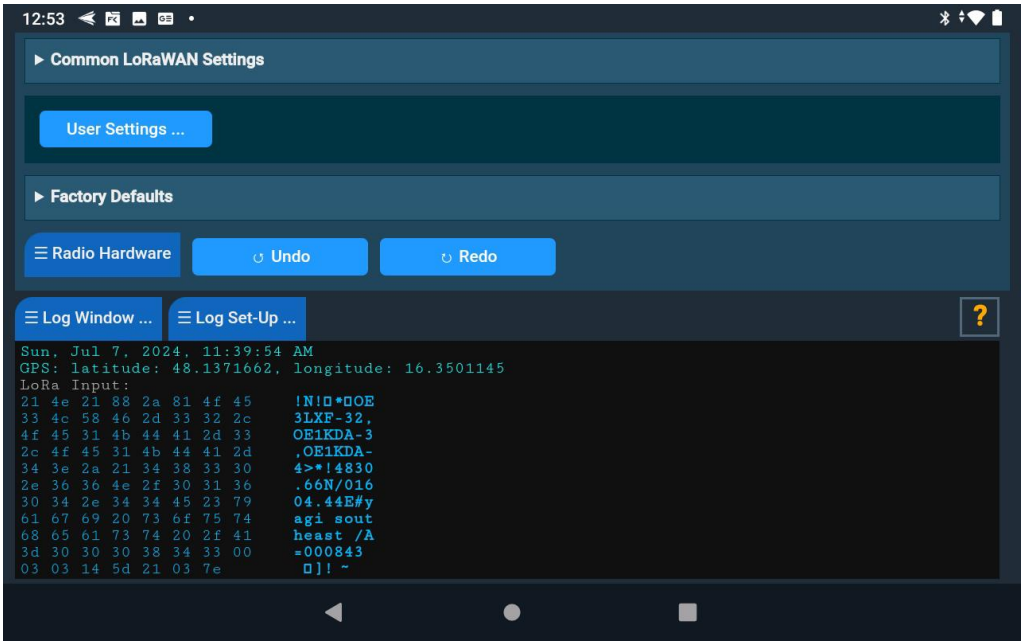
Poniżej znajdują się zakładki służące do konfiguracji wyświetlania i protokołowania odbieranych komunikatów, a dalej – pole, w którym wyświetlane są ustawione parametry i odbierane komunikaty. Oprócz używania programu korzystającego ze złącza *Bluetooth* użytkownicy mogą połączyć analizator z PC za pomocą kabla USB i zastosować program terminalowy *LoRaSniffer Terminal*. Program korzysta z wirtualnego złącza COM, co może wymagać zainstalowania sterownika CP210x, jednak przeważnie jest on już zainstalowany przy okazji uruchamiania innych programów i urządzeń. Obie możliwości są ze sobą równoważne.

Analizator jest zasilany z wbudowanego akumulatora litowo-polimerowego ładowanego przez gniazdko mikro-USB. Niestety jego pojemność wystarcza najwyżej na kilkadziesiąt minut pracy. Znacznie praktyczniejszym okazuje się zasilanie z zewnętrznego akumulatora 5 V o pojemności kilku Ah lub przez ładowarkę sieciową.

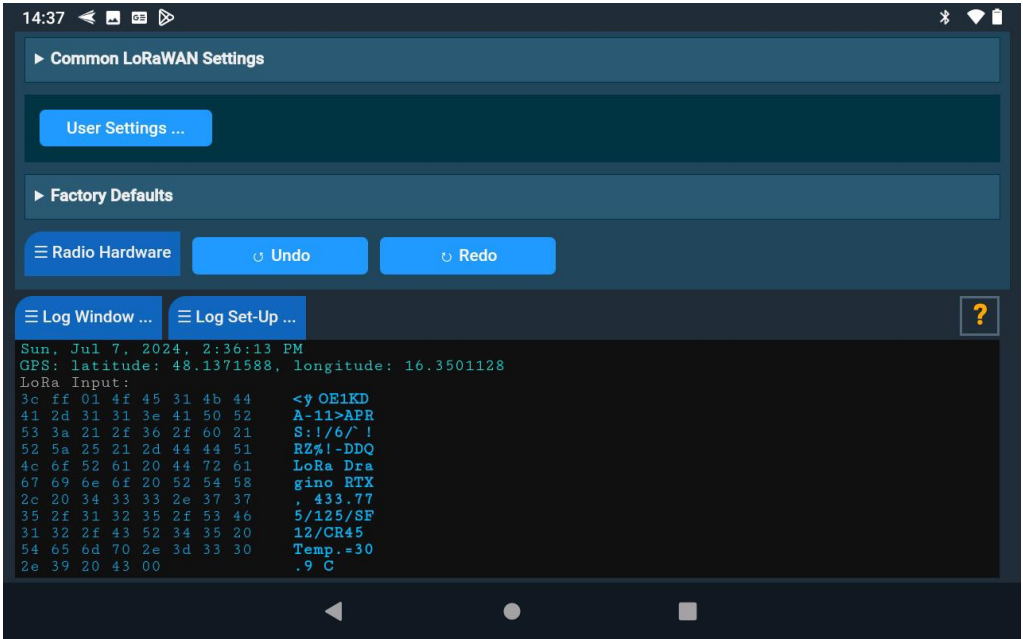
Obudowa ma wymiary 54 x 18 x 67 mm. Jest ona wyposażona w przezroczystą ściankę górną, na której znajduje się przycisk wyłącznika i otwór dla gniazdka antenowego typu SMA.



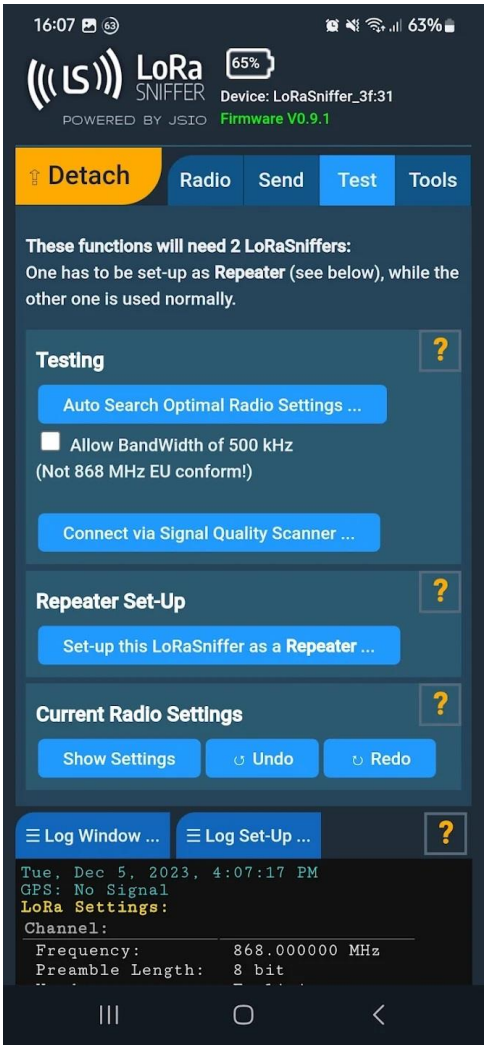
Fot. 6.3. Przykład ustawienia parametrów transmisji *LoRa* dla sieci *Meshcom*
Fot. 6.6. Zakładka wymiany komunikatów



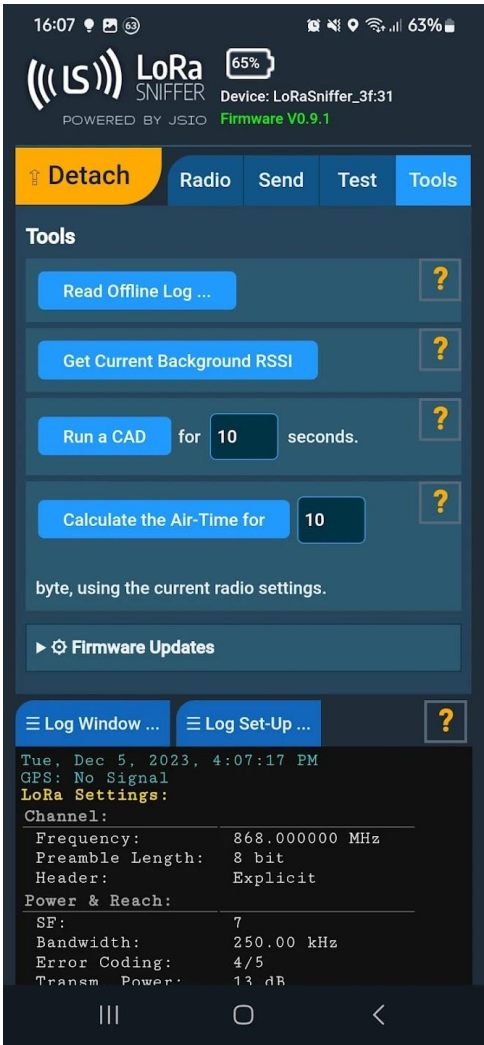
Fot. 6.4. Komunikat odebrany z sieci *Meshcom*



Fot. 6.5. Komunikat LoraAPRS



Fot. 6.7. Zakładka diagnostyczna



Fot. 6.8. Zakładka narzędzi

Dodatek A

Instalacja Pythona i Esptool

Zaprogramowanie modułów *LoRy* typu Heltec w wersji V3 wymaga uprzedniego zainstalowania *Pythona* i programu ładującego *ESPTOOL*. Użytkownicy pozostałych omówionych modułów tego nie potrzebują.

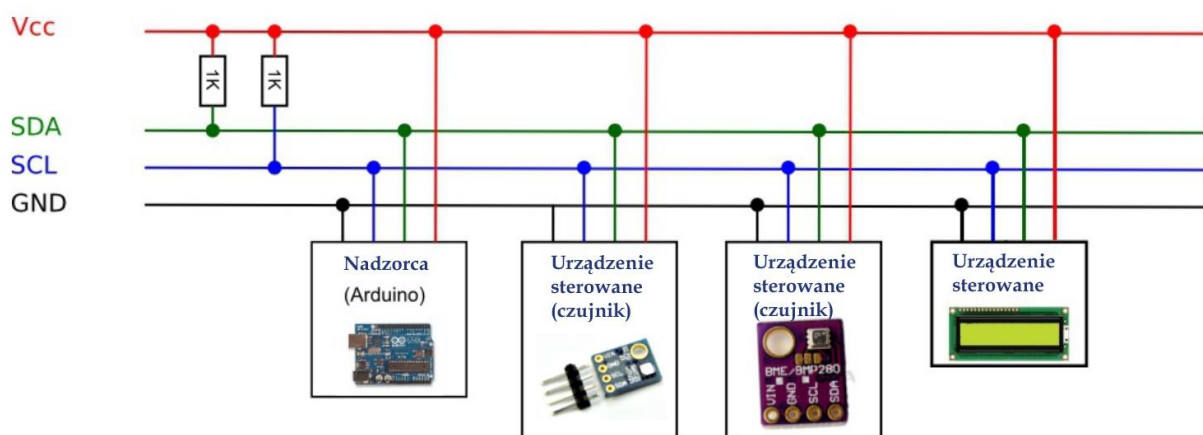
Instalacja – o ile nie została wykonana wcześniej z innych powodów – składa się z następujących kroków:

1. Instalacja *Pythona* dla Windows (pakiet PIP jest instalowany automatycznie z Pythonem):
Z adresu <https://meshtastic.discourse.group/t/tutorial-setting-up-a-windows-machine-for-use-with-meshtastic-python/2872>
Należy koniecznie zaznaczyć pole „Add Python ... to PATH”.
2. Uruchomienie *PowerShella* i sprawdzenie wersji Pythona przez podanie w jego oknie polecenia
`py -version`
3. Aktualizacja *PIP* i sprawdzenie jego wersji przez podanie w oknie *PowerShella* poniższych poleceń
`py -m pip install --upgrade pip`
`pip -version`
4. Instalacja i aktualizacja programu narzędziowego *ESPTOOL*
`pip install --upgrade esptool`
`pip install --upgrade pytap2`

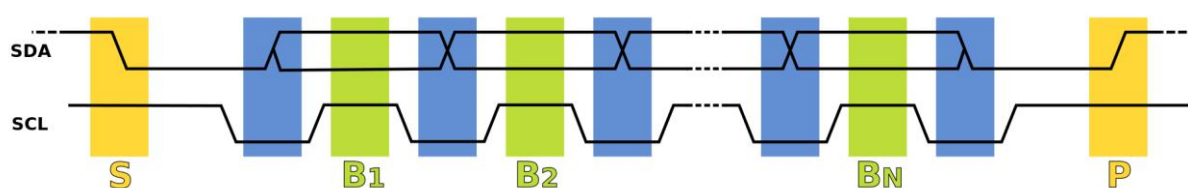
Dodatek B

Magistrala I2C

Magistrala I2C (ang. *Inter-Integrated Circuit*) została opracowana w firmie Philips z myślą o połączeniach wewnątrz urządzeń, a nawet ograniczonych tylko do elementów znajdujących się na wspólnej płycie drukowanej. Urządzenie sterujące (najczęściej mikrokomputer) może komunikować się maksymalnie ze 127 urządzeniami podporządkowanymi takimi jak różnego rodzaju czujniki, wyświetlacze, pamięci szeregowo, przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe, regulatory siły głosu lub innych wielkości, przełączniki, multipleksery itp. Rozszerzenie adresów z 7 do 10 bitów pozwala na adresowanie ponad 1000 urządzeń. Każde z urządzeń ma przypisany przez producenta adres, ale niektóre dysponują dwoma lub więcej do wyboru aby umożliwić podłączenie do magistrali kilku identycznych czujników dokonujących pomiarów w różnych miejscach aparatury lub lokalu. Magistrala składa się z dwóch przewodów: danych (SDA) i zegarowego (SCL), wymagających włączenia oporników podciągających do napięcia zasilania. Trzecim przewodem jest masa, a czwartym przewód zasilający. Transmisja z szybkościami 100 – 400 kb/s odbywa się synchronicznie. W trybie szybkim dopuszczalna jest szybkość transmisji 3,4 Mb/s. Następcą magistrali I2C jest kompatybilna magistrala I3C dopuszczająca maksymalne szybkości transmisji 5 Mb/s.



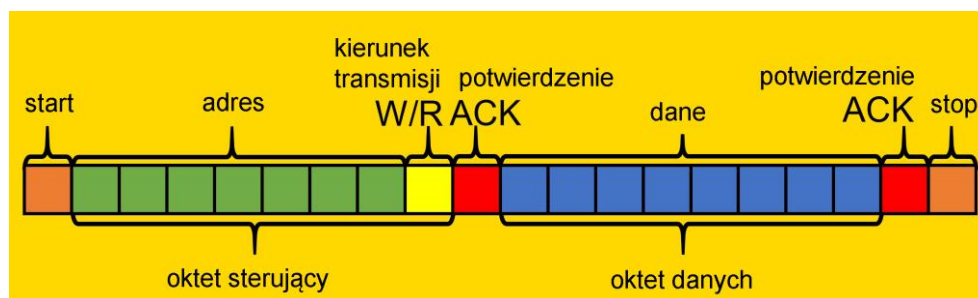
Rys. B.1. Zasada pracy magistrali I2C



Rys. B.2. Transmisja danych na magistrali rozpoczyna się od sygnału startowego S, po nim następują bity danych B1 – Bn, a na zakończenie nadawany jest sygnał stopu P. Początek transmisji sygnalizuje opadające zbocze na przewodzie danych, a koniec zbocze wznoszące. Sygnał zegarowy jest nadawany tylko w czasie pomiędzy startem i zakończeniem

Przewody SDA i SCL magistrali są połączone z plusem zasilania za pomocą oporników podciągających, a podłączone urządzenia posiadają wyjście z otwartym kolektorem. Każdemu z nich jest przypisany jednoznaczny (obecnie 10-bitowy zamiast 7-bitowego) adres, przy czym dla umożliwienia podłączenia większej liczby urządzeń tego samego typu pozwalają one na wybór adresów z pewnej grupy. Przebieg transmisji przedstawiony jest na ilustracji B.2. Jednostką danych jest oktet składający się, jak wskazuje nazwa, z ośmiu bitów. Odbiór jest kwitowany za pomocą sygnału ACK (poziom 0) w przypadku prawidłowego przebiegu lub NACK (poziom 1) w przypadku wystąpienia przekłamań.

Specyfikacja magistrali pozwala na występowanie więcej niż jednej jednostki sterującej (nadzorcy). Protokół transmisji jest stosunkowo prosty i z tego powodu wrażliwy na ewentualne zakłócenia, j.np. przesłuchy, sprzężenia pojemnościowe lub indukcyjne, szumy, zakłócenia impulsowe pochodzące od innych urządzeń, niepewne kontakty na złączach itd.



Rys. B.3. Protokół I2C. Po bicie startowym następuje 7 lub 10 bitów adresu, bit odczytu/zapisu W/R, bit potwierdzenia ACK/NACK, po nim 8 bitów danych, ponowny bit potwierdzenia ACK/NACK i bit stopu

Do pewnego stopnia do I2C podobna jest magistrala SPI. W odróżnieniu od półdupleksowej I2C jest ona jednak pełnodupleksowa. Zawiera przewód sygnału zegarowego SCLK, dwa przewody danych (po jednym dla kierunku od jednostki nadrzędnej do podporządkowanych i odwrotnie – MOSI, MISO) i sygnał wyboru wywoływanego urządzenia SS.

Dodatek C

Poprawka dla ciśnienia atmosferycznego

Tabela C.1

Przeliczenie zmierzonego ciśnienia atmosferycznego do poziomu morza (w przybliżeniu można przyjąć 1 hPa na 8 metrów)

Wysokość n.p.m [m]	Poprawka [hPa]
0	0
25	3
50	6
75	9
100	12
125	15
150	18
175	21
200	24
225	27
250	30
275	33
300	36
325	38
350	41
375	44
400	47
425	50
450	53
475	56
500	59
525	61
550	64
575	67
600	70
625	73
650	76
675	78
700	81
725	84
750	87

775	90
800	92
825	95
850	98
875	101
900	104
925	106
950	109
975	112
1000	114
1025	117
1050	120
1075	123
1100	125
1125	128
1150	131
1175	133
1200	136
1225	139
1250	141
1275	144
1300	147
1325	149
1350	152
1375	155
1400	157
1425	160
1450	162
1475	165
1500	168
1525	170
1550	173

Dodatek D

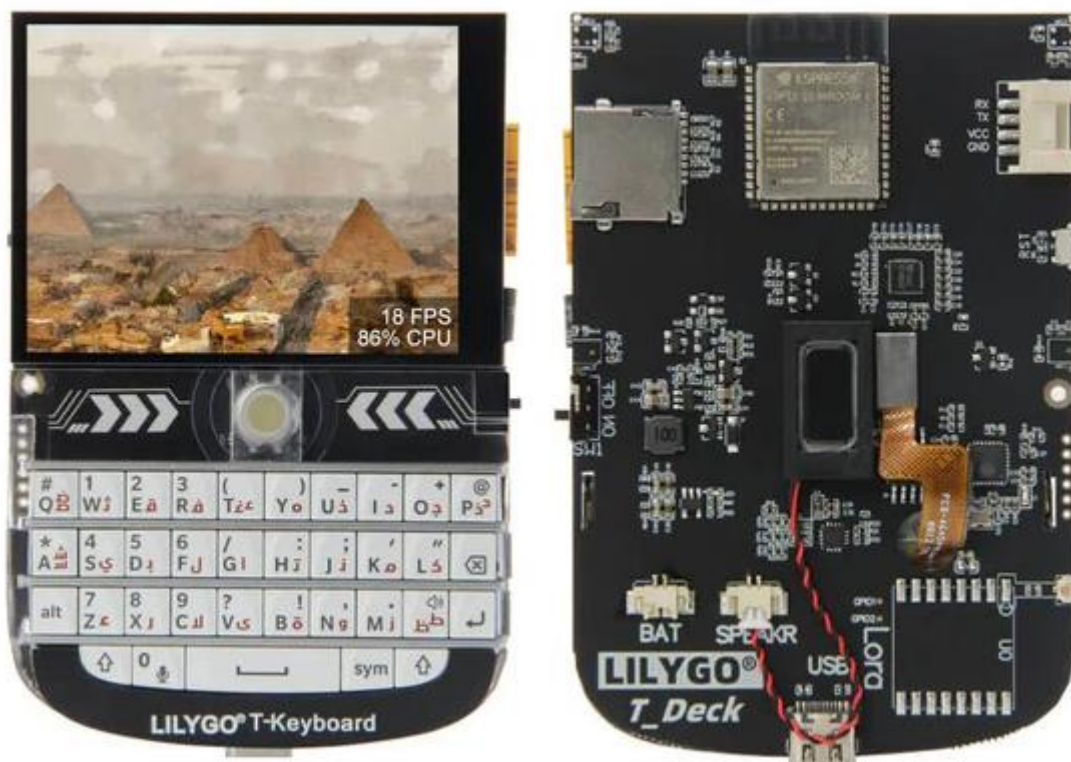
Kieszonkowy terminal T-DECK

T-Deck i T-Deck plus są kieszonkowymi terminalami firmy *LilyGo* wyposażonymi w 2,8-calowy dotykowy wyświetlacz ciekłokrystaliczny o rozdzielczości 320 x 240 punktów, miniaturową klawiaturę, kulkę zastępującą mysz i mikrokomputer z procesorem ESP32-S3FN16R8. Znajdujące się z boku gniazdko złącza szeregowego pozwala na podłączenie odbiornika GPS (fot. D.3 i D.4). T-Deck plus jest fabrycznie wyposażony w odbiornik GPS, a także w akumulator 2000 mAh i zewnętrzną antenę. Terminale są wyposażone w złącze WiFi 2,4 GHz i złącze Bluetooth 5 (LE), mikrofon, głośniczek, 16 MB pamięci programowalnej, 8 MB pamięci roboczej i obwód radiowy SX1262 dla łączności „LoRy”. T-Deck nie jest natomiast standardowo wyposażony w odbiornik GPS, ale sposób jego podłączenia podano poniżej. *T-Deck (plus)* jest dostępny w wersjach dla pasm 433 i 868 MHz. Amerykańska wersja dla pasma 915 MHz nie jest interesująca dla użytkowników europejskich. Wyświetlacz i klawiatura pozwalają na odczyt i pisanie wiadomości oraz na konfigurację programu bez korzystania z telefonu albo komputera tabliczkowego.

Do pisania programów dla *T-Decka* służą środowisko programistyczne Arduino albo środowisko *PlatformIO*. Programy można też pisać w MicroPythonie.

W witrynie icssw.org jest dostępna dla nich wersja oprogramowania *MeshCom*. Standardowo jest ona wyposażona w mapy Europy, Niemiec i niektórych części Austrii. Oprogramowanie jest wyposażone w serwer WEB i funkcję lokalizacji (ang. *tracking*) korzystającą z odbiornika GPS. Kombinacja ALT+B służy do włączania i wyłączania podświetlenia klawiatury, STM+K – do włączania i wyłączania klawiatury i wyświetlacza, SYM+L – do włączania wyświetlacza na stałe lub na ograniczony czas, SYM+B – do zmiany jasności (czterostopniowo) SYM+O lub I – do zmiany skali map. Na stronie <https://icssw.org/t-deck-anleitung/> dostępne są też pliki do wydrukowania obudowy *T-Decka* na drukarce trójwymiarowej (3D). T-Deck plus posiada standardowo obudowę.

Terminal ma wymiary 10 x 6,8 x 1,1 cm.



Fot. D.1. Kieszonkowy terminal *T-Deck*. U góry po lewej stronie tyłu płytki znajduje się gniazdko dla odbiornika GPS. Po przeciwnej stronie płytki widoczna jest kieszeń dla modułu pamięci TF

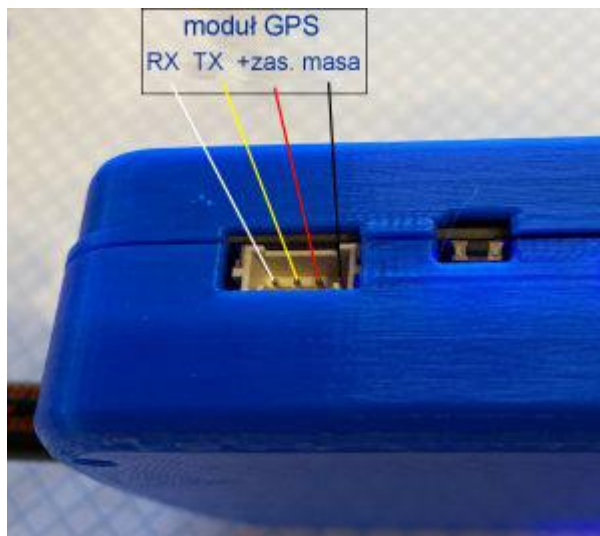
Zainstalowanie oprogramowania *MeshCom* wymaga:

1. Wyłączenia terminala
2. Naciśnięcia kulki
3. Włączenia terminala
4. Puszczania kulki po 2 – 3 sekundach
5. Wybrania modelu i oprogramowania na stronie programu instalacyjnego
6. Połączenia z nim za pomocą ekranowego przycisku *Connect* jak dla innych modułów
7. Ewentualny meldunek błędu należy zignorować
8. Przed uruchomieniem można też pobrać pliki dźwiękowe *winxp.mp3* i *bell.mp3* (lub ich nowsze wersje).



Fot. D.2. Terminal T-Deck plus

Na terminalach można też zainstalować oprogramowanie *MeshCore* jak to opisano w rozdziale trzecim oraz oprogramowanie *Meshtastic*.



Fot. D.3 i D.4. Podłączenie odbiornika GPS do *T-Decka*. Odbiornik należy włączyć za pomocą polecenia `--gps on`

Dane pozycyjne są nadawane co 30 minut. Można je nadać w dowolnym momencie za pomocą polecenia `--sendpos`.

Najnowszym typem terminala jest *T-Deck pro*. Jest on wyposażony w czarno-biały wyświetlacz typu elektronicznego papieru o przekątnej 3,1 cala o rozdzielczości 480 x 320 punktów. Jego wersja *MeshtComu* pozwala na korzystanie ze złącza szeregowego, złącza BT, jest wyposażona w serwer WEB i obsługuje odbiornik GPS. Dodatkowo do opisanych powyżej kombinacji dysponuje ona następującymi: ALT+R – skok do odbieranych wiadomości, ALT+S – skok do wpisywania wiadomości, ALT+M – włączenie lub wyłączenie sygnałów dźwiękowych, ALT+D – włączenie lub wyłączenie diagnozy. Klawisze SYM i CAP są zatraskiwane. W chwili pisania niniejszego tekstu oprogramowanie MeshCom dla *T-Decka pro* należy pobrać z *githuba*, skompilować w środowisku *Visual Studio Code* i z niego załadować do terminala. *T-Deck pro* ma wymiary 120 x 65 x 13,5 mm.



Fot. D.5. T-Deck pro

Literatura i adresy internetowe

Roczniki 2021 – 2025 Funkamateura, QSP, QST

„LoRaWAN-Knoten im IoT”, Claudius Kühnel, Elektor, Akwizgran [Aachen] 2021, ISBN 978-3-89576-467-7

- [1.1] www.arduino.cc – główna witryna projektu „Arduino”
- [1.2] sklep.avt.pl – sklep internetowy wydawnictwa AVT
- [1.3] www.swiatrradio.com.pl – witryna internetowa „Świata Radio”
- [1.4] www.kg-gps.de
- [1.5] www.dragino.com – witryna producenta nakładek „LoRa” dla „Arduino”
- [1.6] aprs.fi – obserwacja położenia stacji APRS i ich komunikatów
- [1.1.1] <https://unsigned.io> – kalkulator szybkości transmisji i czułości kanału „LoRy”
- [1.2.1] „Funkfernswitcher mit LoRa-Technik und Rückmeldekanal“, Claus-Uwe Hass, DL8AB, *Funkamateur* 3/2025, str. 202
- [1.2.2] „Experimentelles LoRa-Modul auf Arduino-Basis“, Anthony Le Cren, F4GOH, *Funkamateur* 7/2025, str. 532
- [1.2.3] <https://github.com/f4goh/modem-LoRa> – pliki do modułu LoRa F4GOH
- [1.2.4] „APRS-Datenübertragung mit ESP32 und LoRa Technologie“, Anthony Le Cren, F4GOH, *Funkamateur* 6/2024, str. 454
- [1.3.1] aprs-map.info – wyświetlanie lokalizacji stacji na mapie
- [1.3.2] https://github.com/lora-aprs/LoRa_APRS_Tracker – oprogramowanie nadajnika pozycji – lokalizatora – OE5BPA
- [1.3.3] https://github.com/lora-aprs/LoRa_APRS_iGate – oprogramowanie bramki internetowej – iGate – OE5BPA
- [1.3.4] platformio.org – oprogramowanie *PlatformIO* IDE i *VSCode*
- [1.3.5] <https://apps.magicbug.co.uk/passcode/> – generator hasła dostępu do APRS-IS
- [1.3.5a] <https://aprs.do3sww.de/> – generator hasła dostępu do APRS-IS
- [1.3.6] <https://github.com/f4goh/lora-aprs-esp32> – oprogramowanie bramki LoRa-APRS-iGate
- [1.3.7] <https://f4goh.github.io/lora-aprs-esp32/index.html> – Instalacja oprogramowania APRS
- [1.3.8] „iGate und Tracker bei DB0SL”, Kurt Moraw, DJ0ABR, CQDL 7/2022, str. 45
- [1.3.9] lora-aprs.at – witryna OE1ACM i OE1CGC; oprogramowanie bramki iGate i TNC w trybie KISS
- [1.3.10] https://github.com/richonguzman/LoRa_APRS_Tracker?tab=readme-ov-file – oprogramowanie lokalizatora APRS, CX2RXU – oparte na opracowaniu OE5BPA
- [1.5.1] „Sondy meteorologiczne”, Krzysztof Dąbrowski, OE1KDA, Świat Radio 7–8/2023, str. 25
- [1.5.2] https://github.com/dl9rdz/rdz_ttgo_sonde – oprogramowanie odbiorcze do odbioru sond meteorologicznych dla modułów LoRa
- [1.5.3] <http://radiosonde.eu/RS06/RS06S01.html> – projekt MyServer
- [1.5.4] „Mieszanka firmowa 2“, tom 67 „Biblioteki...” rozdział 2, str. 53
- [1.6.1] <https://www.f4fxl.org/building-a-vhf-lora-aprs-bridge/> – instalacja bramki APRS – LoRaAPRS
- [1.6.2] https://github.com/richonguzman/LoRa_APRS_iGate – oprogramowanie CA2RXU
- [1.6.3] <https://github.com/PhirePhly/aprx> – oprogramowanie APRX
- [1.6.4] <https://github.com/wb2osz/direwolf> – programowy modem *Direwolf*
- [2.1] „LoRa MeshCom”, Kurt Baumann, OE1KBC, QSP 1/2022, str. 14
- [2.2] „LoRa MeshCom”, Kurt Baumann, OE1KBC, QSP 2/2022, str. 11
- [2.2a] „Ein LoRa DatenFunk-Netzwerk. MeshCom 4.0”, Kurt Baumann, OE1KBC, Mike Zwingl, OE3MZC, CQDL 10/2024, str. 8
- [2.3] „Nadajnik APRS w systemie LoRa”, Krzysztof Dąbrowski, OE1KDA, Świat Radio 12/2019 str. 30
- [2.4] „Telemetry”, tom 33 z serii „Biblioteka polskiego krótkofalowca”
- [2.5] meshtastic.org – oprogramowanie wewnętrzne modułów
- [2.6] <https://gitforwindows.org>
- [2.7] <https://github.com/LilyGO/TTGO-T-Beam#start-of-content> – krótkofalarskie oprogramowanie dla modułów TTGO/T-Beam z GPS

- [2.8] <https://wiki.oevsv.at/wiki/MeshCom> – informacje w języku niemieckim
- [2.9] <https://wiki.oevsv.at/wiki/MeshCom/eshCom-Firmware> – oprogramowanie wewnętrzne modułów dopasowane do potrzeb krótkofalarskich
- [2.10] <https://de.wikipedia.org/wiki/MQTT> – opis protokołu MQTT
- [2.11] www.icssw.org – witryna projektu „MeshCom”
- [2.12] „Amateurfunk 2023”, „Software für den Funkamateure 2023”, VTH-Verlag
- [2.13] „LoRa APRS – eine Einführung”, Karsten Heddenhausen, DC7OS, CQDL 4/2-23, str. 52
- [2.14] „MeshCom 4.0 Gateway Advanced”, Andre Vaupel, DL4QB, CQDL 7/2025, str. 32
- [2.15] Meshcom-4.0_V2.0-1.pdf – Instrukcja DL4QB dostępna w Internecie
- [2.16] oe1kbc@oevsv.at – prowadzący projekt „LoRa MeshCom”, referat projektów narodowych i międzynarodowych OEVS
- [2.8.1] www.icssw.org – witryna realizatorów sieci krótkofalarskiej i oprogramowania Meshcom
- [2.8.2] <https://meshcom.oevsv.at> – witryna (pulpit) informująca o aktywności w amatorskiej sieci Meshcom
- [2.8.3] aprs.fi – obserwacja na mapie stacji nadających komunikaty APRS
- [3.1] <https://github.com/meshcore-dev/MeshCore>
- [3.2] lorameshcom.pl – polska witryna systemu MeshCore
- [3.3] diver.net.pl/meshcore
- [3.4] <https://meshcore.co.uk/apps.html> – strona z adresami do pobrania programów.
- [3.1.1] meshtastic.com
- [3.1.2] meshtastic.at
- [3.1.3] 2025-03-10-Dual-Relais-MshTas-MeshCom-DL1MBD-v1.3c-handout.pdf
- [3.2.1] gaulix.fr
- [4.1] <https://tinygs.com> – witryna TinyGS
- [4.2] <https://github.com/G4lile0/tinyGS>
- [4.3] <https://github.com/G4lile0/tinyGS/wiki>
- [4.4] „TinyGS – winzige Bodenstationen für LoRA-Satelliten“, Andreas Bilsing, DM4TG, CQDL 4/2023, str. 44
- [4.5] „TinyGS – An Application of LoRa Technology“, Ivan Shulman, WC2S, QST 5/2023, str. 46
- [4.6] <https://installer.tinygs.com> – strona instalacyjna
- [4.7] https://t.me/tinyGS_Telemetry – informacja o stacjach i odbierane pakiety
- [4.8] https://t.me/TinyGS_Test – kanał próbny
- [6.1] www.wimo.com
- [6.2] <https://dxpatrol.pt/produto/lora-sniffer/>

W serii „Biblioteka polskiego krótkofalowca” dotychczas ukazały się:

- Nr 1 – „Poradnik D-STAR”, wydanie 1 (2011), 2 (2015), 3 (2019) i 4 (2021)
- Nr 2 – „Instrukcja do programu D-RATS” (2011)
- Nr 3 – „Technika słabych sygnałów” Tom 1 (2011)
- Nr 4 – „Technika słabych sygnałów” Tom 2 (2011)
- Nr 5 – „Łączności cyfrowe na falach krótkich” Tom 1 (2011)
- Nr 6 – „Łączności cyfrowe na falach krótkich” Tom 2 (2011)
- Nr 7 – „Packet radio” (2011)
- Nr 8 – „APRS i D-PRS” (2012)
- Nr 9 – „Poczta elektroniczna na falach krótkich” Tom 1, wydanie 1 (2012)
- Nr 10 – „Poczta elektroniczna na falach krótkich” Tom 2, wydanie 1 (2012)
- Nr 11 – „Słownik niemiecko-polski i angielsko-polski” Tom 1 (2012)
- Nr 12 – „Radiostacje i odbiorniki z cyfrową obróbką sygnałów” Tom 1 (2012)
- Nr 13 – „Radiostacje i odbiorniki z cyfrową obróbką sygnałów” Tom 2 (2012)
- Nr 14 – „Amatorska radioastronomia” (2012)
- Nr 15 – „Transmisja danych w systemie D-STAR” (2013)
- Nr 16 – „Amatorska radiometeorologia”, wydanie 1 (2013) i 2 (2017)
- Nr 17 – „Radiolatarnie małej mocy” (2013)
- Nr 18 – „Łączności na falach długich” (2013)
- Nr 19 – „Poradnik Echolinku” (2013)
- Nr 20 – „Arduino w krótkofalarstwie” Tom 1 (2013)
- Nr 21 – „Arduino w krótkofalarstwie” Tom 2 (2013)
- Nr 22 – „Protokół BGP w Hamnecie” (2013)
- Nr 23 – „Technika słabych sygnałów” Tom 3, wydanie 1 (2014), 2 (2016) i 3 (2017)
- Nr 24 – „Raspberry Pi w krótkofalarstwie” (2014)
- Nr 25 – „Najpopularniejsze pasma mikrofalowe”, wydanie 1 (2015) i 2 (2019)
- Nr 26 – „Poradnik DMR” wydanie 1 (2015), 2 (2016) i 3 (2019), nr 326 – wydanie skrócone (2016)
- Nr 27 – „Poradnik Hamnetu” wydanie 1 (2015) i 2 (2021)
- Nr 28 – „Budujemy Ilera” Tom 1 (2015)
- Nr 29 – „Budujemy Ilera” Tom 2 (2015)
- Nr 30 – „Konstrukcje D-Starowe” (2015)
- Nr 31 – „Radiostacje i odbiorniki z cyfrową obróbką sygnałów” Tom 3 (2016)
- Nr 32 – „Anteny łatwe do ukrycia” (2016)
- Nr 33 – „Amatorska telemetria”, wydanie 1 (2017) i 2 (2022)
- Nr 34 – „Poradnik systemu C4FM”, wydanie 1 (2017), 2 (2019) i 3 (2021)
- Nr 35 – „Licencja i co dalej” Tom 1 (2017)
- Nr 36 – „Cyfrowa Obróbka Sygnałów” (2018)
- Nr 37 – „Telewizja amatorska” (2018)
- Nr 38 – „Technika słabych sygnałów” Tom 4, wydanie 1 (2018), 2 (2020) i 3 (2022)
- Nr 39 – „Łączności świetlne” (2018)
- Nr 40 – „Radiostacje i odbiorniki z cyfrową obróbką sygnałów” Tom 4 (2018)
- Nr 41 – „Licencja i co dalej” Tom 2 (2018)
- Nr 42 – „Miernictwo” Tom 1 (2019)
- Nr 43 – „Miernictwo” Tom 2 (2019)
- Nr 44 – „Miernictwo” Tom 3 (2019)
- Nr 45 – „Testy sprzętu” Tom 1 (2019)
- Nr 46 – „Testy sprzętu” Tom 2 (2019)
- Nr 47 – „Licencja i co dalej” Tom 3 (2019)
- Nr 48 – „Jonosfera i propagacja fal” (2020)
- Nr 49 – „Anteny krótkofalowe” Tom 1, wydanie 1 (2020) i 2 (2023)
- Nr 50 – „Anteny ultrakrótkofalowe” Tom 1, wydanie 1 (2020) i 2 (2022)
- Nr 51 – „Anteny krótkofalowe” Tom 2, wydanie 1 (2020) i 2 (2023)
- Nr 52 – „Anteny ultrakrótkofalowe” Tom 2, wydanie 1 (2020) i 2 (2023)
- Nr 53 – „Anteny mikrofalowe” (2020)

- Nr 54 – „Proste odbiorniki amatorskie” Tom 1 (2020)
- Nr 55 – „Proste odbiorniki amatorskie” Tom 2 (2020)
- Nr 56 – „Proste nadajniki amatorskie” Tom 1 (2021)
- Nr 57 – „Proste nadajniki amatorskie” Tom 2 (2021)
- Nr 58 – „Mini- i mikrokomputery w krótkofalarstwie” Tom 1 (2021)
- Nr 59 – „Mini- i mikrokomputery w krótkofalarstwie” Tom 2 (2021)
- Nr 60 – „DX-y w C4FM” (2021)
- Nr 261 – „Poradnik DMR” Tom 1, z nru 26, wydanie 1 (2021)
- Nr 262 – „Poradnik DMR” Tom 2, z nru 26, wydanie 1 (2021)
- Nr 63 – „Testy sprzętu” Tom 3 (2021)
- Nr 64 – „Pocztą elektroniczną na falach krótkich”, z numerów 9 i 10, wydanie 2 (2022)
- Nr 65 – „Testy sprzętu” Tom 4 (2022)
- Nr 66 – „Mieszanka firmowa” Tom 1 (2023)
- Nr 67 – „Mieszanka firmowa” Tom 2 (2023)
- Nr 68 – „System LoRa”, wydanie 1 (2023), 2 (2024), 3 (2025), 4 (2026)
- Nr 69 – „Poradnik cyfrowego głosu” (2024)
- Nr 70 – „Konstrukcje antenowe” Tom 1, wydanie 1 (2024), 2 (2025), 3 (2026)
- Nr 71 – „Mieszanka firmowa” Tom 3 (2024)
- Nr 72 – „Testy sprzętu” Tom 5 (2024)
- Nr 73 – „Poradnik DMR” Tom 3 (2024)
- Nr 74 – „Mieszanka firmowa” Tom 4 (2025)
- Nr 75 – „Instrukcja obsługi FTDX10 (2025)
- Nr 76 – „Testy sprzętu” Tom 6 (2025)
- Nr 77 – „Historyczna technika krótkofalowców” Tom 1 (2025)
- Nr 78 – „Mieszanka firmowa” Tom 5 (2025)

Nr 356 – „Słownik historycznych terminów z elektroniki i radiotechniki” (2020)

W serii „Biblioteka historii techniki” dotychczas ukazały się:

- Nr H1 – „Praprzemysł na ziemiach polskich”, Tom 1, wyd. 1 (2024)
- Nr H2 – „Witelon”, wyd. 1 (2024)
- Nr H3 – „Praprzemysł na ziemiach polskich”, Tom 2, wyd. 1 (2025)

