

Zastosowanie systemu Meshtastic w łączności kryzysowej

Zofia Mazur

dr, Uniwersytet Andrzeja Frycza Modrzewskiego w Krakowie

<https://orcid.org/0000-0002-1899-4926>

Michał Sitarski

dr, Uniwersytet Andrzeja Frycza Modrzewskiego w Krakowie

<https://orcid.org/0009-0008-9119-9663>

Wprowadzenie

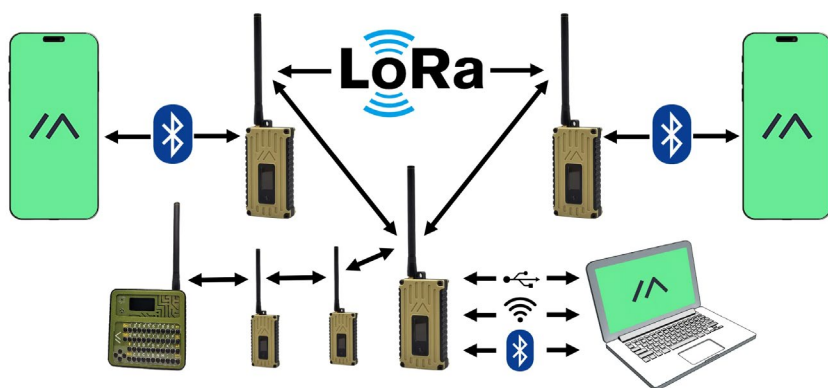
Z uwagi na zwiększającą się częstotliwość występowania katastrof naturalnych i zagrożeń infrastrukturalnych rośnie znaczenie alternatywnych systemów łączności, które mogą działać niezależnie od klasycznych sieci telekomunikacyjnych. Jednym z takich rozwiązań jest Meshtastic – otwartoźródłowa platforma umożliwiająca tworzenie rozproszonych sieci komunikacyjnych z wykorzystaniem technologii LoRa (*long range radio*). Celem badawczym jest analiza możliwości i skuteczności zastosowania systemu Meshtastic jako alternatywnego rozwiązania do zapewnienia łączności w sytuacjach kryzysowych, szczególnie w warunkach ograniczonego dostępu do tradycyjnych sieci telekomunikacyjnych¹. Podstawowy problem badawczy został sformułowany w postaci pytania: w jakim stopniu system Meshtastic może skutecznie wspierać łączność w sytuacjach kryzysowych, takich jak katastrofy naturalne, awarie infrastruktury telekomunikacyjnej czy działania ratownicze w trudno dostępnych terenach?

¹ Meshtastic, <https://meshtastic.org> [dostęp: 1.05.2025].

Technologia LoRa i idea sieci mesh

Technologia LoRa umożliwia bezprzewodową transmisję danych na duże odległości przy minimalnym zużyciu energii. Charakteryzuje się niską przepustowością, ale dużym zasięgiem – w warunkach terenowych nawet 10–15 km. Dzięki wykorzystaniu topologii mesh urządzenia Meshtastic mogą tworzyć samonaprawiającą się, rozproszoną sieć, w której dane są przekazywane pomiędzy węzłami bez udziału centralnego serwera (rysunek 1).

Rysunek 1. Działanie systemu LoRa i topologii mesh



Źródło: <https://meshtastic.org/docs/introduction> [dostęp: 1.05.2025].

LoRa to technologia komunikacji radiowej dalekiego zasięgu z niskim zużyciem energii, opracowana przez firmę Semtech. Wykorzystuje modulację *chirp spread spectrum* (CSS), co pozwala na osiągnięcie dużych odległości transmisji (nawet do kilkunastu kilometrów w terenie otwartym) przy bardzo niskim poziomie mocy nadawczej (typowo <100 mW). Dzięki temu jest szczególnie ceniona w zastosowaniach wymagających długiego czasu pracy na zasilaniu bateryjnym. Charakterystyczne cechy technologii LoRa to:

- duży zasięg: 2–15 km w zależności od warunków terenowych;
- niska przepustowość: typowo 0,3–50 kb/s, co ogranicza jej użycie do przesyłania danych tekstowych lub telemetrii;
- odporność na zakłócenia: CSS zapewnia stabilność transmisji nawet w trudnych warunkach;
- pasmo ISM: działa w nielicencjonowanych pasmach 433 MHz, 868 MHz (Europa) lub 915 MHz (Ameryka Północna).

Ze względu na te właściwości LoRa jest szeroko wykorzystywana w systemach IoT (Internet rzeczy), a także zyskuje na popularności w aplikacjach związanych z łącznością awaryjną i kryzysową.

Mesh to zdecentralizowany model komunikacji, w którym każdy węzeł (urządzenie) może nadawać, odbierać i przekazywać dane do innych węzłów. W odróżnieniu od sieci opartych na modelu klient-serwer (np. typowej sieci wi-fi), mesh nie wymaga centralnego punktu dostępowego. Dane mogą być dynamicznie przekierowywane między węzłami w zależności od ich dostępności i jakości połączenia². Najważniejsze właściwości tej sieci to:

- redundancja – awaria jednego węzła nie powoduje przerwania całej sieci, ponieważ dane mogą znaleźć alternatywną drogę;
- skalowalność – można łatwo dodawać kolejne węzły bez konieczności przebudowy infrastruktury;
- autonomia – sieć może działać niezależnie od istniejącej infrastruktury (sieci komórkowej, Internetu);
- elastyczność topologii – dynamiczna rekonfiguracja tras przesyłu danych w zależności od zmian w sieci (np. przemieszczania się użytkowników).

System Meshtastic łączy technologię LoRa z topologią mesh, umożliwiając tworzenie tanich, niskoenerygetycznych, bezprzewodowych sieci komunikacyjnych. Każde urządzenie Meshtastic może pełnić funkcję przekaźnika danych, co pozwala na rozszerzenie zasięgu poza fizyczne ograniczenia pojedynczego połączenia LoRa. Dzięki tej architekturze wiadomości tekstowe mogą być przesyłane w trudnych warunkach (np. w górach, w lesie, podczas katastrof). Sieć automatycznie rekonfiguruje się w razie zmiany położenia lub awarii węzła, a każdy uczestnik sieci może przekazywać dane innym użytkownikom, wzmacniając strukturę całego układu. Taka kombinacja cech sprawia, że Meshtastic staje się atrakcyjnym rozwiązaniem do zastosowań kryzysowych, kiedy priorytetem jest niezawodna, zdecentralizowana komunikacja w warunkach braku infrastruktury.

Czym jest Meshtastic?

Meshtastic to projekt *open source*, rozwijany przez społeczność entuzjastów, ratowników i inżynierów. System składa się z niewielkich elementów z mikrokontrolerami (np. ESP32) wyposażonymi w moduły LoRa (np. RFM95). Dzięki darmowej aplikacji mobilnej możliwa jest komunikacja tekstowa nawet przy całkowitym braku zasięgu GSM i wi-fi. System zapewnia:

- łączność tekstową *peer-to-peer* lub grupową;
- szyfrowanie wiadomości (AES-256);
- niskie zużycie energii (do kilku dni pracy na jednej baterii);

² N.K. Suryadevara, A. Dutta, *Meshtastic Infrastructure-less Networks for Reliable Data Transmission to Augment Internet of Things Applications* [w:] *Wireless and Satellite Systems*, eds. Q. Guo, W. Meng, M. Jia, X. Wang, Springer, Cham 2022, s. 622–640, https://doi.org/10.1007/978-3-030-93398-2_55.

- możliwość integracji z mapami i GPS;
- otwarty dostęp do kodu źródłowego i dokumentacji.

Służy do niezależnej wymiany krótkich wiadomości tekstowych, współrzędnych GPS oraz danych telemetrycznych bez konieczności korzystania z Internetu, sieci komórkowych czy innych elementów infrastruktury zewnętrznej. Rozwiązanie to cieszy się rosnącą popularnością w środowiskach preppersów, służb ratowniczych, pasjonatów łączności terenowej, organizacji pozarządowych działających w warunkach kryzysowych, a także wśród entuzjastów technologii DIY i *open source*.

Podstawą działania Meshtastic są mikrokontrolery, najczęściej ESP32, zintegrowane z modułami radiowymi LoRa (np. SX1262 lub RFM95). Urządzenia te komunikują się w trybie *peer-to-peer* i samodzielnie budują zdecentralizowaną sieć typu mesh, w której każdy węzeł może przekazywać wiadomości innym użytkownikom. Architektura ta zapewnia dużą elastyczność i odporność na awarie, nawet w dynamicznych i trudnych warunkach terenowych. Oto jej podstawowe parametry techniczne:

- częstotliwości: 433 MHz / 868 MHz (Europa) / 915 MHz (Ameryka);
- moduł LoRa: SX1262 / SX1276 / RFM95 (w zależności od wersji);
- mikrokontroler: ESP32 (komunikacja Bluetooth / wi-fi + USB);
- zasilanie: ogniwa Li-Ion/Li-Po z możliwością ładowania przez USB lub panele słoneczne;
- interfejs użytkownika: aplikacja mobilna, interfejs webowy, CLI lub ekran OLED.

Użytkownicy mogą wysyłać i odbierać krótkie wiadomości tekstowe, nie mając dostępu do sieci GSM czy wi-fi. Wiadomości są przesyłane automatycznie między węzłami aż do momentu dostarczenia do adresata. System obsługuje szyfrowanie AES-256, zapewniając poufność komunikacji. Urządzenia wyposażone w moduł GPS mogą przysyłać dane o swojej pozycji geograficznej, umożliwiając śledzenie węzłów w terenie. Dane lokalizacyjne są wyświetlane w czasie rzeczywistym w aplikacji Meshtastic lub mogą być eksportowane do systemów GIS. Możliwe są następujące tryby pracy i integracje:

- *store and forward* – przekazywanie wiadomości przez pośrednie węzły;
- *bridge node* – z urządzeniami działającymi jako bramy do Internetu (np. integracje z MQTT, APRS, Discord, Telegram);
- *Node-RED / Home Assistant* – z automatyką domową lub systemami zarządzania kryzysowego.

Każde urządzenie Meshtastic może być skonfigurowane za pomocą CLI, pliku JSON lub aplikacji mobilnej. Parametry takie jak moc nadawania, długość wiadomości, kanał komunikacji, klucze szyfrujące czy interwał GPS są w pełni konfigurowalne.

Zastosowania praktyczne Meshtastic – analiza porównawcza

Kiedy dochodzi do katastrof naturalnych (powodzi, trzęsień ziemi, pożarów) i infrastruktura GSM przestaje działać, Meshtastic umożliwia utrzymanie łączności między zespołami ratowniczymi. Sieć może być błyskawicznie rozstawiona na dużym obszarze przy minimalnym nakładzie sprzętowym i energetycznym. Meshtastic znajduje zastosowanie podczas górskich wypraw, żeglugi, eksploracji jaskiń czy rajdów terenowych, gdy standardowa łączność (VHF/UHF, komórkowa) jest niedostępna. Dzięki GPS i mesh możliwe jest lokalizowanie uczestników i wysyłanie wiadomości w czasie rzeczywistym. System bywa wykorzystywany podczas ćwiczeń wojskowych, treningów strzeleckich i gier terenowych (np. *airsoft*), zapewniając niskoprofilową łączność szyfrowaną bez potrzeby stosowania radiotelefonów. W środowiskach prepperskich Meshtastic jest kluczowym elementem tzw. łączności awaryjnej (*emergency comms*). Organizacje humanitarne mogą wykorzystywać go do komunikacji w regionach pozbawionych infrastruktury.

W związku z przedstawionym problemem badawczym przeprowadzono analizę porównawczą najpopularniejszych systemów łączności, które mogą być wykorzystywane w łączności kryzysowej (tabela 1). Wynika z niej, że system Meshtastic jest z nich najlepszy, ponieważ nie wymaga dodatkowej infrastruktury, licencji, dostępu do Internetu. Ma natomiast funkcję szyfrowania wiadomości i stosunkowo duży zasięg, który można zwiększać poprzez instalację dodatkowych węzłów.

Tabela 1. Porównanie Meshtastic z innymi systemami łączności awaryjnej

System	Zasięg	Potrzeba infrastruktury	Szyfrowanie	Koszt	Licencja
Meshtastic (LoRa)	2–15 km	nie	tak	niski	nie
PMR (radiotelefony)	0,5–2 km	nie	nie	niski	nie
APRS	20–100 km	tak (bramki, sieć APRS)	nie	średni	tak
GSM/Internet	globalny	tak	tak	wysoki	tak
TETRA	kilkadziesiąt km	tak	tak	bardzo wysoki	tak

Źródło: opracowanie własne.

Choć Meshtastic nie jest przeznaczony do użytku bojowego, warto zestawzić jego cechy z parametrami rozwiązań wojskowych, takich jak TETRA, SINCGARS czy systemy SDR (*software defined radio*). Przeprowadzono analizę kart katalogowych produktów (tabela 2).

Tabela 2. Porównanie Meshtastic z profesjonalnymi systemami wojskowymi

Cecha	Meshtastic (LoRa)	TETRA	SINCGARS	SDR klasy wojskowej
Zakres częstotliwości	433/868/915 MHz	380–430 MHz	30–88 MHz	zmienny (HF/VHF/UHF)
Zasięg	2–15 km	do 30 km (w sieci)	do 10 km	zależny od konfiguracji
Tryb mesh	tak	tylko częściowo (przez stacje)	nie (dupleks + relay)	tak (zależy od modelu)
Szyfrowanie	AES-256	TEA2/AES	VINSON / NSA COMSEC	zaawansowane algorytmy
Koszt	niski (~150 zł za węzeł)	bardzo wysoki	bardzo wysoki	bardzo wysoki
Licencja i dostępność	<i>open source</i> , wolny dostęp	ograniczona, licencjonowana	wyłącznie dla wojska	tylko uprawnione instytucje
Potrzebna infrastruktura	brak	wymaga stacji bazowych	zorganizowana radiolinia	zależna od konfiguracji
Czas pracy na baterii	od kilkudziesięciu godzin do kilku tygodni	krótki (wysoka moc)	średni	krótki lub średni
Widoczność emisji (profil EM)	niska – mała moc, rozproszenie	średnia	wysoka	zmienna

Źródło: opracowanie własne na podstawie kart katalogowych produktów.

Bezpieczeństwo komunikacji w Meshtastic

Meshtastic oferuje podstawowy, lecz solidny poziom bezpieczeństwa transmisji danych. Najważniejszym elementem ochrony jest szyfrowanie AES-256, wykorzystywane do zabezpieczenia wiadomości przesyłanych w ramach sieci mesh. Klucze szyfrowania mogą być ustawiane manualnie lub automatycznie, co umożliwia tworzenie zamkniętych sieci z ograniczonym dostępem.

W praktyce oznacza to, że nawet jeśli osoba postronna odbierze sygnał radiowy, nie będzie w stanie odczytać treści wiadomości bez znajomości odpowiedniego klucza. Warto jednak zauważyć, że Meshtastic nie implementuje zaawansowanych funkcji odporności na atak typu *man-in-the-middle*, co może mieć znaczenie w środowiskach o podwyższonym ryzyku operacyjnym.

Co więcej, protokół LoRa, będący podstawą Meshtastic, cechuje się niską emisją radiową i długimi czasami nadawania, a to ogranicza możliwość wykrycia urządzeń za pomocą klasycznych narzędzi do wykrywania emisji radiowych³.

³ H. Ruotsalainen, G. Shen, J. Zhang, R. Fujdiak, *LoRaWAN Physical Layer-Based Attacks and Countermeasures: A Review*, „Sensors” 2022, vol. 22, no. 9: 3127, <https://doi.org/10.3390/s22093127>.

Studia przypadków zastosowania Meshtastic

Ukraina – łączność obywatelska w czasie wojny

W trakcie konfliktu zbrojnego w Ukrainie technologia Meshtastic została spontanicznie zaadaptowana przez lokalne grupy obrony terytorialnej, ratowników cywilnych oraz społeczności obywatelskie. Dzięki niej możliwe było utrzymywanie komunikacji między schronami, punktami medycznymi i patrolami bez potrzeby korzystania z sieci komórkowych. Urządzenia były często zasilane panelami słonecznymi lub powerbankami. Meshtastic został zintegrowany z systemem TAK⁴ (*Tactical Assault Kit*), co pozwala na śledzenie pozycji GPS jednostek w czasie rzeczywistym bez konieczności korzystania z Internetu czy sieci komórkowych. Użytkownicy w Ukrainie dostosowali urządzenia Meshtastic do pracy na niestandardowych częstotliwościach, co zwiększa ich odporność na zakłócenia i utrudnia wykrywanie ich przez przeciwnika.

Haiti – pomoc humanitarna po trzęsieniu ziemi

W 2021 r. po silnym trzęsieniu ziemi wiele obszarów Haiti zostało odciętych od świata. Organizacje humanitarne używały Meshtastic do organizowania logistyki, przesyłania informacji między zespołami ratunkowymi i lokalnymi mieszkańcami⁵. Prosta instalacja urządzeń, na drzewach i budynkach, umożliwiła szybkie zwiększenie zasięgu.

Australia – sieci sąsiedzkie podczas pożarów buszu

W czasie sezonowych pożarów w Australii (2019–2020) część społeczności zbudowała lokalne sieci Meshtastic, pozwalające informować się nawzajem o rozprzestrzenianiu się pożarów, zmianach kierunku wiatru i obecności służb ratunkowych. Systemy te działały niezależnie od Internetu, który w wielu regionach był przeciążony⁶.

⁴ K. Usbeck, M. Gillen, J. Loyall, A. Gronosky, J. Sterling, R. Kohler, K. Hanlon, A. Scally, R. Newkirk, D. Canestrare, *Improving Situation Awareness with the Android Team Awareness Kit (ATAK)* [w:] *Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security, Defense, and Law Enforcement XIV*, ed. E.M. Carapezza, 94560R, <https://doi.org/10.1117/12.2180014>.

⁵ P. Gardner-Stephen, R. Challans, J. Lakeman, A. Bettison, D. Gardner-Stephen, M. Lloyd, *The Serval Mesh: A Platform for Resilient Communications in Disaster and Crisis* [w:] *Proceedings of the Third IEEE Global Humanitarian Technology Conference GHTC 2013*, Danvers MA 2013, s. 162–166, <https://doi.org/10.1109/GHTC.2013.6713674>.

⁶ B. Herring, T. Sharp, T. Roberts, J. Fastier-Wooler, G. Kelly, O. Sahin, D. Thiel, D. Dao, P.L. Woodfield, *Underground LoRa Sensor Node for Bushfire Monitoring*, „Fire Technology” 2022, vol. 58, no. 3, s. 1087–1095, <https://doi.org/10.1007/s10694-022-01224-3>.

Konfiguracja i wdrożenie sieci Meshtastic

Budowanie sieci Meshtastic jest stosunkowo proste, a koszt jednego węzła to ok. 150–250 zł. Do uruchomienia systemu wystarczy:

- moduł LoRa (np. Heltec ESP32, TTGO T-Beam),
- oprogramowanie Meshtastic (do wgrania przez USB),
- aplikacja na telefon (Android/iOS) lub aplikacja desktopowa.

Połączenia między węzłami są nawiązywane automatycznie, nie trzeba ich manualnie zestawiać. Możliwe jest także dodanie modułów GPS, czujników środowiskowych oraz integracja z MQTT w celu transmisji danych przez Internet, jeśli jest dostępny. W zależności od topografii, tego, czy zostały użyte anteny zewnętrzne, a także od warunków atmosferycznych zasięg sieci wynosi 2–20 km pomiędzy węzłami. Zaleca się montaż co najmniej jednego węzła wysokościowego (np. na budynku, drzewie), aby poprawić propagację sygnału.

Podsumowanie

W dobie nasilających się zjawisk katastroficznych oraz rosnącego ryzyka przerw w funkcjonowaniu infrastruktury krytycznej rośnie zapotrzebowanie na niezależne i odporne systemy komunikacji. Przedstawiono analizę technologii Meshtastic – platformy *open source* umożliwiającej tworzenie zdecentralizowanych sieci komunikacyjnych z wykorzystaniem technologii LoRa. System ten umożliwia dwukierunkową komunikację tekstową oraz przesyłanie danych lokalizacyjnych bez konieczności posiadania dostępu do tradycyjnych sieci telekomunikacyjnych czy Internetu. Zaprezentowano podstawowe mechanizmy działania Meshtastic, jego architekturę, możliwości szyfrowania danych oraz potencjalne scenariusze użycia, zwłaszcza w warunkach ograniczonej infrastruktury. Szczególną uwagę zwrócono na wykorzystanie tej technologii w realnych działaniach taktycznych, czego przykładem jest używanie jej obecnie w Ukrainie. Przypadki praktycznego zastosowania Meshtastic przez ukraińskie siły zbrojne oraz formacje ochotnicze pokazują, że rozwiązania typu *open source* mogą skutecznie wspierać łączność operacyjną w warunkach zakłóceń, gdy tradycyjne kanały komunikacji zawodzą lub są niedostępne. Technologie takie jak Meshtastic mogą odgrywać istotną rolę w przyszłych systemach komunikacji kryzysowej, zarówno w kontekście militarnym, jak i cywilnym.

Bibliografia

- Gardner-Stephen P., Challans R., Lakeman J., Bettison A., Gardner-Stephen D., Lloyd M., *The Serual Mesh: A Platform for Resilient Communications in Disaster and Crisis* [w:] *Proceedings of the Third IEEE Global Humanitarian Technology Conference GHTC 2013*, Danvers MA 2013, s. 162–166, <https://doi.org/10.1109/GHTC.2013.6713674>.

- Heeger D., Garigan M., Tsiropoulou E.E., Plusquellic J., *Secure Energy Constrained LoRa Mesh Network* [w:] *Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks*, eds. L.A. Grieco, G. Boggia, G. Piro, Y. Jararweh, C. Campolo, Springer, Cham 2020, s. 228–240, https://doi.org/10.1007/978-3-030-61746-2_17.
- Herring B., Sharp T., Roberts T., Fastier-Wooler J., Kelly G., Sahin O., Thiel D., Dao D., Woodfield P.L., *Underground LoRa Sensor Node for Bushfire Monitoring*, „Fire Technology” 2022, vol. 58, no. 3, s. 1087–1095, <https://doi.org/10.1007/s10694-022-01224-3>.
- Meshtastic, <https://meshtastic.org> [dostęp: 1.052025].
- Ruotsalainen H., Shen G., Zhang J., Fajdiak R., *LoRaWAN Physical Layer-Based Attacks and Countermeasures: A Review*, „Sensors” 2022, vol. 22, no. 9: 3127, <https://doi.org/10.3390/s22093127>.
- Suryadevara N.K., Dutta A., *Meshtastic Infrastructure-less Networks for Reliable Data Transmission to Augment Internet of Things Applications* [w:] *Wireless and Satellite Systems*, eds. Q. Guo, W. Meng, M. Jia, X. Wang, Springer, Cham 2022, s. 622–640, https://doi.org/10.1007/978-3-030-93398-2_55.
- Usbeck K., Gillen M., Loyall J., Gronosky A., Sterling J., Kohler R., Hanlon K., Scally A., Newkirk R., Canestrare D., *Improving Situation Awareness with the Android Team Awareness Kit (ATAK)* [w:] *Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security, Defense, and Law Enforcement XIV*, ed. E.M. Carapezza, 94560R, <https://doi.org/10.1117/12.2180014>.
- Vakili A., Navimipour N.J., *Comprehensive and Systematic Review of the Service Composition Mechanisms in the Cloud Environments*, „Journal of Network and Computer Applications” 2017, vol. 81, s. 24–36, <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.01.005>.

Zastosowanie systemu Meshtastic w łączności kryzysowej

Streszczenie

W artykule omówiono potencjał wykorzystania systemu open source Meshtastic w sytuacjach kryzysowych, takich jak: działania wojenne, katastrofy naturalne, awarie infrastruktury, akcje ratownicze. Przedstawiono podstawowe zasady funkcjonowania urządzeń opartych na technologii LoRa, omówiono, jakie możliwości komunikacyjne zapewniają w warunkach, w których nie ma dostępu do sieci komórkowej i Internetu, oraz wskazano praktyczne zastosowania w realnych scenariuszach kryzysowych.

Celem pracy była analiza możliwości i skuteczności zastosowania systemu Meshtastic jako alternatywnego rozwiązania do zapewnienia łączności w sytuacjach kryzysowych, szczególnie w warunkach ograniczonego dostępu do tradycyjnych sieci telekomunikacyjnych. Podstawowym problemem badawczym było ustalenie, w jakim stopniu system Meshtastic może skutecznie wspierać łączność w sytuacjach kryzysowych, takich jak katastrofy naturalne, awarie infrastruktury telekomunikacyjnej czy działania ratownicze w trudno dostępnych terenach. Podstawową metodą badawczą była analiza literatury przedmiotu i dokumentacji technicznej urządzeń radiowych. Zastosowano także metodę eksperymentu terenowego – przeprowadzono testy działania sieci Meshtastic w różnych warunkach środowiskowych.

Słowa kluczowe: łączność kryzysowa, systemy open source, działania wojenne, katastrofy naturalne

*The Use of the Meshtastic System in Emergency Communication**Abstract*

This article discusses the potential use of the open source Meshtastic system in crisis situations such as warfare, natural disasters, infrastructure failures and or rescue operations. It presents the basic principles of devices based on LoRa technology, examines their communication capabilities in the absence of cellular networks and the internet and highlights practical applications in real-world crisis scenarios.

The objective of the article is to analyze the feasibility and effectiveness of using the Meshtastic system as an alternative solution for ensuring communication during emergencies, especially in conditions with limited access to traditional telecommunications networks. The core research problem is to answer the question: to what extent can the Meshtastic system effectively support communication in crisis situations such as natural disasters, telecommunications infrastructure failures and rescue operations in hard-to-reach areas? The primary research methods include an analysis of the relevant literature and technical documentation of radio devices. Additionally, the field experiment method was used – conducting tests of the Meshtastic network's performance in various terrain and environmental conditions.

Keywords: emergency communication, open source systems, warfare, natural disasters