

Przyrząd do wczesnego wykrywania zagrożenia metanowego w oparciu o odcinkowy pomiar stężenia metanu

PIOTR OSTROGÓRSKI^{id}, PRZEMYSŁAW SKOTNICZNY^{id}, MACIEJ JOŃCA

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

W artykule przedstawiono prototyp nowego urządzenia umożliwiającego monitorowanie zagrożeń gazowych w szczególności zagrożenia metanowego oraz zagrożenia spowodowanego nadmiernym stężeniem dwutlenku węgla w powietrzu. Zagrożenie metanowe wymaga kontroli poprzez właściwą profilaktykę do której zalicza się wykonywanie pomiarów stężenia metanu przyrządami indywidualnymi. Punktowe pomiary stężenia metanu służą zarówno do rutynowych kontroli w miejscach do tego wyznaczonych jak i do oceny źródła zagrożenia. Opracowano metanomierz przenośny służący do bieżącej oceny zagrożenia metanowego poprzez pomiar stężenia metanu wzdłuż odcinków pomiarowych. Wyposażono go w możliwość lokalizacji odcinka pomiarowego i algorytm wnioskowania o zagrożeniu. Przyrząd jest w fazie prototypowej oraz ma zaimplementowany algorytm „beacon” umożliwiający lokalizację.

Słowa kluczowe: zagrożenie metanowe, pomiar stężenia, metan, dwutlenek węgla, metanomierz

Wprowadzenie

Metanomierze indywidualne są podstawowym wyposażeniem służb pomiarowych kopalń. Biorą one udział w kontroli zagrożenia metanowego poprzez dostarczanie informacji o zagrożeniu w postaci danych pomiarowych stężenia metanu [1-4]. Wykorzystuje się je zwykle w sposób „celowany” tzn. mierząc stężenia metanu w wyznaczonych miejscach np. pod stropem, przy tamach izolacyjnych, w miejscach wzmoczonej emisji metanu, w ścianie pod przenośnikiem [5]. Podczas normalnego przejścia osób do lub ze stanowiska pracy przyrządy te noszone są przez górnika na szyi, przy pasie biodrowym lub na pasie torby narzędziowej. Jest to istotne z punktu widzenia pomiarowego, gdy przyrząd włączony samoczynnie wykonuje pomiar i rejestruje dane do pamięci. Na takim wykorzystaniu metanomierzy opiera się metoda odcinkowych pomiarów stężenia metanu. Mianowicie stężenia metanu mierzone są wzdłuż trasy przejścia osób i porównywane w rejestracjach innych osób oraz własnymi ze wcześniejszych okresów. Metoda ta została przedstawiona w materiałach z konferencji [6] oraz w sprawozdaniu z prac statutowych IMG PAN za rok 2020 [7]. Porównanie danych w metodzie pomiarów odcinkowych sprowadza się do wyznaczenia obszaru tolerancji stężenia ograniczonego funkcjami maksymalnych oraz minimalnych dopuszczalnych stężeń. Przekroczenie funkcji maksymalnych dopuszczalnych stężeń skutkuje stwierdzeniem wysokiego poziomu zagrożenia metanowego.

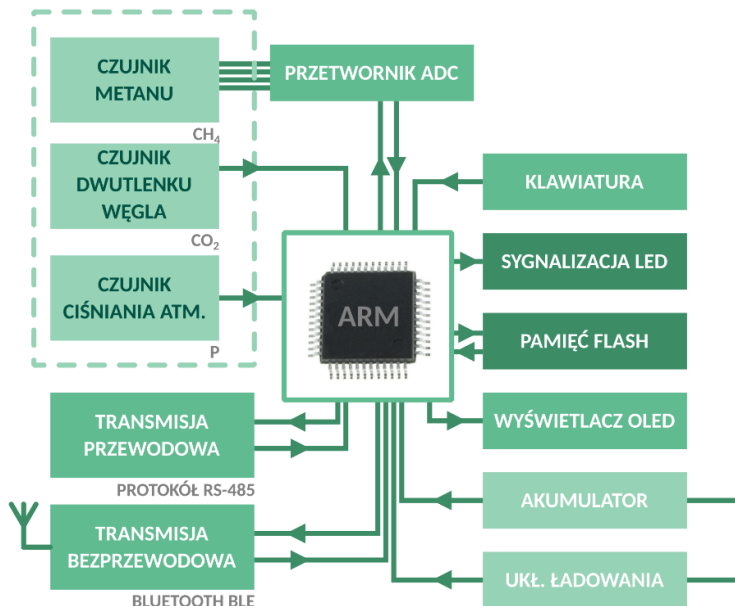
Do poprawnego rozpoznawania odcinków i podziału danych wymagana jest identyfikacja punktów końcowych odcinków pomiarowych. Fizycznie są one realizowane poprzez urządzenia zwane „beaconami” [8-10]. Beacony wysyłają sygnał radiowy wraz z ciągiem danych jednoznacznie identyfikujących punkt emisji sygnału. Urządzenia posiadające interfejs BLE (Bluetooth Low Energy [11,12]) zdolne są odebrać taki sygnał i zaznaczyć dane w pamięci przy których wystąpił sygnał końca odcinka. W dalszym etapie ciąg danych zostaje podzielony na części przypisane odcinkom.

Układ elektroniczny urządzenia

W ramach prac statutowych przygotowano i wykonano układ elektroniczny urządzenia MCHI-2038. Układ elektroniczny ma kilka zadań do wykonania:

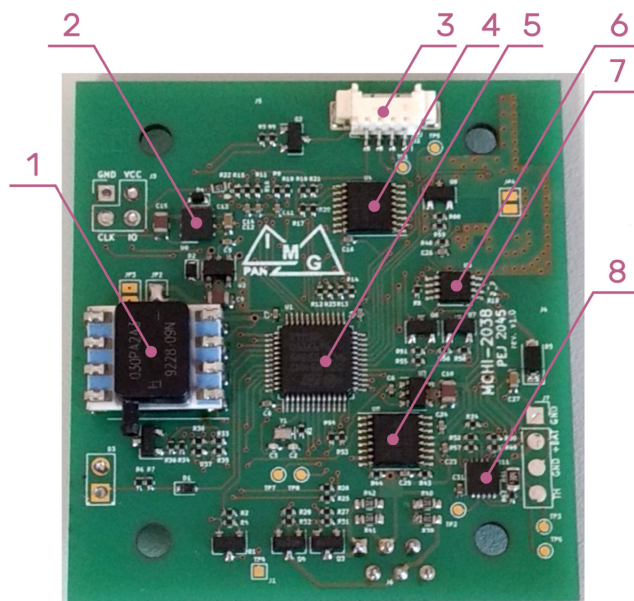
1. zasilanie i ładowanie akumulatora urządzenia,

2. obsługa modułu BLE,
3. pobieranie danych z czujników cyfrowych,
4. przetwarzanie danych z czujnika analogowego,
5. obsługa interfejsu komunikacji z użytkownikiem,
6. rejestracja danych.



Rys. 1. Schemat strukturalny urządzenia

Na rysunku (Rys. 1) przedstawiono schemat strukturalny urządzenia wraz z zaznaczonymi kierunkami przesyłu danych. Urządzenie oprócz transmisji bezprzewodowej posiada również możliwość transmisji przewodowej służącej do komunikacji z urządzeniem nadrzędnym w przypadku szczególnego sposobu działania tzn. jako moduł czujnikowy systemu przewodowego. Dzięki takiemu rozwiązaniu zapewniono kompatybilność nowego rozwiązania z rozwijanym systemem do pomiarów środowiskowych HSP2. Reasumując, urządzenie w swoim podstawowym zastosowaniu pracuje jako niezależny metanomierz indywidualny, posiada jednak możliwość pracy jako moduł systemu bezprzewodowego w innych zastosowaniach.



Rys. 2. Wygląd układu elektronicznego

Na zdjęciu (Rys. 2) przedstawiono wygląd wykonanego układu elektronicznego (PCB), na którym wyszczególnić można: 1 – czujnik ciśnienia absolutnego, 2 – stabilizator, 3 – złącze RS-485, 4 – multiplexer, 5 – mikrokontroler ARM, 6 – układ RS-485, 7 – przetwornik ADC, 8 – układ ładowania akumulatora.

Układ został uruchomiony zaprogramowany i przetestowany. Sprawdzono ładowanie i rozładowywanie akumulatora. Akumulator o pojemności 700 mAh starcza na 20 godzin pracy urządzenia.

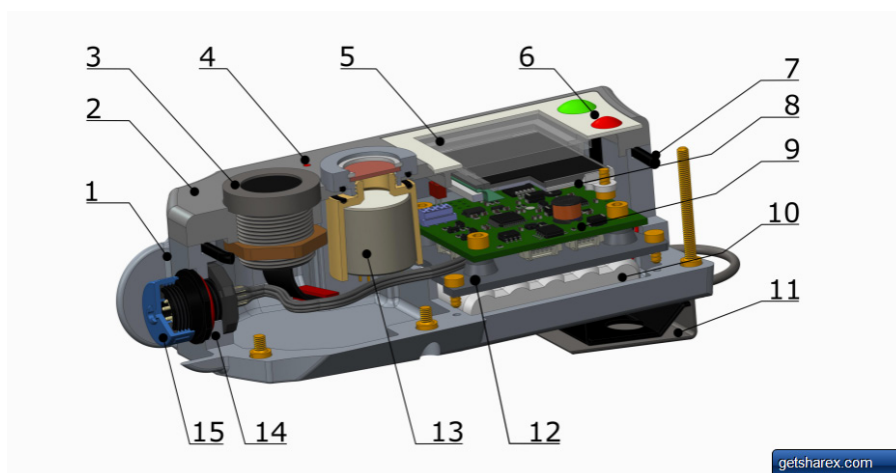
Wykonanie obudowy i złożenie

Obudowa urządzenia została wykonana techniką druku 3D. Górna część obudowy – pokrywa wykonana z materiału ASA (*Akrylonitryl-Styren-Akryl*) w technologii FDM (*Fused Deposition Modeling*). Dolna część obudowy – korpus wykonany został w technologii LFS (*Low Force Stereolithography*) gdzie materiałem jest płynna żywica fotonopolimerowa utwardzana wiązką lasera. Techniki te mają wiele zalet szczególnie na etapie prototypowania, kiedy to wykonanie obudowy na zamówienie było by bardzo kosztowne. Wykonywanie pojedynczych elementów obudowy pozwala na szybkie wykonanie testów np. szczelności czy ergonomii a następnie łatwe wprowadzanie poprawek do projektu.



Rys. 3. Urządzenie MCHI-2038

Na zdjęciu (Rys. 3) przedstawiono prototyp przyrządu pomiarowego MCHI-2038. Przyrząd jest wyposażony w dwa czujniki – metanu i dwutlenku węgla. Interfejs komunikacji z użytkownikiem stanowi klawiatura membranowa oraz wyświetlacz OLED. Urządzenie ma trzy przyciski przy czym tylko jeden z nich działa w trybie stand-by urządzenia.



Rys. 4. Podzespoły wewnętrzne urządzenia MCHI-2038

Na rysunku (Rys. 4) przedstawiono przekrój złożony całego urządzenia. Możemy wyszczególnić: 1 – podstawę obudowy, 2 – pokrywę obudowy, 3 – czujnik metanu, 4 – diodę sygnalizacyjną LED, 5 – szybę wyświetlacza, 6 – klawiaturę membranową, 7 – sznur uszczelniający, 8 – wyświetlacz OLED, 9 – układ elektroniczny główny, 10 – akumulator, 11 – klips, 12 – pokrywa baterii, 13 – czujnik dwutlenku węgla, 14 – złącze przewodowe do przesyłania danych i ładowania akumulatora, 15 – pokrywa złącza.

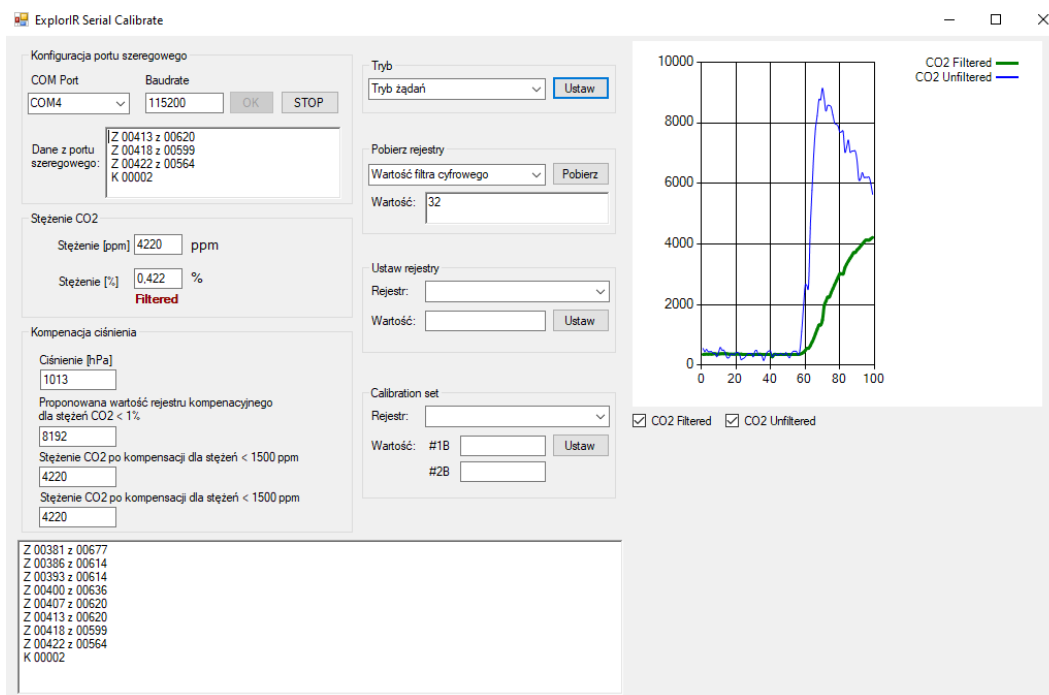
Czujniki

Urządzenie wykorzystuje trzy rodzaje czujników. Czujnik metanu, dwutlenku węgla i ciśnienia atmosferycznego. Czujnik metanu to czujnik pelistorowy [13] działający na zasadzie katalitycznego spalania w zakresie dolnej granicy wybuchowości (DGW) oraz na zasadzie termokondukto-metrycznej w zakresie górnej granicy wybuchowości (GGW). Kalibracja czujnika metanu odbywa się w wewnętrznym programie mikrokontrolera. Czujnik dwutlenku węgla to czujnik infraredowy pracujący w zakresie 0-60% CO₂. Dodatkowo zastosowano czujnik ciśnienia w celu kompensacji błędu pomiaru dwutlenku węgla.

Oprogramowanie

W zakresie obsługi czujnika dwutlenku węgla został napisany program komputerowy umożliwiający komunikację z czujnikiem ExplorIR za pomocą interfejsu szeregowego oraz jego kalibrację. Odczyt wartości stężenia dwutlenku węgla dokonywany jest w czasie rzeczywistym.

GUI programu umożliwia ustawienie jednego z trzech trybów czujnika oraz odczyt i zapis wartości rejestrów czujnika, w tym rejestrów kalibracyjnych.



Rys. 5. Okno programu do kalibracji czujnika dwutlenku węgla

Program (Rys. 5) wylicza również wartość kompensacji stężenia dwutlenku węgla w zależności od ciśnienia bezwzględne go ośrodka, w którym znajduje się czujnik. Program posiada okno tekstowe, w którym wyświetlane są wszystkie komendy przesyłane do i z czujnika przez interfejs szeregowy. Dane te, zostają zapisane do pliku z rozszerzeniem .csv, umożliwiając na zapisanie całego procesu kalibracji.

Do obsługi pamięci przygotowano skrypty w języku Python będące programami konsolowymi. Skrypt odczyt_flash.py odczytuje zawartość zewnętrznej pamięci typu flash urządzenia MCHI-2038, która w trakcie działania układu została zapisana. Dane te, w wyniku działania skryptu odczyt_flash.py, zostają zapisane w formacie szesnastkowym w zewnętrznym pliku .txt. Dzięki znormalizowanemu zapisowi do zewnętrznej

pamięci, może ona zostać zdekodowana przez kolejny skrypt – decode.py. Skrypt ten przyjmuje plik .txt będący wynikiem działania skryptu odczyt_flash.py. Wartości wcześniej zapisane w postaci szesnastkowej zostają zdekodowane do postaci tekstowej i zapisane w formie liczb w systemie dziesiętnym.

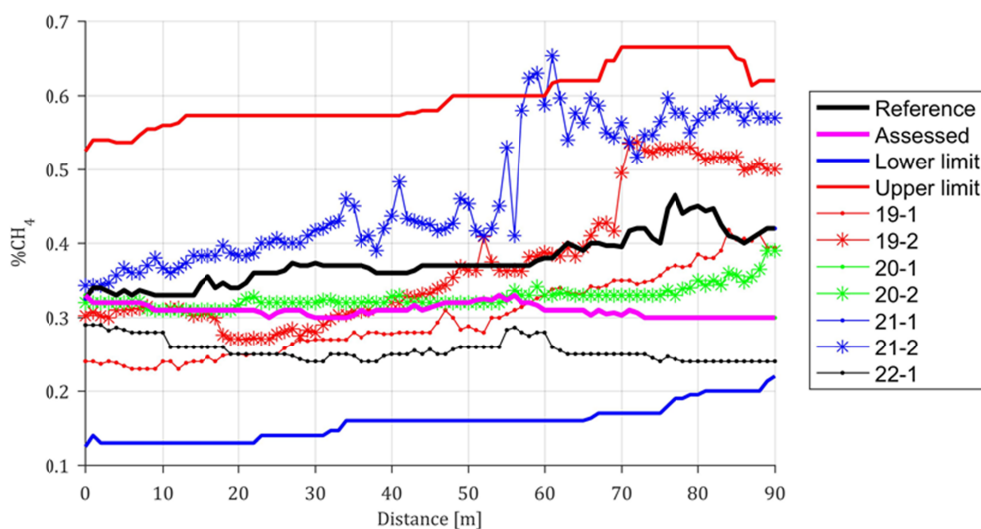
Algorytmy pracy urządzenia

Algorytmy wymiany danych pomiędzy urządzeniami oraz obsługi sygnałów z „beaconów” opierają się na transmisji bezprzewodowej typu BLE. Umożliwia to wymianę danych przy okazji nawiązania połączenia tworząc w ten sposób sieć typu Ad Hoc. Sieć tego typu nie posiada stałej infrastruktury a urządzenia w niej pracujące przesyłają między sobą dane w chwili nawiązania połączenia. Dowolne urządzenia mogą pracować jako urządzenia powtarzające sygnał (repeatery) pozwalając na przekazywanie danych do dalszych urządzeń.

Urządzenie gromadzi w pamięci dane pomiarowe, czas pomiaru oraz numer beacona jeżeli został on zauważony przez urządzenie. Na tej podstawie tworzone są serie pomiarowe i przypisywane odcinkom stanowiącym części bocznic sieci wentylacyjnej kopalni. Dla każdego z odcinków wybierany jest aktualny przebieg odniesienia wobec którego następuje ocena zagrożenia metanowego. Przebieg odniesienia jest następnie przekształcany z wykorzystaniem założonych tolerancji prędkości chodu osoby wykonującej pomiar oraz tolerancji zmian stężenia metanu rozumianej jako stała odchyłka od wartości maksymalnej przypisanej do danego metra odcinka.

W wyniku przekształceń przebiegu odniesienia otrzymuje się obwiednię górną i dolną, z której górna jest funkcją graniczą stwierdzenia wysokiego bądź niskiego poziomu zagrożenia.

Algorytm wymiany danych sprowadza się do uzupełniania danych w pamięci kolejnych urządzeń i aktualizowania danych odcinkowych. Szczegóły algorytmów są przedmiotem pracy doktorskiej autora. Implementacja algorytmów częściowo zastała zakończona, część algorytmów pracuje jako post processing danych zbieranych przez prezentowane urządzenie. W przyszłości autorzy zamierzają przeniesienie wszystkich algorytmów z post processingu do programu urządzenia.



Rys. 6. Przykład pracy algorytmów

Na wykresie (Rys. 6) przedstawiono przykład pracy algorytmów przygotowany w oparciu o skrypty programu Matlab wykonujące obliczenia na danych eksperymentalnych pozyskanych w wyniku wcześniejszych eksperymentów. Linia czerwoną zaznaczono górną granicę niskiego poziomu zagrożenia dla badanego odcinka, której przekroczenie skutkuje wskazaniem, przez algorytm pracy urządzenia, wysokiego poziomu zagrożenia. Linia niebieska to obwiednia wartości minimalnych.

Podsumowanie i wnioski

Wykonano prototyp urządzenia pomiarowego służącego do pomiaru stężenia metanu i stężenia dwutlenku węgla. Zaprojektowano i wykonano układ elektroniczny następnie przygotowano program. Wykonano

obudowę w postaci wydruku 3D dwiema technikami oraz zlecono wykonanie klawiatury membranową, następnie złożono i uruchomiono urządzenie. W zakresie pomiarów stężenia metanu zastosowaną innowacyjną metodę pomiaru odcinkowego stężenia metanu. Zastosowanie tej metody ma na celu zmniejszenie wpływu i zaangażowania osób wykonujących pomiar. Celem dalszym jest wieloczuJNIkowa autonomiczna sieć bezprzewodowa typu Ad Hoc zastępująca dotychczasowe proste rozwiązania oparte na ręcznym pomiarze stężenia gazów.

Praca została wykonana w roku 2021 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Badura H., Łukaszczyk Z., *Zarządzanie zagrożeniem metanowym w kopalniach węgla kamiennego*. Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji 2017, Vol. 6, iss. 7.
- [2] Łukaszczyk Z., *Zagrożenie metanowe – przegląd literatury*. Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji 2019, Vol. 8, iss. 1.
- [3] Potoczek H., Bojarski P., Kloc L., *Zagrożenie Metanowe Oraz Studium Kosztów Profilaktyki Metanowej w Latach 2012–2015 Na Przykładzie Wybranych Kopalń*. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polskiej Akademii Nauk 2017, 143-158.
- [4] Dziurzyński W., Wasilewski S., *Ocena zagrożenia metanowego w rejonie ściany na podstawie czujników gazometrii oraz symulacji komputerowej przepływu mieszaniny powietrza i metanu*. Przegląd Górniczy 2012, T. 68, nr 12.
- [5] Projekt Strategiczny: Poprawa Bezpieczeństwa Pracy w Kopalniach. Zadanie 3: Opracowanie Systemu Gazometrycznego Powodującego Natychmiastowe Wyłączenie Energii Zasilającej Maszyny i Urządzenia w Przypadku Nagłego Wypływu Metanu Ze Zrobów Do Wyrobisk Eksploatacyjnych. Sprawozdanie z Projektu. 2012.
- [6] Ostrogórski P., *Sieć Ad Hoc Złożona z Metanomierzy Indywidualnych – Modelowanie i Symulacja*. In; 2019.
- [7] Ostrogórski P., Skotniczny P., Jońca M., Zmudzinski V., *Sprawozdanie z Prac Statutowych IMG PAN Podzadanie 2.6 2020*.
- [8] Sichertiu M.L., Ramadurai V., *Localization of Wireless Sensor Networks with a Mobile Beacon*. 2003.
- [9] Baek J., Choi Y., Lee C., Suh J., Lee S., *BBUNS: Bluetooth Beacon-Based Underground Navigation System to Support Mine Haulage Operations*. Minerals 2017, 7, 228. DOI: <https://doi.org/10.3390/min7110228>
- [10] Park S., Choi Y., *Bluetooth Beacon-Based Mine Production Management Application to Support Ore Haulage Operations in Underground Mines*. Sustainability 2021, 13, 2281. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13042281>
- [11] Woolley M., *Bluetooth Core Specification v5.1*. 12.
- [12] Snellman H., Savolainen M., Knaappila J., Rahikkal P., *Bluetooth 5, Refined for the IoT*. Silicon Labs 2016.
- [13] Sensor Gaz – Producent pellistorów i komór pomiarowych. Available online: <http://sensorgaz.com.pl/sg-xyz/> (accessed on 15 November 2021).

Device for early detection of methane hazard based on measurements of methane concentration over section of route

Abstract

The article presents a prototype of a new device enabling the monitoring of gas hazards, in particular methane hazard and the hazard caused by excessive carbon dioxide concentration in the air. The methane hazard requires control through appropriate proactive activities, which includes measuring the concentration of methane with individual devices. Point measurements of methane concentration are used both for routine inspections in designated places and for the assessment of the source of the hazard. A portable methane meter was developed for the ongoing evaluation of methane hazard by measuring the concentration of methane along the measurement sections. It is equipped with the possibility of locating the measurement by sections and the algorithm of inference about the hazard level. The device is in the prototype stage and has an implemented „beacon” algorithm enabling localization.

Keywords: methane hazard, concentration measurement, methane, carbon dioxide, methane meter