

Internet of Things (IoT) – LoRaWAN w praktyce

Internet of Things (IoT) – LoRaWAN in practice

Tomasz Lipka

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Internet rzeczy (*Internet of Things* – IoT) jest koncepcją informatyczną polegającą na połączeniu materialnych przedmiotów ze sobą oraz z Internetem. Zdefiniowanie tego terminu jest skomplikowane. Zdecydowana większość ludzi, słysząc termin „Internet rzeczy” wyobraża sobie smartfony czy komputery, jednak świat IoT jest zdecydowanie szerszy. Po raz pierwszy termin ten został użyty w 1999 roku przez Kevina Ashtona, eksperta w dziedzinie innowacji cyfrowych, jednak dopiero po kilkunastu latach idea ta została potraktowana poważnie. Obecnie niemal każdy z otaczających nas przedmiotów może być wyposażony w chip umożliwiający mu łączność z Internetem. Ideą Internetu rzeczy jest to, że ma on obejmować wszystkie przedmioty mogące zostać podłączone do globalnej sieci. W artykule omówiono zagadnienia związane z niskoenergetyczną rozległą siecią LoRaWAN, która została stworzona na potrzeby komunikacji Internetu rzeczy. Opisano architekturę sieci oraz jej najbardziej charakterystyczne cechy. Zestawiono dostępne kanały transmisyjne dla poszczególnych regionów oraz opisano składowe wyrażenia pozwalające na dobór odpowiednich parametrów transmisji do wymagań aplikacji. W dalszej części artykułu przedstawiono praktyczną realizację Internetu rzeczy z wykorzystaniem standardu LoRaWAN na przykładzie systemu do archiwizacji odczytu impulsów z liczydła gazomierza miechowego. Opisano budowę urządzenia oraz zasadę jego działania. W treści artykułu zawarto wyniki testu mającego na celu sprawdzenie poprawności transmisji danych z nadajnika impulsów do serwera sieciowego, dowodząc tym samym prawidłowości działania wykonanego systemu. Przedstawiono przykładowe zastosowanie aplikacyjne stworzonego modułu celem optymalizacji zużycia gazu. Dodatkowo zaprezentowano wyniki sprawdzenia maksymalnego zasięgu zbudowanego systemu. Stwierdzono poprawność przesyłania danych na odległości rzędu 690 metrów w terenie miejskim oraz 915 metrów w obszarze z zabudową domów jednorodzinnych.

Słowa kluczowe: Internet rzeczy (IoT), LoRa, LoRaWAN, The Things Network, gazomierz miechowy, zdalny odczyt.

ABSTRACT: Internet of Things (IoT) is an IT concept consisting in connecting material objects both together and to the internet. This term is complicated to define. Most people associate this term with smartphones or computers, but the world of IoT is definitely wider. IoT was used for the first time in 1999 by Kevin Ashton, who is an expert in technical solutions, but it took more than a decade for people to take this idea seriously. Currently, almost all of the elements surrounding us can be equipped with a chip that allows them to connect to the Internet. The idea of the IoT is that it should encompass all the items that can be connected to the global network. This article firstly discusses issues related to the low-power wide-area LoRaWAN network, which was created for the needs of communication with IoT. Next, the network architecture and its characteristic features are described, followed by a list of available transmission channels for individual regions and description of components of expressions allowing to select the transmission parameters for the application requirements. Next, the article describes practical implementation of IoT with the use of LoRaWAN standard on the example of a system for archiving impulse readings from gas meter index of a bellows gas meter. Finally, this article describes the construction of the device and the principle of its operation. Most importantly, the results of the test aimed at checking the correctness of data transmission from the pulse transmitter to the network server, proving the correct operation of the system, were given in this article. This article also presents an example of the implementation for the module built aimed at the optimization of gas consumption. The results of checking the maximum range of the system built were also given. This correctness of data transmission at a distance of 690 meters in urban areas and 915 meters in the area with single-family houses was found.

Key words: Internet of Things (IoT), LoRa, LoRaWAN, The Things Network, gas meter, remote reading.

Wprowadzenie

Internet rzeczy – IoT (Internet of Things) przeniósł się z fikcji do rzeczywistości, sprawiając, że pomysły jutra są dzisiaj

technicznie możliwe do implementacji. Ograniczeniem są jedynie koszty oraz zapotrzebowanie na energię, chociaż tutaj z pomocą przychodzą odnawialne źródła energii. Internet rzeczy opiera się na integracji wszelkiego rodzaju procesów,

Autor do korespondencji: T. Lipka, e-mail: tomasz.lipka@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 19.11.2019 r. Zatwierdzono do druku 29.01.2020 r.

umożliwiają na dużą skalę innowację technologiczną, która personalizuje interakcję użytkownika z rzeczami materialnymi. IoT przyczynia się do jeszcze większego poszerzenia możliwości wykorzystania Internetu w życiu codziennym nie tylko ludzi, ale również inteligentnych autonomicznych urządzeń czy całych aglomeracji miejskich. Co prawda inteligentne sieci działają już od prawie dekady, jednak stworzone zostały przy wykorzystaniu tradycyjnych technologii przewodowych lub bezprzewodowych krótkiego zasięgu. Wykonywanie operacji zdalnej kontroli czy wymiany danych w ramach IoT wymaga połączenia urządzeń z serwerami sieciowymi. Połączenie przewodowe na szeroką skalę z różnych przyczyn nie może być wykorzystywane, a stosowanie istniejących sieci komórkowych może w wielu przypadkach okazać się nieopłacalne. Konieczne zatem było stworzenie standardów z myślą o rozwiązaniach IoT (Mekki et al., 2019). Idealnie do tego celu nadają się technologie szerokopasmowej sieci małej mocy (ang. *low-power wide area network*, LPWAN). Jednak pomimo ogromnego postępu nadal uważa się, że Internet rzeczy wciąż znajduje się w początkowej fazie rozwoju (Čolaković i Hadžialić, 2018). Wydaje się, że idealnym miejscem do zastosowania rozwiązań IoT będzie system rozliczeniowy. W przypadku zużycia gazu ziemnego przez odbiorców, którzy nie posiadają systemów telemetrycznych, zużycie wyznaczane jest na podstawie odczytów dokonywanych przez inkasentów (Gacek i Jaworski, 2018). Zastosowanie najnowszych standardów komunikacji przeznaczonych do rozwiązań IoT może przyczynić się do większego rozwoju zdalnego odczytu gazomierzy. W poniższym artykule zawarto opis wykorzystania sieci LoRaWAN na przykładzie prostego układu zliczającego impulsy z gazomierza z transmisją LoRa. Może on stanowić potwierdzenie możliwości stworzenia kompleksowego systemu do zdalnego rozliczania odbiorców.

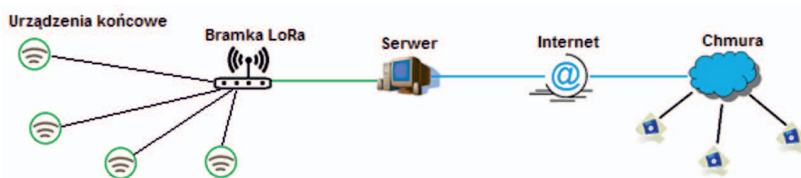
Inteligentne gazomierze

Nieodłącznym atrybutem sieci gazowych oraz całego systemu rozliczeniowego w systemie dystrybucji gazu jest gazomierz. Przed wprowadzeniem do obrotu typoszereg gazomierza musi przejść badania polegające na ocenie zgodności. Ma ona na celu wykazanie przez producenta, że jego produkty spełniają wymagania. Szereg badań oraz wymagania stawiane przed wyrobami zostały szczegółowo opisane w artykułach Gacka (2014), Kułagi (2015), Jaworskiego i Swat (2016) oraz Kułagi i Jaworskiego (2016). Jednym z nich jest badanie trwałości gazomierzy w temperaturze zbliżonej do 20°C przy strumieniu Q_{max} przez 5000 h z wykorzystaniem gazu ziemnego. Drugą metodą (dla gazomierzy od G1,6 do G6) jest cykliczna trwałość na powietrzu w czasie 450 000 cykli (2000 h).

W trakcie badania dla obydwu typów trwałości dokonuje się sprawdzenia błędów wskazań gazomierzy oraz straty ciśnienia. W przypadku gazomierzy z liczydłem elektronicznym niezwykle istotne jest spełnienie wymagań związanych z zaburzeniami elektromagnetycznymi (EMC). Po testach błędy gazomierza powinny mieścić się w zakresie błędu dopuszczalnego (MPE) oraz posiadać zabezpieczenia wszystkich funkcji pomiarowych, tak aby można było odzyskać wszystkie dane pomiarowe otrzymane przed wprowadzeniem zaburzeń. Dodatkowo INiG – PIB wyszedł z inicjatywą stworzenia dodatkowych wymagań dla gazomierzy miechowych, których spełnienie potwierdzone zostaje certyfikatem Q INiG (Jaworski et al., 2018b). Obecnie gazomierze miechowe są najczęściej spotykanym rodzajem gazomierzy montowanych do opomiarowania zużycia gazu u odbiorców indywidualnych. Pomiar zużycia gazu w tego typu urządzeniach oparty jest na mechanicznych działaniach. Opróżnianie się komór wewnątrz obudowy powoduje poruszenie mechanizmu, który poprzez sprzęgło magnetyczne wprawia w ruch liczydło gazomierza (Matusik i Jaworski, 2017). W niektórych krajach gazomierze miechowe powoli są wypierane przez gazomierze ultradźwiękowe (Dudek i Jaworski, 2017). Na działanie tego typu urządzeń pomiarowych istotny wpływ może mieć obecność w gazie niektórych związków. Duża zawartość ditlenku węgla czy wodoru w mierzonej mieszaninie gazu może zaburzać pomiar w związku z efektem absorpcji akustycznej (Kułaga, 2017). Na rynku dostępne są również gazomierze termiczne, jednak jedną z bardziej istotnych wad tych gazomierzy stanowi ich kalibracja, która jest wykonywana na gazie o danym składzie. Jeśli skład mierzonego gazu będzie się różnił od składu gazu, dla którego przeprowadzono kalibrację, to mogą pojawić się problemy z dokładnością pomiarów (Jaworski et al., 2018a). W przypadku gazomierzy miechowych skład gazu nie ma aż takiego znaczenia, co opisują autorzy na przykładzie dodatku wodoru do gazu ziemnego (Jaworski et al., 2019). Systematyczne wprowadzanie najnowszych rozwiązań sieci gazowych z myślą o zdalnym odczycie oraz możliwości zdalnego zarządzania siecią dało impuls do wyposażenia gazomierzy w funkcjonalność zdalnej transmisji danych. Wystarczy do tego zmiana mechanicznego liczydła na liczydło elektroniczne bądź też dodatkowe moduły elektroniczne montowane na gazomierz. Zwykle gazomierze z liczydłem elektronicznym posiadają dodatkowe funkcje pozwalające na sterowanie zaworem czy też umożliwiają realizację systemu przedpłatowego. Komunikacja odbywa się za pomocą modułów radiowych lub modułu GSM (Kułaga, 2014). W związku z pojawieniem się nowych standardów komunikacji bezprzewodowej przeznaczonych do rozwiązań IoT istnieje szansa zastąpienia modułów GSM innymi rozwiązaniami transmisji danych.

LoRaWAN – charakterystyka

Wiodącą technologią szerokopasmowych rozległych sieci małej mocy jest z pewnością LoRaWAN. Standard ten został zaprojektowany z myślą o bezprzewodowej komunikacji z „rzeczami” zasilanymi bateryjnie. Rozwijaniem oraz utrzymywaniem specyfikacji LoRaWAN zajmuje się otwarte stowarzyszenie LoRa Alliance. Standard ten zawiera funkcje umożliwiające bezprzewodową dwukierunkową komunikację, a jego optymalizacja została wykonana pod kątem maksymalnego oszczędzania energii (LoRa Alliance – LoRaWAN; Karbowniczek, 2019). LoRaWAN korzysta z modulacji rozproszonego widma CSS (*chirp spread spectrum*), które do tej pory stosowane było w technologiach wojskowych oraz kosmicznych. Pozwala to na utrzymanie charakterystyki małej mocy oraz na zwiększenie zasięgu transmisji przy zachowaniu wysokiej odporności na zakłócenia. LoRaWAN wykorzystuje nielicencjonowane pasmo częstotliwości (ISM 433 MHz, 868 MHz oraz 915 MHz).



Rys. 1. Przykładowa sieć LoRaWAN

Fig. 1. Sample LoRaWAN network

Standard LoRaWAN może być stosowany zarówno w urządzeniach ze stałym źródłem zasilania, jak i w urządzeniach mobilnych. W przypadku zasilania bateryjnego zakłada się, że powinno ono działać przez około 10 lat bez wymiany baterii. Oczywiście czas ten uzależniony jest od temperatury otoczenia urządzenia oraz od częstotliwości wysyłania przez nie komunikatów. Architektura sieci LoRaWAN rozmieszczona jest według topologii gwiazdy (rys. 1). Pakiety wysyłane przez urządzenia końcowe muszą zostać przekazane do bramek połączonych z serwerem głównym. Połączenie bramek z serwerem realizowane jest za pomocą standardowego połączenia IP. Komunikacja w całej sieci może przebiegać w obu kierunkach, jednak dominującym ruchem pakietów powinna być transmisja z urządzenia końcowego do serwera, a nie odwrotnie. LoRaWAN posiada zaimplementowany schemat ADR (*Adaptive Data Rate*), pozwalający na kompromis pomiędzy prędkością transmisji, a zasięgiem i długością przesyłanej wiadomości. W związku z tym, że sieć LoRaWAN jest asynchroniczna, to węzły sieci nie muszą przechodzić procesu synchronizacji, dzięki czemu zaoszczędzono sporo energii. Transmisja pakietów odbywa się wtedy, gdy dane są gotowe do wysłania, niezależnie od rodzaju zdarzenia (planowane, nieplanowane).

Ze względu na różny charakter pracy urządzeniom końcowym LoRaWAN można przypisać trzy różne profile działania, które stanowią kompromis pomiędzy żywotnością baterii a opóźnieniami w komunikacji. Do klasy A można przypisać urządzenia najbardziej energooszczędne, posiadające największe opóźnienia w transmisji. Do klasy B zalicza się aparaturę zasilaną bateryjnie z kontrolowanymi opóźnieniami w transmisji, natomiast do klasy C przypisane zostają urządzenia zasilane sieciowo, które mogą cały czas nasłuchiwać. W klasie C występują najmniejsze opóźnienia w komunikacji, ale też największe zapotrzebowanie na energię (rys. 2).

Urządzenia końcowe wysyłają wiadomości, które przekazywane są przez bramkę do serwera sieciowego. Po każdym pakiecie otwierane są dwa okna odbioru. Pierwsze z nich (RX1) otwierane jest w czasie 1 sekundy ($\pm 20 \mu s$) po zakończeniu transmisji, natomiast drugie (RX2) w czasie 2 sekund ($\pm 20 \mu s$). Obydwa okna odbioru powinny być odpowiednio długie, tak aby urządzenie mogło wykryć nadchodzącą wiadomość. W przypadku poprawnego wykrycia pakietu odbiornik radiowy pozostaje włączony do momentu zakończenia dekodowania odebranej ramki. Jest to jedyna forma nawiązania komunikacji od serwera sieciowego do węzła końcowego. W przypadku LoRaWAN nie da się w dowolnym momencie wysłać wiadomości do urządzenia.

Dla LoRaWAN zostały zatwierdzone kanały częstotliwości dla poszczególnych regionów



Rys. 2. Wpływ opóźnień transmisji na żywotność baterii

Fig. 2. Impact of transmission delays on battery life

(tabela 1). Zawarte one są w dokumencie *Regional Parameters* (LoRa Alliance, 2017) wraz ze specyficznymi parametrami radiowymi węzłów końcowych dla każdego z regionów. Dla Europy zostało przydzielone pasmo ISM zdefiniowane przez ETSI (Standard Europejski, 2012). Instytucja ta narzuca pewne ograniczenia na parametry transmisji. W przypadku pasma EU868 MHz urządzenia końcowe nie mogą promieniować z mocą większą niż +14 dBm, a maksymalny czas, w którym

Tabela 1. Kanaly oraz pasma częstotliwości dla wybranych regionów
Table 1. Channels and frequency bands for selected regions

Kraj	Pasmo/kanaly	Plan kanału
	[MHz]	
Polska	433,05–434,79 863–873 918–921	EU433 EU863-870 Inne
Japonia	920,6–928,0 928,8–927,8	AS923 AS923
USA	902–928	US902-928, AU915-928
Australia	915–928	AU915-928, AS923

urządzenie będzie zajmować dany kanał, jest ograniczony do 1% dziennie w przypadku nielicencjonowanego pasma częstotliwości, a właśnie takie występuje w tym przypadku. Węzły końcowe muszą być zdolne do pracy w zakresie częstotliwości od 863 MHz do 870 MHz i mają mieć zaimplementowane parametry dla co najmniej 16 kanałów. Wybór kanału wykonywany jest pseudolosowo dla każdej transmisji (Adelantado et al., 2017).

Modulacja sygnału w standardzie LoRaWAN jest uzależniona od trzech parametrów: BW, SF, CR. Składniki te mają wpływ na maksymalny zasięg, a także przepustowość łącza, wyrażoną zależnością:

$$R_b [b/s] = SF \cdot \frac{CR \cdot BW [Hz]}{2^{SF}}$$

Parametry te przyjmują wartości z zakresów:

- BW: 7,8 kHz, 10,4 kHz, 15,6 kHz, 20,8 kHz, 31,25 kHz, 41,7 kHz, 62,5 kHz, 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz;
- SF: 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12;
- CR: 4/5, 4/6, 4/7, 4/8.

Szerokość pasma (BW – ang. *bandwidth*) to zakres częstotliwości w paśmie transmisji. Zwiększenie parametru powoduje wzrost szybkości transmisji oraz zmniejszenie czułości, natomiast zmniejszenie wartości BW prowadzi do zwiększenia czułości kosztem niższej szybkości transmisji.

Współczynnik rozprzestrzeniania (SF – ang. *spreading factor*) pozwala na regulację stosunku sygnału do szumu (SNR). Zwiększenie wartości współczynnika SF zwiększa SNR, co skutkuje zwiększeniem czułości oraz zasięgu. Zmniejszenie SF powoduje obniżenie prędkości transmisji, a tym samym zwiększenie zapotrzebowania na energię.

Szybkość kodowania (CR, ang. *code rate*) ma na celu zapewnienie ochrony przed zakłóceniami. Im wyższy CR, tym zapewniona jest lepsza ochrona, ale odbywa się to kosztem czasu ramki w powietrzu (Bor et al., 2016).

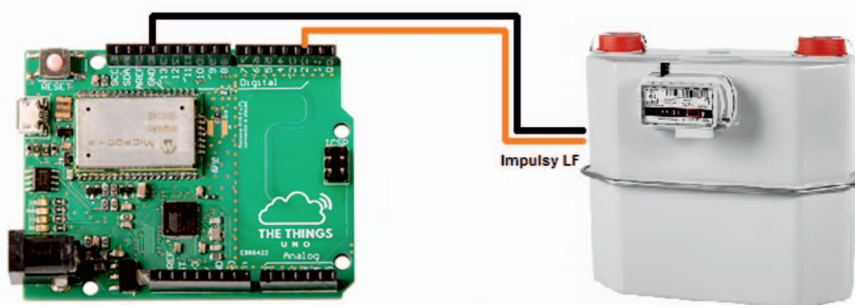
Według danych z 17 kwietnia 2019 roku sieć LoRaWAN tworzyło 68 845 członków ze 137 państw, a utworzonych zostało 6855 bramek dostępowych. W dniu 4 listopada 2019 roku The Things Network zrzeszała już 89 441 członków i posiadała 9486 bramek dostępowych ze 147 państw z całego świata (The Things Network).

Podstawowe cechy sieci LoRa to:

- łatwość w instalacji;
- korzystanie z nielicencjonowanego pasma częstotliwości (169, 433, 868 MHz – Europa);
- prędkość przesyłania danych < 50 kb/s;
- otwarta technologia, brak opłat;
- urządzenia nie wymagają instalacji karty SIM;
- transmisja w trybie półdupleks;
- ekonomiczność;
- dwukierunkowa transmisja;
- bezpieczeństwo.

Budowa i testy sieci LoRa

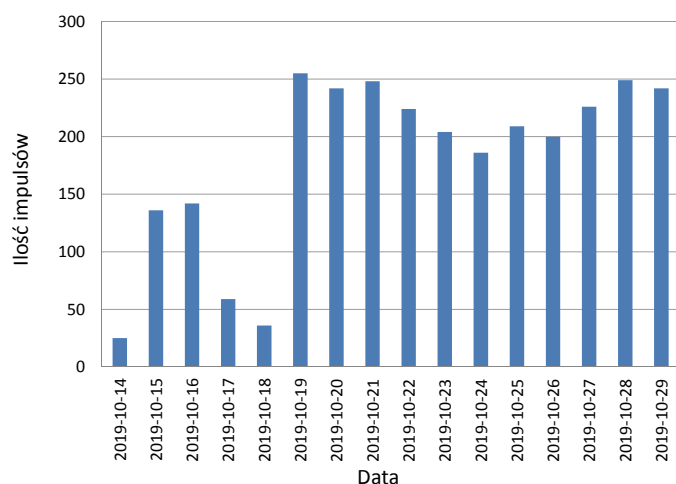
W związku z tym, że sieci LoRaWAN mogą być tworzone przez organizacje non-profit oraz użytkowników prywatnych z wykorzystaniem dostępnych urządzeń (Ministerstwo Cyfryzacji, 2019), w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym zaprojektowano oraz wykonano testową sieć LoRaWAN. Zbudowany system na bazie sieci ma na celu prowadzenie zdalnego odczytu stanu liczydła gazomierza miechowego z wykorzystaniem nadajnika impulsów LF. Podobne urządzenie do odczytu impulsów zostało zaprezentowane w artykule Matusika (2018), z tym że tam nie wykorzystywano transmisji bezprzewodowej. Na potrzeby budowy urządzenia zliczającego impulsy podłączono nadajnik LF z gazomierza miechowego do komputera jednopłytkowego TTN-UNO868 z wbudowanym modułem RN2483 (rys. 3). Zadaniem tego układu jest zliczanie impulsów generowanych przez liczydło gazomierza oraz transmisja z wykorzystaniem standardu LoRaWAN.



Rys. 3. Połączenie gazomierza z układem TTN-UNO868

Fig. 3. Gas meter connection to the TTN-UNO868

Zarejestrowane liczby impulsów wysyłane są do bramki sieciowej TTN-GW868, która zintegrowana jest z dyskiem DataStorage. Platforma ta pozwala na dostęp do archiwizowanych danych za pomocą poleceń API. Nawiązanie połączenia z dyskiem DataStorage wymaga uruchomienia lokalnego serwera oraz napisania poleceń pozwalających na odczytanie danych oraz zapisanie ich w lokalnej bazie danych MySQL. Odczytywane dane można zapisywać do tablicy i przydzielać do odpowiednich kolumn z zawartością czasu, liczbą impulsów oraz numerem seryjnym gazomierza. Tablica z zapisanymi wartościami przechowywana jest w bazie MySQL. Podczas ładowania danych do bazy następuje sprawdzenie, czy dany wiersz nie został wcześniej zapisany. Filtrowanie to odbywa się po zmiennej „czas”. W przypadku gdy dane widnieją już w tablicy, nie są do niej ponownie wpisywane. Dostęp do tablicy możliwy jest poprzez narzędzia do zarządzania bazą danych. Wykorzystano do tego celu phpMyAdmin, umożliwiający eksport bazy danych do pliku, a także wizualizację w postaci wykresów. Działanie urządzenia testowano przez 16 dni przy transmisji danych wykonywanej jeden raz dziennie. Urządzenie transmitujące wysyła na serwer liczbę impulsów, którą w prosty sposób można później przeliczyć na ilość zużytego gazu. Po wykonaniu poprawnej transmisji danych licznik impulsów komputera jednopłytkowego jest zerowany, w związku z czym zliczanie rozpoczyna się od zera. Oprogramowanie komputera jednopłytkowego zostało napisane z wykorzystaniem środowiska Arduino IDE, które jest wolnym oprogramowaniem (Badowski, 2011). Liczby zarejestrowanych impulsów zostały przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Liczby zarejestrowanych impulsów z gazomierza
Fig 4. The number of recorded pulses from the gas meter

Do testów wykorzystano gazomierz mechaniczny z liczydłem mechanicznym o stałej impulsów $LF = 0,01 \text{ m}^3$. Testy układu pomiarowego wykonano poprzez podłączenie do gazomierza dmuchawy z falownikiem, która generowała przepływ

powietrza przez gazomierz, powodując zmianę wskazania liczydła. Na króćcu wylotowym zamontowano zasuwę umożliwiającą zmianę strumienia. Przez okres trwania testu zarejestrowano 2883 impulsy, co przy wadze impulsu równej $0,01 \text{ m}^3$ daje zużycie gazu wynoszące $28,83 \text{ m}^3$. Dodatkowo dokonano odczytu wskazania liczydła przed rozpoczęciem testów oraz na zakończenie i zmierzone zużycie wyniosło $28,83 \text{ m}^3$, co dowodzi poprawności działania układu zliczającego impulsy oraz poprawności transmisji odczytanych impulsów (rys. 5).

START: 00000,00 m^3
STOP: 00028,83 m^3

Rys. 5. Wskazanie liczydła gazomierza
Fig. 5. Indication of the gas meter

Wykonane urządzenie wraz ze zintegrowanym systemem archiwizacji danych może stanowić lokalną alternatywę dla inteligentnych gazomierzy posiadających funkcję zdalnego odczytu i sterowania zaworem (Kułaga, 2014). Stworzony moduł można w prosty sposób podłączyć do gazomierza mechanicznego z liczydłem mechanicznym, przekształcając go niejako w inteligentny gazomierz. Transmitowane dane mogą posłużyć do prowadzenia statystyk przez użytkownika i tym samym do optymalizacji zużycia przez niego gazu. Rejestrowane dane mogą być przechowywane w chmurze obliczeniowej, dzięki czemu może być do nich dostęp z dowolnego miejsca o dowolnej porze. Stworzenie interfejsu przeglądarkowego zapewni dostęp do zasobów za pośrednictwem przeglądarki internetowej (Dietrich, 2016).

Wykonany system do archiwizacji wskazań gazomierza uzyskuje zasięg blisko 690 metrów w zabudowie budynków 4-piętrowych przy zastosowaniu modułu z wbudowaną anteną. W przypadku terenu niezabudowanego otrzymano zasięg około 915 metrów.

Podsumowanie

Zaprezentowana w niniejszym artykule sieć LoRaWAN jest stosunkowo nowa i przeznaczona do bezprzewodowej transmisji danych. W niektórych krajach została ona wdrożona na znacznych obszarach, ale są jeszcze kraje, w których standard ten jest całkowitą nowością i znajduje się dopiero w początkowym stadium rozwoju. Taka sytuacja występuje w Polsce, gdzie infrastruktura tej sieci praktycznie nie istnieje. Zarejestrowanych jest tylko około 35 bramek, co daje niewielkie pokrycie zasięgiem. Pomimo tego, że w sieci LoRaWAN

istnieją stacje bazowe, to mylnie jest wiązanie tego standardu z telefonią komórkową. To system całkowicie niezależny od operatorów sieci komórkowych. Każdy może sobie sam stworzyć taką sieć bez ponoszenia opłat abonamentowych, czego dowodem jest opisany w artykule model nadajnika impulsów z gazomierza miechowego na bazie modułu transmisyjnego w technologii LoRaWAN. Najdroższy element opisanego systemu to bramka dostępową, która jest niezbędna do realizacji transmisji w tym standardzie. Mając taką bramkę, można w dowolnym momencie rozbudowywać sieć o kolejne urządzenia końcowe.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Ocena możliwości stosowania różnych technologii zdalnej komunikacji w systemie dystrybucji gazu* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0082/GM/2019, nr archiwalny: DK-4100-0071/2019.

Literatura

- Adelantado F., Vilajosana X., Tuset-Peiro P., Martinez B., Melià-Seguí J., Watteyne T., 2017. Understanding the Limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 55(9).
- Badowski J., 2011. Wizualizacja ryzyka eksploatacyjnego gazociągów w wybranym systemie informacji geograficznej (GIS). *Nafta-Gaz*, 12: 920–924.
- Bor M., Vidler J., Roedig U., 2016. LoRa for the Internet of Things. *International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks (EWSN), Austria*.
- Čolaković A., Hadžialić M., 2018. Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer Networks*, 144: 17–39.
- Dietrich A., 2016. Obliczenia w chmurze i obliczenia gridowe. *Nafta-Gaz*, 12: 1150–1155. DOI: 10.18668/NG.2016.12.20.
- Dudek A., Jaworski J., 2017. Wpływ warunków temperaturowych otoczenia na wymianę ciepła w przemysłowych gazomierzach miechowych. *Nafta-Gaz*, 5: 321–331. DOI: 10.18668/NG.2017.05.04.
- Gacek Z., 2014. Różne drogi do osiągnięcia tego samego celu. Ocena zgodności gazomierzy na podstawie wymagań norm europejskich i zaleceń OIML. *Nafta-Gaz*, 12: 952–960.
- Gacek Z., Jaworski J., 2018. Analiza techniczna metody doszacowania zużycia gazu stosowanej w polskim systemie dystrybucyjnym w przypadku odbiorców grupy WS. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12: 431–435. DOI: 10.15199/17.2018.12.2.
- Jaworski J., Kukulska-Zajęc E., Kułaga P., 2019. Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na elementy systemu gazowniczego. *Nafta-Gaz*, 10: 625–632. DOI: 10.18668/NG.2019.10.04.
- Jaworski J., Kułaga P., Gacek Z., 2018a. Gazomierze termiczne w rozliczeniach indywidualnych. Charakterystyka i perspektywy zastosowania. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 11: 390–395. DOI: 10.15199/17.2018.11.1.
- Jaworski J., Swat M., 2016. System oceny zgodności dla wyrobów stosowanych do budowy sieci i instalacji gazowych oraz odbiorników gazu. *Nafta-Gaz*, 12: 1124–1136. DOI: 10.18668/NG.2016.12.17.
- Jaworski J., Swat M., Kułaga P., 2018b. Q INiG jako element wzrostu bezpieczeństwa technicznego i jakości wyrobów – zasady badań i certyfikacji. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12: 426–430. DOI: 10.15199/17.2018.12.1.
- Karbowniczek M., 2019. Aktualne standardy komunikacji radiowej. *Elektronika Praktyczna*, 6: 61–69.
- Kułaga P., 2014. Ocena zgodności gazomierzy inteligentnych w świetle wymagań dyrektywy metrologicznej. *Nafta-Gaz*, 6: 375–382.
- Kułaga P., 2015. Trwałość gazomierzy miechowych – różne metody badania. *Nafta-Gaz*, 8: 565–571.
- Kułaga P., 2017. Wzorcowanie wysokociśnieniowe gazomierzy – stanowisko z pętlą zamkniętą. *Nafta-Gaz*, 5: 332–339. DOI: 10.18668/NG.2017.05.05.
- Kułaga P., Jaworski J., 2016. Wyniki badań trwałości gazomierzy miechowych uzyskiwane z zastosowaniem różnych metod – analiza porównawcza. *Nafta-Gaz*, 8: 645–650. DOI: 10.18668/NG.2016.08.09.
- LoRa Alliance – LoRaWAN. <<https://lora-alliance.org/about-lorawan>> (dostęp: wrzesień 2019).
- LoRa Alliance, 2017. LoRaWAN 1.1 Regional Parameters. <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_regional_parameters_v1.1rb_-_final.pdf> (dostęp: wrzesień 2019).
- Matusik J., 2018. Mikrokontroler – narzędzie bardzo przydatne w pracach badawczych. *Nafta-Gaz*, 5: 391–398. DOI: 10.18668/NG.2018.05.07.
- Matusik J., Jaworski J., 2017. Optymalny dobór gazomierzy miechowych przez operatora systemu gazowniczego. *Nafta-Gaz*, 4: 274–286. DOI: 10.18668/NG.2017.04.08.
- Mekki K., Bajic E., Chaxel F., Meyer F., 2019. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5: 1–7.
- Ministerstwo Cyfryzacji, 2019. IoT w polskiej gospodarce. Raport grupy roboczej ds. Internetu Rzeczy przy Ministerstwie Cyfryzacji, kwiecień 2019.
- Standard Europejski, 2012. Final draft ETSI EN 300 220-1, V2.4.1 2012-01.
- The Things Network. <<https://www.thethingsnetwork.org>> (dostęp: 04.11.2019 oraz 17.04.2019).



Mgr inż. Tomasz LIPKA
Specjalista inżynierjno-techniczny w Zakładzie Metrologii Przepływów
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: tomasz.lipka@inigi.pl