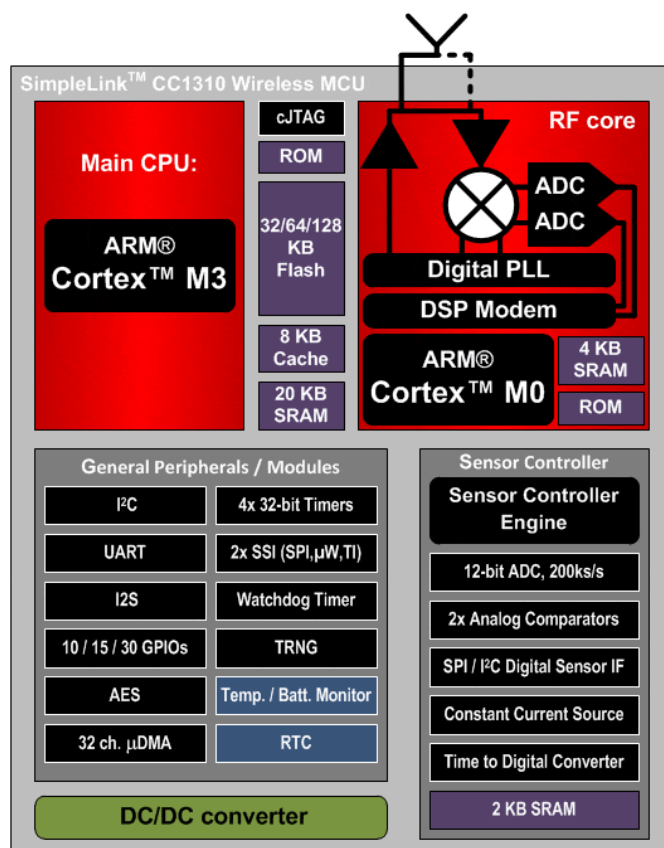


# Przemysłowy Internet Rzeczy

## Mikrokontroler CC1310 i zestaw startowy LaunchPad



W artykule omówiono mikrokontroler CC1310 produkcji Texas Instruments oraz zaprezentowano moduł startowy LaunchPad z mikrokontrolerem CC1310. W kolejnych artykułach – już w rubryce „Kursy” – pokażemy, w jaki sposób rozpocząć programowanie mikrokontrolera CC1310 oraz zaprezentujemy przykładowy projekt z wykorzystaniem platformy startowej CC1310 LaunchPad.



Rysunek 1. Schemat blokowy mikrokontrolera CC1310

Przemysłowy Internet Rzeczy, z ang. Industrial Internet of Things (IIoT) to odmiana technologii Internet Rzeczy (IIoT) z przeznaczeniem do zastosowania w przemyśle. W fabrykach montowane są urządzenia które mają za zadanie gromadzić dane procesów produkcyjnych i przesyłać do centrów przetwarzania danych. Na podstawie zgromadzonych danych jest optymalizowane działanie

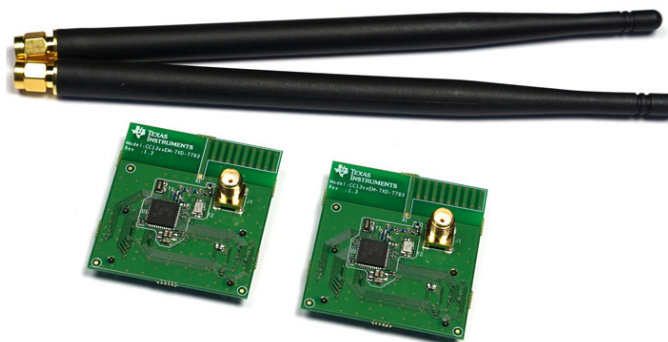
**LaunchPad** to nazwa grupy płytek startowych produkowanych przez Texas Instruments. Wszystkie płytki produkowane są zgodnie z pewnym standardem określonym przez TI. Każdy LaunchPad zawiera mikrokontroler, podstawowe elementy peryferyjne, oraz posiada zintegrowany moduł programatora/emulatora. Dodatkowo produkowane są różnego rodzaju płyty rozszerzeń BoosterPack kompatybilne z układami LaunchPad (kategorie: audio, wyświetlacze, sterowanie silnikami, itp.).

Pierwszy moduł LaunchPad dla mikrokontrolera MSP430 serii G2 został zaprezentowany 22 czerwca 2010 roku. Po 6 latach od rozpoczęcia projektu w ofercie układów startowych Texas Instruments są dostępne moduły LaunchPad dla mikrokontrolerów serii: CC13xx, CC26xx, CC3200, MSP430, C2000, Tiva C Series, Hercules TMS 570 oraz Hercules RM4. Szczegółowe informacje na temat modułów LaunchPad znajdziemy na stronie internetowej związanej z tym projektem. Na stronie zamieszczono również wyszukiwarkę płyt BoosterPack. W przypadku, gdy żadna z oferowanych płyt BoosterPack nie spełnia naszych oczekiwań, to możemy zaprojektować własną płytę rozszerzeń. Komplet materiałów pomocnych przy projektowaniu płyt rozszerzeń BoosterPack dla modułów LaunchPad znajdziemy na stronie poświęconej projektowi. Adres strony projektu LaunchPad to: <https://goo.gl/Nq6j2o>



linii produkcyjnych, co wpływa na poprawę efektywności procesu wytwarzania.

Technologia Przemysłowy Internet Rzeczy wpisuje się w proces czwartej rewolucji przemysłowej „Przemysł 4.0”, której właśnie jesteśmy świadkami. Pierwsza rewolucja przemysłowa polegała na zastosowaniu w produkcji urządzeń mechanicznych napędzanych wodą i parą (pierwszą maszyną napędzaną silnikiem parowym powstała około 1784 r.). Druga rozpoczęła się od wprowadzenia podziału pracy i produkcji napędzanej energią elektryczną (linie taśmowe – rok 1870). Trzecia, to wprowadzenie do produkcji automatyzacji (sterowniki PLC – rok 1968 oraz roboty). Teraz ma miejsce czwarta rewolucja przemysłowa, która wprowadza w pełni zautomatyzowane fabryki sterowane przez systemy cybernetyczne. W fabrykach takich parametry produkcji są stale monitorowane oraz jeśli zajdzie taka potrzeba zmieniane w czasie rzeczywistym. Pozwala to na wykrywanie źródeł potencjalnych awarii (przeegrzewie się części, nadmierne drgania elementów ruchomych maszyn). Dodatkowo, zgromadzone podczas procesu produkcji dane mogą zostać zintegrowane z oprogramowaniem produkcyjnym

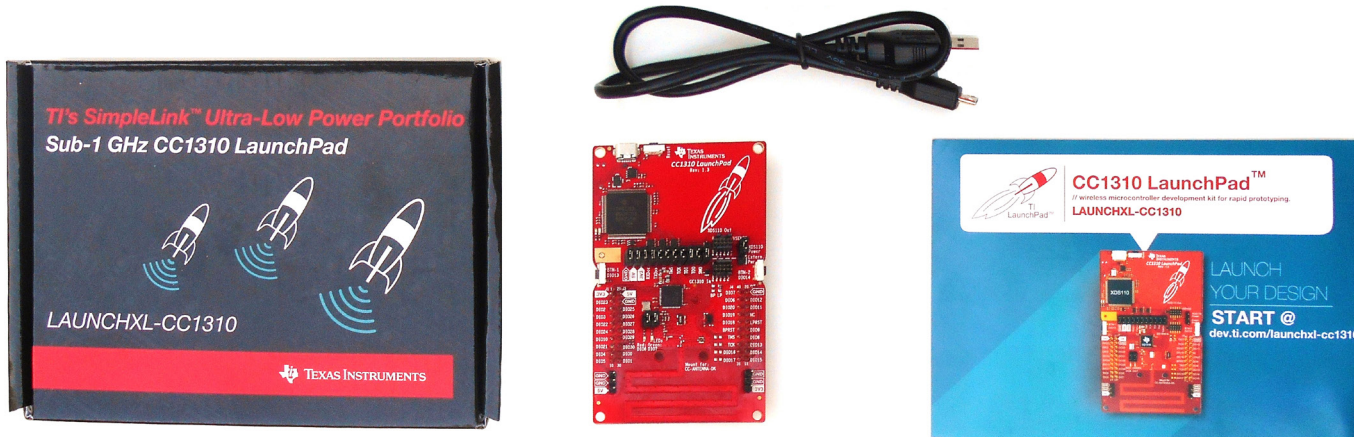


**Fotografia 2. Moduł rozwojowy CC1310EMK do płyty rozwojowej SmartRF06EB**

do ERP (planowanie zasobów przedsiębiorstwa) i CRM (obsługa relacji z klientami). Wówczas produkcja może być dostosowana do zapotrzebowania rynku (produkcja sprzężona z wynikami sprzedaży).

**Tabela 1. Parametry mikrokontrolera CC1310**

Procesor użytkownika	
rdzeń	ARM Cortex-M3 maksymalna prędkość pracy CPU: 48 MHz
zasilanie	1,8 V–3,8 V
linie IO/obudowa	30 IO/RGZ 7×7 mm 15 IO/RHB 5×5 mm 10 IO/RSM 4×4 mm
pamięć	SRAM – 8 kB (cache albo ogólnego przeznaczenia) SRAM – 20 kB (ULL – Ultra Low Leakage ) FLASH – 128 kB/64 kB/32 kB ROM – bootloader, sterowniki urządzeń peryferyjnych, TI-RTOS
system zegarowy	cztery 32-bitowe liczniki z funkcją PWM
moduł analogowy	moduł pomiaru temperatury oraz kontroli napięcia zasilania
komunikacja szeregową	1×UART, 2×SSI (SPI, μWire, TI), 1×I <sup>2</sup> C, 1×I <sup>2</sup> S (audio)
kryptografia	128 bitowy AES, generator liczb losowych TRNG
inne	układ Watchdog, 32 kanały uDMA, zegar czasu rzeczywistego
Procesor RF	
rdzeń	ARM Cortex-M0
pamięć	SRAM – 8kB ROM procedury obsługi protokołów RF
pasmo radiowe	poniżej 1 GHz (np.: 315, 433, 470, 500, 779, 868, 915, 920 MHz)
moc nadajnika radiowego	programowana moc maksymalna +14 dBm
czułość odbiornika radiowego	-124 dBm w trybie dalekiego zasięgu Long Range Mode -110 dBm przy transmisji 50 kb/s
odporność na zakłócenia	selektywność odbiornika radiowego: 52 dB blokowanie sygnałów zagłuszających: 90 dB
wspierane standardy	Wireless M-Bus, IEEE 802.15.4g PHY
normy radiowe	ETSI EN 300 220, EN 303 131, EN 303 204 (Europa) FCC CFR47 Part 15 (Stany Zjednoczone) ARIB STD-T108 (Japonia)
Kontroler czujników	
pamięć	SRAM – 2kB
moduł analogowy	12 bitowy przetwornik A/C, 200 ks/s, 8 kanałów pomiarowych, programowalne źródło prądowe, 2×komparator analogowy
komunikacja szeregową	1×SPI, 1×I <sup>2</sup> C (obsługa programowa)
inne	moduł Time To Digital Converter do pomiaru czasu pomiędzy zdarzeniami, wsparcie obsługi przycisków pojemnościowych
przykłady implementacji	pomiar napięcia z czujników analogowych (wbudowany moduł ADC), odczyt wartości z czujników cyfrowych (interfejsy SPI, I <sup>2</sup> C obsługa programowa), pomiar impulsów, generator sygnałów, obsługa klawiatury przyciskowej oraz pojemnościowej
Pobór mocy	
5,5 mA – tryb aktywny, włączony odbiornik radiowy RX	
12,9 mA – tryb aktywny, włączony nadajnik radiowy TX (moc nadajnika +10 dBm)	
2,5 mA – tryb aktywny, taktowanie procesora 48 MHz (51 μA/MHz)	
0,85 μA – kontroler czujników w trybie jednego pomiaru analogowego na sekundę	
0,60 μA – tryb uśpienia (standby), aktywny RTC, CPU odświeżanie RAM	
185 nA – tryb wyłączenia (shutdown), CPU jest wybudzany przez zewnętrzne zdarzenia	



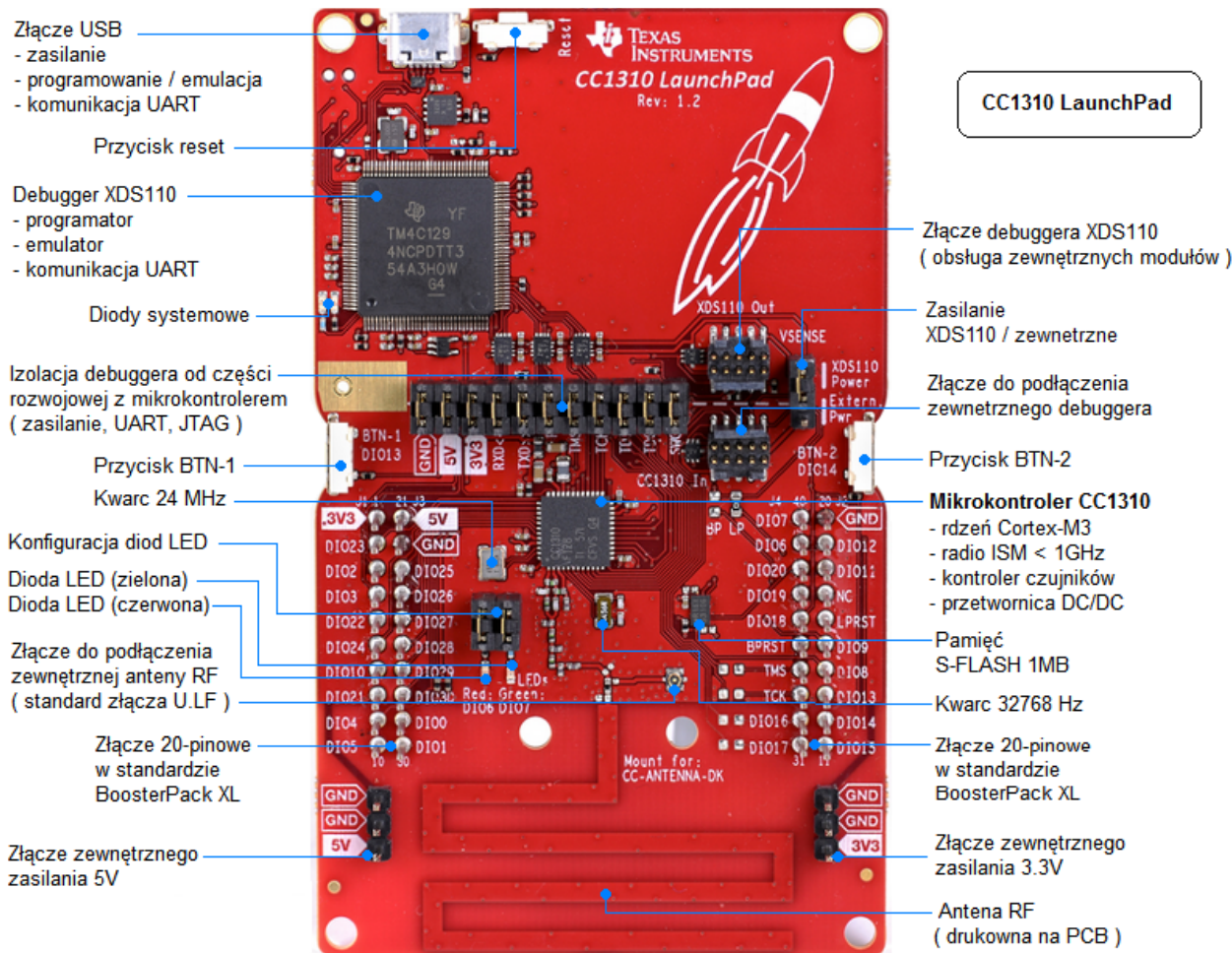
Fotografia 3. Zestaw startowy CC1310 LaunchPad

Z badań IDC Manufacturing Insights wynika, że do 2020 roku w co najmniej połowie procesów w firmach będą stosowane automatyczne procesy gromadzenia danych, a w jednej czwartej będą dostępne funkcje autokorekty. Widząc dynamiczny rozwój technologii IIoT firma Texas Instruments zaprojektowała mikrokontroler CC1310 z zintegrowanym układem radiowym pracującym w paśmie ISM poniżej 1 GHz. Żeby promować własne rozwiązania zbudowano zestaw startowy CC1310 LaunchPad.

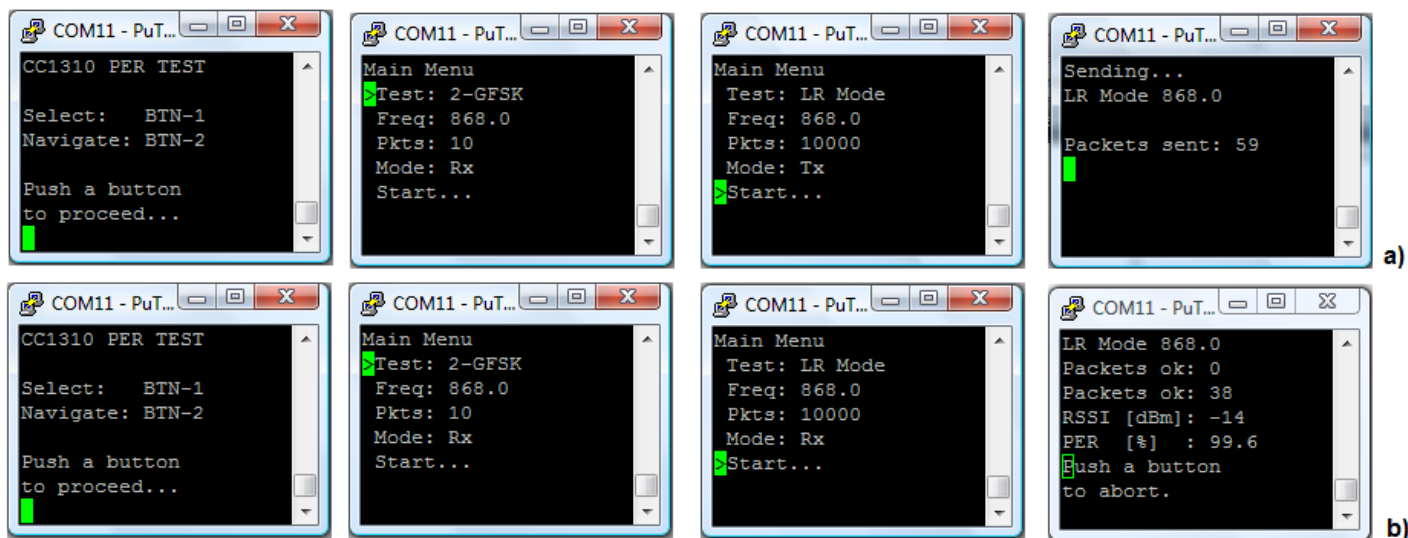
**Mikrokontroler CC1310**

Omawiany w artykule mikrokontroler CC1310 to układ o wysokim stopniu integracji. W obudowie układu scalonego umieszczono: procesor z rdzeniem ARM Cortex-M3 (z blokami peryferyjnymi), procesor przeznaczony do obsługi transmisji radiowej w paśmie ISM

Tabela 2. Aplikacja startowa – opcje menu	
Rodzaj testu	2-GFSK (50 kb/s, odchylenie 25 kHz)
	LR Mode (625 b/s – Long Range Mode)
	OOK (4.8 kb/s, 40 kHz RX bandwidth)
	HS Mode (4 Mb/s, 8-FSK)
Częstotliwość	868 MHz (Europa)
	915 MHz (Stany Zjednoczone)
Liczba pakietów danych	10
	100
	1000
	10000
Tryb pracy	RX (odbiornik)
	TX (nadajnik)



Rysunek 4. Płytkę startową CC1310 LaunchPad



Rysunek 5. Konfiguracja aplikacji startowej. Tryb pracy Long Range a) nadajnik b) odbiornik

poniżej 1 GHz z rdzeniem ARM Cortex-M0, kontroler czujników pomiarowych oraz przetwornicę DC/DC. Schemat blokowy mikrokontrolera CC1310 pokazano na **rysunku 1**.

Mikrokontroler CC1310 posiada dużą moc obliczeniową (142 miejsce w zestawieniu CoreMark) a przy tym charakteryzuje się niskim poborem mocy (158 miejsce w zestawieniu ULPBench). Zintegrowany moduł radiowy zapewnia niezależną od jednostki centralnej CPU transmisję radiową. Moduł radiowy charakteryzuje się wysoką czułością odbiornika, niskim poborem mocy oraz tym, że posiada wbudowane mechanizmy zwiększające odporność na zakłócenia. Zintegrowany moduł kontrolera czujników pozwala wykonywać pomiary niezależnie od jednostki centralnej CPU mikrokontrolera. Możemy główny rdzeń CPU mikrokontrolera wprowadzić w tryb uśpienia i w tym samym czasie wykonać pomiary korzystając z kontrolera czujników. Następnie możemy obudzić jednostkę centralną CPU mikrokontrolera, aktywować radio, wysłać wynik pomiaru i ponownie przejść w tryb uśpienia. Taki schemat pracy pozwala maksymalnie zwiększyć czas pracy urządzenia na baterii. Szczegółowe parametry mikrokontrolera CC1310 w tym pobór mocy w różnych trybach pracy prezentuje **tabela 1**.

Mikrokontroler CC1310 jest przystosowany do pracy w trybie transmisji radiowej dalekiego zasięgu (tryb transmisji Long Range). Parametry zasięgu toru radiowego dla mikrokontrolera CC1310 determinuje moc nadajnika TX 14 dBm oraz czułość odbiornika RX -124 dBm. Korzystając z modułu LaunchPad (antena drukowana na PCB) uzyskamy zasięg transmisji w granicach 150...200 metrów (nadajnik i odbiornik w otwartym terenie bez przeszkód w linii transmisji radiowej). Dodatkowo, firma Texas Instruments w swoim portfolio posiada bogatą ofertę wzmacniaczy zasięgu radiowego (range extender). Do współpracy z mikrokontrolerem CC1310 jest przeznaczony wzmacniacz typu CC1190. Korzystając z modułu CC1190 możemy zwiększyć moc nadajnika CC1310 z 14 dBm do 27 dBm. W praktyce przełoży się to na zwiększenie zasięgu z setek metrów na kilometry. Możemy również zaprojektować urządzenie z zewnętrzną anteną. Przykład takiego rozwiązania prezentuje zaprojektowany przez Texas moduł rozwojowy CC1310EMK (**fotografia 2**). Po podłączeniu modułu CC1210EMK z płytą rozwojową SmartRF06EB możemy uzyskać zasięg transmisji radiowej nawet do 20 kilometrów.

Fakt, że mikrokontroler CC1310 posiada tak dobre parametry zasięgu transmisji radiowej sprawia, że może być stosowany w miejscach gdzie transmisja radiowa napotyka na trudne warunki (hale produkcyjne w fabrykach, wielopiętrowe budynki, miasta z gęstą zabudową).

## CC1310 LaunchPad

Zestaw startowy LaunchPad z mikrokontrolerem CC1310 składa się z: płytki startowej LaunchPad, przewodu USB-A mikro-B oraz broszury informacyjnej. Zawartość zestawu pokazano na **fotografii 3**.

Najważniejszym elementem zestawu startowego jest płytka LaunchPad. Na płycie zainstalowano mikrokontroler CC1310 w obudowie RGZ o wymiarach 7 mm×7 mm. Poza mikrokontrolerem na płycie startowej LaunchPad umieszczono 3 przyciski (dwa użytkownika oraz jeden reset), 4 diody LED (2 użytkownika: czerwona, zielona oraz 2 systemowe), gniazdo USB (zasilanie, programowanie/emulacja, komunikacja UART przez USB), dwa złącza rozszerzeniowe 20-pinowe w standardzie BoosterPack XL. Płytkę startową ma zamontowaną kość pamięci S-FLASH o pojemności 1 megabajta. Moduł startowy Launchpad wyposażono w antenę PCB oraz złącze do podłączenia zewnętrznej anteny. Wygląd płytki startowej CC1310 LaunchPad pokazano na **rysunku 4**.

Układ startowy CC1310 LaunchPad możemy kupić w sklepie Texas Instruments [store.ti.com](http://store.ti.com) albo u lokalnych dystrybutorów. Cena zestawu startowego w sklepie TI to 29 dolarów amerykańskich. Dokonując zakupu dobrze jest nabyć dwa moduły, aby jeden móc wykorzystać jako nadajnik, a drugi jako odbiornik sygnału radiowego.

## Program startowy

Płyta startowa CC1310 LaunchPad jest zaprogramowana aplikacją startową służącą do testowania jakości transmisji radiowej RF (transmisja pakietów, pomiar mocy odebranego sygnału RSSI, pomiar liczby niepoprawnie odebranych pakietów). Aplikacja jest uruchamiana po podłączeniu modułu do zasilania. Menu sterowania jest wyświetlane na ekranie LCD (należy podłączyć płytę rozszerzeń 430BOOST-SHARP96) oraz jest transmitowane na wyjście UART modułu (parametry transmisji 115200 b/s 8N1, bez kontroli parzystości). Opcje menu prezentuje **tabela 2**.

Sterowanie aplikacją odbywa się za pomocą przycisków zamontowanych na płycie modułu CC1310 LaunchPad. Lewym przyciskiem (BTN-1) wybieramy opcje menu. Prawym przyciskiem (BTN-2) zatwierdzamy wybrane opcje. Przykład obsługi menu w programie PuTTY pokazano na **rysunku 5**.

## Podsumowanie

W kolejnych wydaniach Elektroniki Praktycznej zaprezentujemy oprogramowanie do obsługi mikrokontrolera CC1310. Skonfigurujemy środowisko programistyczne oraz pakiet programów narzędziowych.

**Łukasz Krysiwicz, EP**