SPECYFIKACJA

HTCL-M-L-2K
HTCL-M-L-5K
HTCL-M-L-10K



Przetwornik stężenia CO2
RS-485 Modbus RTU

Opracował: **HOTCOLD s.c.**

2025-05-01

Wprowadzenie

Przedmiotem niniejszego opracowania jest charakterystyka funkcjonalności przetworników stężenia CO2 opartych na czujnika serii MH-Z (2000ppm, 5000ppm i 10000ppm) z wyjściem cyfrowym RS-485 Modbus RTU.

Nazwy urządzeń z podziałem na zakresy pomiarowe:

- **HTCL-M-L-2K**, zakres pomiarowy 0-2000ppm (typowy zakres dla wykonania HVAC)
- **HTCL-M-L-5K**, zakres pomiarowy 0-5000ppm (typowy zakres dla uprawy roślin)
- **HTCL-M-L-10K**, zakres pomiarowy 0-10000ppm (typowy zakres dla hodowli zwierząt)

UWAGA: Przed przystąpieniem do uruchomienia modułu należy zapoznać się z tekstem zawartym w niniejszym opracowaniu.

Funkcje urządzenia

- pomiar stężenia CO2
- cyfrowe wyjście RS-485 Modbus RTU
- diodowa sygnalizacja pracy urządzenia

Charakterystyka urządzenia

Podstawową funkcją przetwornika HTCL-M-L jest pomiar zawartości stężenia CO2 w powietrzu. Zmierzone za pośrednictwem zintegrowanego czujnika serii MH-Z wartości stężenia CO2 są następnie przeliczane i uśredniane w mikrokontrolerze. Wartość stężenia jest prezentowana w postaci cyfrowej w protokóle Modbus RTU.

Dane techniczne

Parametry ogólne przetwornika

Zasilanie	
- napięciem stałym	DC 24V (20...30V)
- napięciem przemiennym	AC 24V (20...27,6V)
Pobór prądu	
- typowy [1)]	<40 mA
- maksymalny [2)]	<67 mA
Złącze instalacyjne	śrubowe w rastrze 5.00mm (≤ 2,5mm^2)
Wymiary	71 x 71 x 27 mm
Waga	ok.80 g
Montaż [3)]	naścienny
Środowisko pracy	bezpyłowe, powietrze, gazy neutralne
Temperatura pracy	0°C ÷ 50°C

1) Średni pobór prądu urządzenia w warunkach: zasilanie 24V DC

2) Maksymalny chwilowy pobór prądu urządzenia w warunkach jak w punkcie 1

3) Instalacji urządzenia powinien dokonywać wykwalifikowany personel; Orientacja pionowa zgodnie z otworami wentylacyjnymi skierowanymi GÓRA-DÓŁ;

Parametry pomiaru CO2

Typ czujnika	Seria MH-Z
Zakres pomiarowy	0 ÷ 2000; 0-5000; 0-10000 ppm
Dokładność:	± (50 ppm + 5% wartości odczytu)
Częstotliwość próbkowania	2 Hz
Czas odpowiedzi [1)]	< 2 min

1) Podany czas odpowiedzi jest równy jednej stałej czasowej odpowiadającej 90% wartości ustalonej;

Parametry interfejsu szeregowego

Warstwa fizyczna	RS-485
Protokół komunikacji	MODBUS RTU
Konfiguracje połączeń [1)]	HALF DUPLEX
Prędkości transmisji	9600 / 19200 / 38400 / 57600 / 115200 b/s

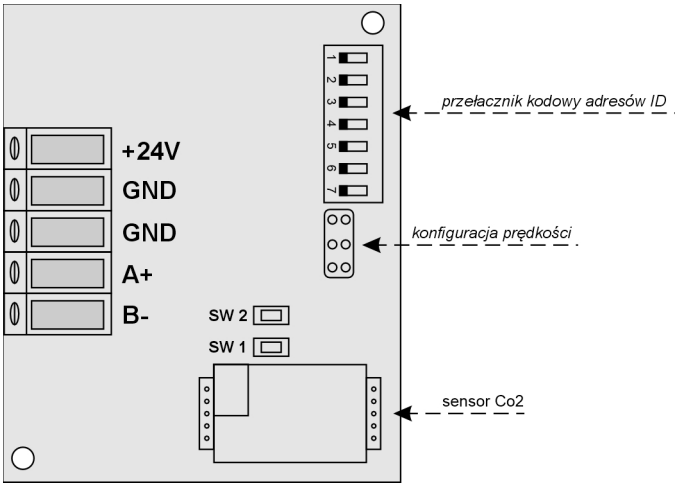
(1) HALF DUPLEX – komunikacja dwukierunkowa jedną parą przewodów;

Instalacja

Bezpieczeństwo

- Instalacji urządzenia powinien dokonywać wykwalifikowany personel!
- Wszystkie podłączenia należy wykonać zgodnie ze schematami elektrycznymi przedstawionymi w niniejszej specyfikacji!
- Przed przystąpieniem do uruchomienia należy sprawdzić wszystkie podłączenia elektryczne!

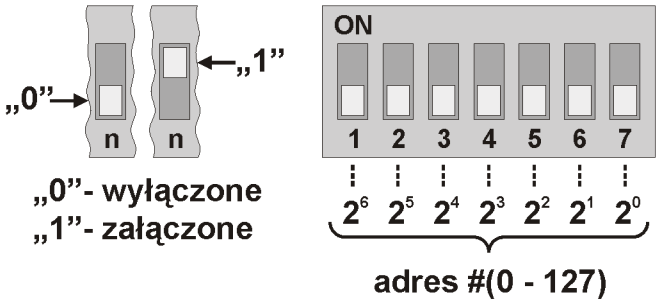
Konstrukcja urządzenia i opis wyprowadzeń



Rysunek płytki z opisem najważniejszych elementów

Konfiguracja adresu

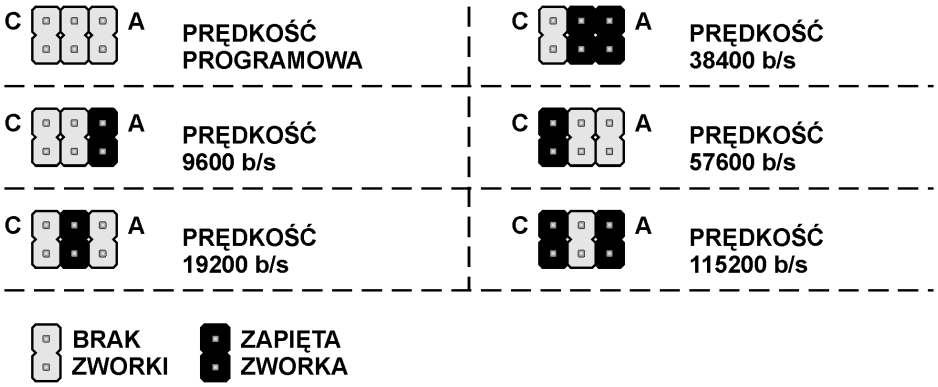
Urządzenie wyposażono w przełącznik DIP SWITCH o maksymalnej ilości do 7 pozycji, do sprzętowego ustalenia adresu (od „1” do max. „127”). Ustawienie adresu „0” na przełączniku spowoduje użycie adresu zapisanego w urządzeniu za pośrednictwem protokołu MODBUS (domyślnie „1”).



Rysunek Adresacja przetwornika.

Konfiguracja prędkości

Urządzenie wyposażono w układ 3 zworek do sprzętowego ustalenia prędkości interfejsu RS-485 (zgodnie z poniższą tabelą). Brak zworek spowoduje użycie wartości prędkości zapisanej w urządzeniu za pośrednictwem protokołu MODBUS (domyślnie „9600 b/s”).



Rysunek Konfiguracja prędkości interfejsu RS-485.

Czynności związane z użytkowaniem urządzenia

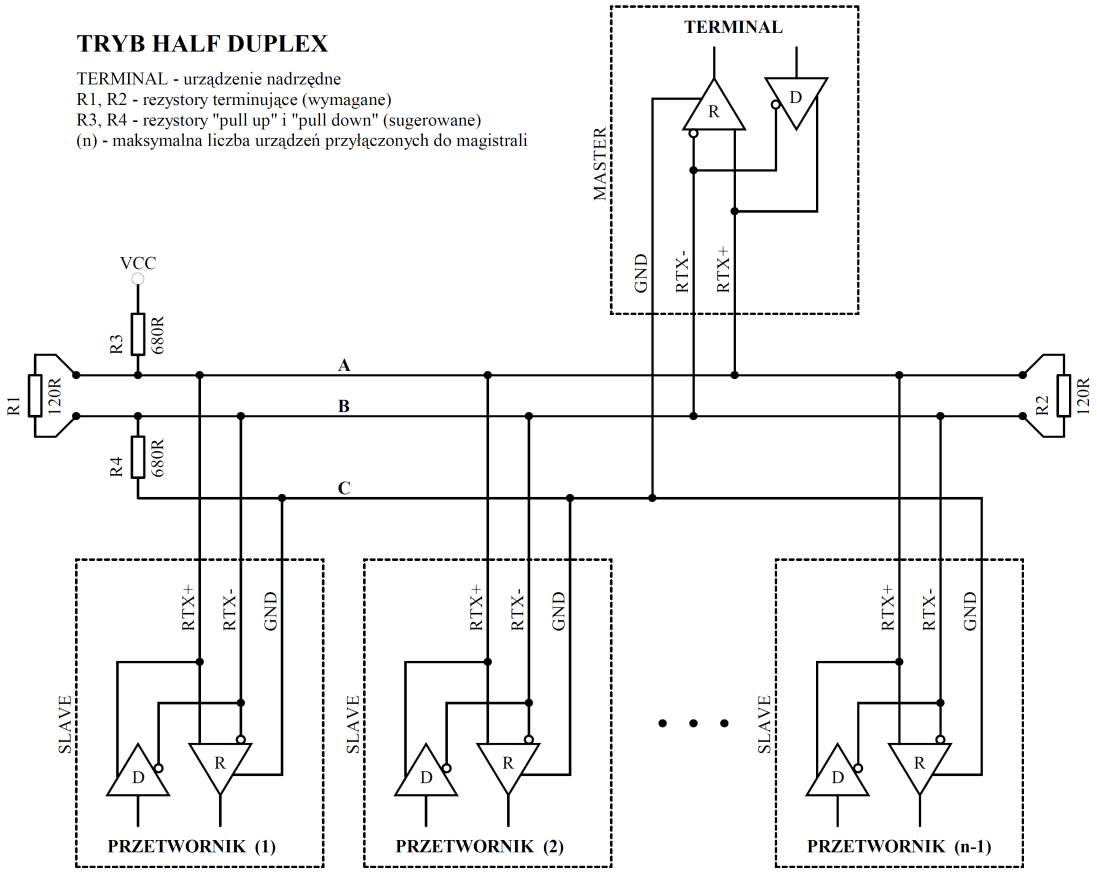
Czujnik CO2 wyposażony jest w układ kalibracji poziomu stężenia CO2 na poziomie 400 ppm w funkcji ręcznej. Funkcję ręczną kalibracji możemy zastosować w dowolnym momencie, kierując się poniższymi wskazówkami:

kalibracja ręczna:

Wciśnij i przytrzymaj przycisk zerowania SW2 co najmniej 7 sekund. Przed skalibrowaniem punktu zerowego, upewnij się, że czujnik przebywa i jest pod zasilaniem przez ponad 20 minut w otoczeniu o stężeniu CO2 około 400 ppm (czyste powietrze).

Wytyczne

- W przypadku pracy w otoczeniu dużych zakłóceń, należy zastosować przewody ekranowane.
- Ekran przewodu należy podłączyć do najbliższego punktu PE od strony zasilacza.



Rysunek 1. Sposób podłączenia przetwornika do magistrali RS-485 pracującej w trybie HALF DUPLEX.

Protokół MODBUS

Mapa rejestrów

Tabela rejestrów:

Nr rejestru	Wartości	Opis
1	400 – 2000	Stężenie CO2 [ppm] (1 = **1** ppm)
2	0 / 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6	Rejestr statusowy (0: “NO SENSOR”, 1: “SENSOR OK”, 2: “ERROR”, 3: “WARM UP”, 4: “CALIBRATION”, 5: “IDLE”, 6: “OVER RANGE **(*)**
3	1000 (0x03E8)	Wartość testowa - do weryfikacji poprawności odczytu rejestrów
4	1234	Rejestr hasła
5	1 / 2 / 3	Rejestr poleceń
6	wg tabeli poleceń	Rejestr parametru
7	0-65535	Licznik poprawnych ramek
8	0-65535	Licznik wyjątków
9	0-65535	Licznik błędnych CRC
10	0-65535	Licznik błędnych bajtów
11	-	nie używany
12	400 – 5000	wyłącznie dla celów serwisowych

(*) “NO SENSOR” – brak czujnika; “SENSOR OK” – prawidłowe działanie czujnika; “ERROR” – błąd działania czujnika; ”WARM UP” – czujnik w trakcie podgrzewania; ”CALIBRATION” – czujnik w trakcie kalibracji; ”IDLE” – czujnik w trybie uśpienia; ”OVER RANGE” – przekroczenie zakresu pomiarowego;

Tabela poleceń:

Nr polecenia	Funkcja	Parametry
1	Ustaw adres urządzenia	1 – 247 (1-wartość domyślna)
2	Ustaw prędkość transmisji	96 – 9600 b/s (wartość domyślna) 192 – 19200 b/s 384 – 38400 b/s 576 – 57600 b/s 1152 – 115200 b/s
3	Ustaw bity parzystości	0 – NO PARITY; brak bitu parzystości 1 – EVEN PARITY; (wartość domyślna) 2 – ODD PARITY,
4	Ustaw bity Stopu	1 – 1 x STOP; 1 bit stopu (wartość domyślna) 2 – 2 x STOP; 2 bity stopu
5	Ustaw elewację	0 – 2500 [m n.p.m.] (wysokość nad poziomem morza)
105	Odczytaj elewację	j.w.
6	Reset urządzenia	1 – programowy reset urządzenia

Uwagi:

1) Podanie błędnej lub spoza zakresu wartości parametru, skutkuje wpisaniem do rejestru poleceń wartości 0xEEEE.
2) Każdorazowemu wywołaniu polecenia musi towarzyszyć wpisanie hasła (1234 decymalnie).
3) Wywołanie polecenia poprzez pojedyncze wpisy do rejestrów, musi zostać zakończone wpisaniem hasła.

Funkcje protokołu

W przetworniku zaimplementowano następujące funkcje standardu MODBUS:

KOD	ZNACZENIE
03 (0x03)	Odczyt N x 16-bitowych rejestrów
16 (0x10)	Zapis N x 16-bitowych rejestrów

Odczyt zawartości grupy rejestrów wyjściowych (0x03)

Format żądania:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	**0x03**
Adres bloku danych	2 bajty	0x0000 – 0xFFFF
Liczba rejestrów (N)	2 bajty	1 – 125 (0x7D)
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

Format odpowiedzi:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	**0x03**
Licznik bajtów	1 bajty	2 x N
Wartości rejestrów	N x 2 bajty	wg mapy rejestrów
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

Format błędu:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	**0x83**
Kod błędu	1 bajt	0x01 / 0x02 / 0x03 / 0x04
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

Zapis do grupy rejestrów wyjściowych (0x10)

Format żądania:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	**0x10**
Adres bloku danych	2 bajty	0x0000 – 0xFFFF
Liczba rejestrów (N)	2 bajty	1 – 123 (0x7B)
Licznik bajtów	1 bajt	2 x N
Wartości	N x 2 bajty	użytkownika
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

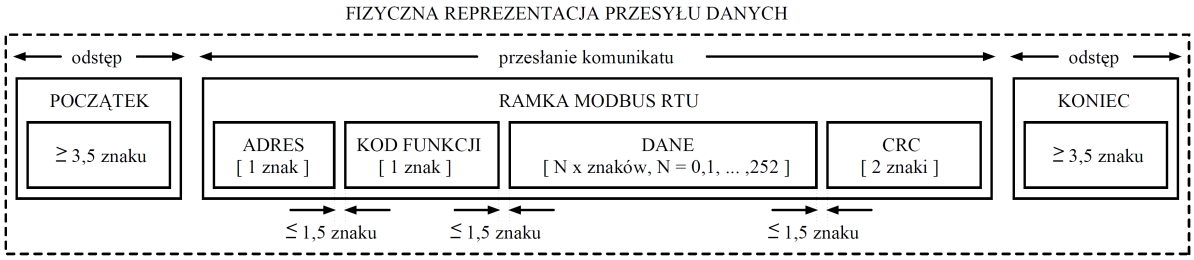
Format odpowiedzi:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	**0x10**
Adres bloku danych	2 bajty	0x0000 – 0xFFFF
Liczba rejestrów (N)	2 bajty	1 – 123 (0x7B)
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

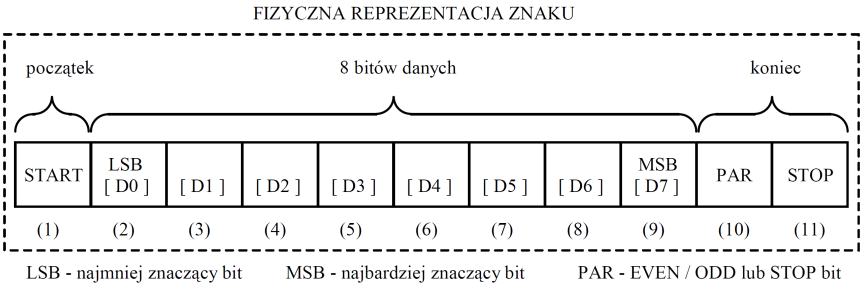
Format błędu:

Opis	Rozmiar	Wartości
Adres urządzenia	1 bajt	1 – 247 (0xF7)
Kod funkcji	1 bajt	**0x90**
Kod błędu	1 bajt	0x01 / 0x02 / 0x03 / 0x04
Suma kontrolna CRC	2 bajty	wg obliczeń

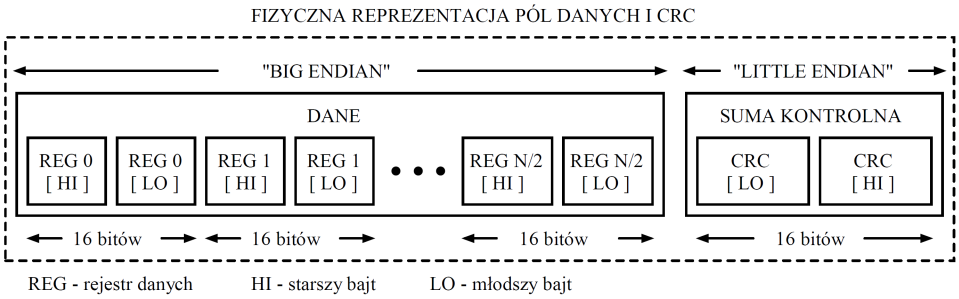
Format danych



Rysunek 2. Przesył danych w standardzie MODBUS RTU zaimplementowany w przetworniku.



Rysunek 3. Format znaku w standardzie MODBUS RTU zastosowany w przetworniku.



Rysunek 4. Format pól danych i CRC w standardzie MODBUS RTU zastosowany w przetworniku.

Suma kontrolna CRC

Zgodnie ze standardem MODBUS, do wyliczenia sumy kontrolnej CRC wykorzystano wielomian: X16 + X15 + X2 + 1.

Bitowy algorytm liczenia CRC:

Procedura wyznaczania sumy kontrolnej CRC metodą bitową:

1) załadowanie wartości 0xFFFF do 16-bitowego rejestru CRC;
2) pobranie pierwszego bajta z bloku danych i wykonanie operacji EX-OR z młodszym bajtem rejestru CRC, umieszczenie rezultatu w rejestrze;
3) przesunięcie zawartości rejestru CRC w prawo o jeden bit w kierunku najmniej znaczącego bitu (LSB), wyzerowanie najbardziej znaczącego bitu (MSB);
4) sprawdzenie stanu najmłodszego bitu (LSB) w rejestrze CRC, jeżeli jego stan równa się 0, to następuje powrót do punktu c, jeżeli 1, to wykonywana jest operacja EX-OR rejestru CRC ze stałą 0xA001;
5) powtórzenie punktów c i d do ośmiu razy, co odpowiada przetworzeniu całego bajta;
6) powtórzenie sekwencji b, c, d, e dla kolejnego bajta wiadomości, kontynuacja tego procesu aż do przetworzenia wszystkich bajtów wiadomości;
7) zawartość rejestru CRC po wykonaniu wymienionych operacji jest poszukiwaną wartością sumy kontrolnej CRC;

8) dopisanie sumy kontrolnej CRC do ramki MODBUS RTU musi zostać poprzedzone zamianą miejscami starszego i młodszego bajta rejestru CRC.

Tablicowy algorytm liczenia CRC:

Przykład implementacji procedury wyznaczania sumy kontrolnej CRC metodą tablicową:

```
/* The function returns the CRC as a unsigned short type */
unsigned short CRC16 ( puchMsg, usDataLen )
/* message to calculate CRC upon */
unsigned char *puchMsg ;
/* quantity of bytes in message */
unsigned short usDataLen ;

{
	/* high byte of CRC initialized */
	unsigned char uchCRCHi = 0xFF ;
	/* low byte of CRC initialized */
	unsigned char uchCRCLo = 0xFF ;
	/* will index into CRC lookup table */
	unsigned uIndex ;

	/* pass through message buffer */
	while (usDataLen--)
	{
		/* calculate the CRC */
		uIndex = uchCRCLo ^ *puchMsg++ ;
		uchCRCLo = uchCRCHi ^ auchCRCHi[uIndex] ;
		uchCRCHi = auchCRCLo[uIndex] ;
	}
return (uchCRCHi << 8 | uchCRCLo) ;
}
/* Table of CRC values for high-order byte */
static unsigned char auchCRCHi[] = {
0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0,
0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01,
0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,
0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0,
0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01,
0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40,
0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0,
0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01,
0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,
0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0,
0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01,
0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41,
0x00, 0xC1, 0x81, 0x40, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x01, 0xC0, 0x80, 0x41, 0x00, 0xC1, 0x81,
0x40
} ;

/* Table of CRC values for low-order byte */
static char auchCRCLo[] = {
0x00, 0xC0, 0xC1, 0x01, 0xC3, 0x03, 0x02, 0xC2, 0xC6, 0x06, 0x07, 0xC7, 0x05, 0xC5, 0xC4,
0x04, 0xCC, 0x0C, 0x0D, 0xCD, 0x0F, 0xCF, 0xCE, 0x0E, 0x0A, 0xCA, 0xCB, 0x0B, 0xC9, 0x09,
0x08, 0xC8, 0xD8, 0x18, 0x19, 0xD9, 0x1B, 0xDB, 0xDA, 0x1A, 0x1E, 0xDE, 0xDF, 0x1F, 0xDD,
0x1D, 0x1C, 0xDC, 0x14, 0xD4, 0xD5, 0x15, 0xD7, 0x17, 0x16, 0xD6, 0xD2, 0x12, 0x13, 0xD3,
0x11, 0xD1, 0xD0, 0x10, 0xF0, 0x30, 0x31, 0xF1, 0x33, 0xF3, 0xF2, 0x32, 0x36, 0xF6, 0xF7,
0x37, 0xF5, 0x35, 0x34, 0xF4, 0x3C, 0xFC, 0xFD, 0x3D, 0xFF, 0x3F, 0x3E, 0xFE, 0xFA, 0x3A,
0x3B, 0xFB, 0x39, 0xF9, 0xF8, 0x38, 0x28, 0xE8, 0xE9, 0x29, 0xEB, 0x2B, 0x2A, 0xEA, 0xEE,
```

```
0x2E, 0x2F, 0xEF, 0x2D, 0xED, 0xEC, 0x2C, 0xE4, 0x24, 0x25, 0xE5, 0x27, 0xE7, 0xE6, 0x26,
0x22, 0xE2, 0xE3, 0x23, 0xE1, 0x21, 0x20, 0xE0, 0xA0, 0x60, 0x61, 0xA1, 0x63, 0xA3, 0xA2,
0x62, 0x66, 0xA6, 0xA7, 0x67, 0xA5, 0x65, 0x64, 0xA4, 0x6C, 0xAC, 0xAD, 0x6D, 0xAF, 0x6F,
0x6E, 0xAE, 0xAA, 0x6A, 0x6B, 0xAB, 0x69, 0xA9, 0xA8, 0x68, 0x78, 0xB8, 0xB9, 0x79, 0xBB,
0x7B, 0x7A, 0xBA, 0xBE, 0x7E, 0x7F, 0xBF, 0x7D, 0xBD, 0xBC, 0x7C, 0xB4, 0x74, 0x75, 0xB5,
0x77, 0xB7, 0xB6, 0x76, 0x72, 0xB2, 0xB3, 0x73, 0xB1, 0x71, 0x70, 0xB0, 0x50, 0x90, 0x91,
0x51, 0x93, 0x53, 0x52, 0x92, 0x96, 0x56, 0x57, 0x97, 0x55, 0x95, 0x94, 0x54, 0x9C, 0x5C,
0x5D, 0x9D, 0x5F, 0x9F, 0x9E, 0x5E, 0x5A, 0x9A, 0x9B, 0x5B, 0x99, 0x59, 0x58, 0x98, 0x88,
0x48, 0x49, 0x89, 0x4B, 0x8B, 0x8A, 0x4A, 0x4E, 0x8E, 0x8F, 0x4F, 0x8D, 0x4D, 0x4C, 0x8C,
0x44, 0x84, 0x85, 0x45, 0x87, 0x47, 0x46, 0x86, 0x82, 0x42, 0x43, 0x83, 0x41, 0x81, 0x80,
0x40
};
```

Proponowany sposób montażu naściennego

