

WetRuler

– układ do pomiaru poziomu oceanu

Tsunami – fala oceaniczna wywołana podwodnym trzęsieniem ziemi, wybuchem wulkanu, osuwaniem się ziemi lub dzieleniem się lodowców, rzadziej w wyniku upadku meteorytu. Rozchodzi się po oceanie z dużą prędkością i ulega spiętrzeniu przy brzegu, uzyskując wysokość nawet kilkudziesięciu metrów. Szybkie wykrywanie takich fal realizuje się za pomocą sejsmometrów, rozmieszczonych na dnie oceanu lub mierników poziomu wody umieszczonych przy brzegu.

Fale tsunami rozchodzą się pierścieniowo od miejsca wzbudzenia. Na pełnym morzu poruszają się z wielką prędkością (do 900 km/h), przez co łatwo je przeoczyć, ponieważ ich długość dochodzi do kilkuset kilometrów, ale wysokość nie przekracza kilkudziesięciu centymetrów. Dopiero w strefie brzegowej fala ulega spiętrzeniu i może osiągnąć wysokość kilkudziesięciu metrów, niszcząc nadbrzeżne miejscowości. Najczęściej występują na Pacyfiku.

Na początku lata tego roku ogłoszono, że obszar na Alasce, zwany Prince William Sound, zostanie nieoczekiwanie dotknięty tsunami, zainicjowanym przez globalne ocieplenie. Naukowcy, którzy dokonali odkrycia, wskazali na obszar szybko cofającego się lodu. Pozostawił po sobie górę ułomków skalnych, które zsunęły się do fiordu i zainicjowały falę o wysokości 10 metrów, która ostatecznie uderzyła w miasto Whittier. Nie jest to pierwsze tsunami nawiedzające Alaskę. Obecnie region jest stale monitorowany przez podwodne sensory, wykrywające anomalie i duże fale, zbliżające się do brzegu.

WetRuler (Mokra Linijka) to układ przeznaczony do zdalnego monitorowania poziomu wody. Wygląd takiego systemu pokazuje **fotografia 1**. Jest w stanie mierzyć poziom oceanu i wysyłać dane do odbiornika poprzez sieć LoRa lub bezpośrednio przez GSM. Jednostki są kompaktowe i odporne na warunki środowiskowe. Są wyposażone w baterie i zasilane energią słoneczną. System stworzono z myślą o zastosowaniu jako narzędzie wczesnego ostrzegania przed wystąpieniem tsunami. Jednakże autor miał okazję przetestować go tylko jako monitor wysokości pływów morskich.



Ze względu na długość listingów, są one dostępne na stronie artykułu: <https://ep.com.pl> – dla prenumeratorów, jeszcze przed ukazaniem się wydania papierowego. Równolegle do pobrania ze strony <http://media.avt.pl>.

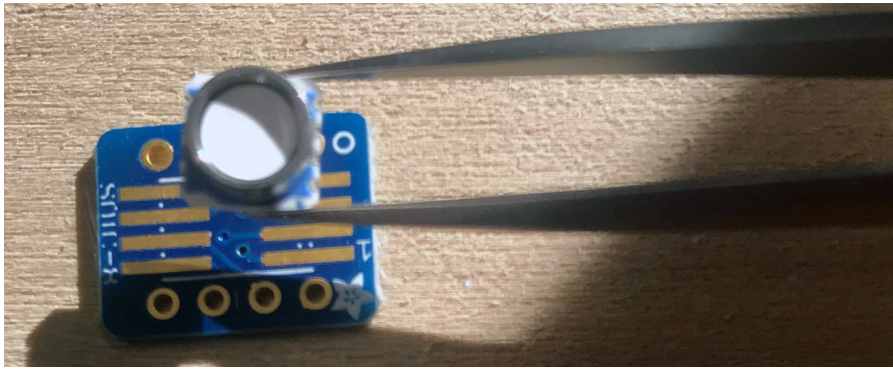
Potrzebne komponenty

Autor skonstruował dwie wersje urządzenia – jedna obejmuje wysyłanie danych poprzez GSM (sieć komórkową), a druga przez LoRa. We własnej konstrukcji można rozważyć również połączenie z radiolatarnią satelitarną, ponieważ wiele obszarów nadbrzeżnych nie

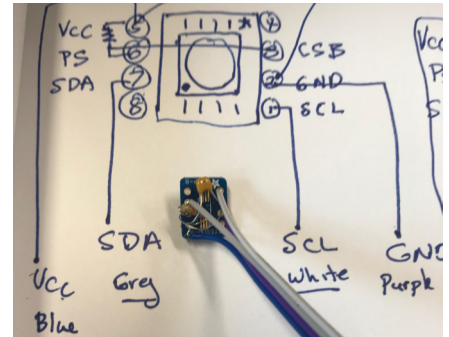
ma zasięgu telefonii komórkowej. Sensorem jest MS580314BA, czyli specjalistyczny czujnik ciśnienia firmy TE Connectivity. Często stosuje się go w systemach monitorowania danych w środowisku morskim. Więcej informacji na jego temat i różnych jego aplikacji znaleźć można w [1], [2].



Fotografia 1. Gotowy moduł do pomiaru wysokości wody w oceanie



Fotografia 2. Sensor ciśnienia i płytka drukowana, na której jest montowany



Fotografia 3. Schemat ideowy podłączenia sensora

Do budowy systemu potrzebne będą:

- Sensor ciśnienia MS580314BA. Można kupić sam czujnik za około 13 dolarów lub przylutowany na płytce, w formie modułu SparkFun, za ok. 60 dolarów. Wystarczy dobra lutownica i odpowiednia płyta uniwersalna, aby samodzielnie sobie z tym poradzić;
- Moduły LoRa – autor zastosował TTGO LORA32 firmy LILYGO. Są to moduły radiowe, pracujące przy częstotliwości 868 lub 915 MHz, zintegrowane z SoC ESP32. Moduł taki kosztuje około 27 dolarów;
- Płytkę Arduino MKR GSM 1400 – to świetna płytka Arduino z komunikacją GSM, kosztuje ok. 55 dolarów;
- Ogniwa słoneczne Uxcell, 2 szt. na urządzenie. Ogniwo takie daje napięcie 6 V przy prądzie do około 180 mA, ma wymiary 133×73 mm i kosztuje ok. 8 dolarów;
- Akumulator 18650;
- Ładowarka na układzie TP4056;
- Właczek zewnętrzny, wodoodporny. Autor użył w tym celu przycisku w wykonaniu wandaloodpornym z wbudowanym podświetleniem LED;
- Tester poziomu naładowania akumulatora – Istation 1S z niebieskim wyświetlaczem LED;

- Scalony timer Adafruit TPL5111 – prosty, mały układ do pomiaru czasu, zamontowany na płytce drukowanej;
- Tranzystor MOSFET z kanałem typu N – autor wybrał element o napięciu maksymalnym 30 V i prądzie drenu do 60 A;
- Różnicowy przedłużacz I²C typu PCA9600, pozwalający na wydłużenie odległości pomiędzy sensorem a mikrokontrolerem. Potrzebne są dwa takie moduły. Autor umieścił sensor w odległości około 8 metrów od mikrokontrolera. Do połączenia użyto zwykłego kabla o czterech parach przewodów przeznaczonych do użytku zewnętrznego;
- Moduł Adafruit BMP388 do precyzyjnego pomiaru ciśnienia barometrycznego i szacowania wysokości nad poziomem morza.

sprawdzić multimetrem poprawność montażu i wyeliminować ewentualne zwarcia. Pozostała część okablowania sensora jest łatwa do wykonania. Należy rozpocząć od umieszczenia małego kondensatora (0,1 nF) między przewodami zasilania i masy. Następnie należy podciągnąć linie CS i PSB, aby zainicjować I²C i ustalić adres czujnika (**fotografia 3**). Istnieją dwie możliwości adresowania, zależne od stanu wyprowadzenia konfiguracyjnego: adres 0x76 odpowiada stanowi wysokiemu, natomiast 0x77 niskiemu. Autor w swojej konstrukcji użył obydwu, aby zbudować „różdżkę” z dwoma czujnikami, rozstawionymi o stopę (ok. 30 cm) i uzyskać różnicę ciśnień w pomiarze.

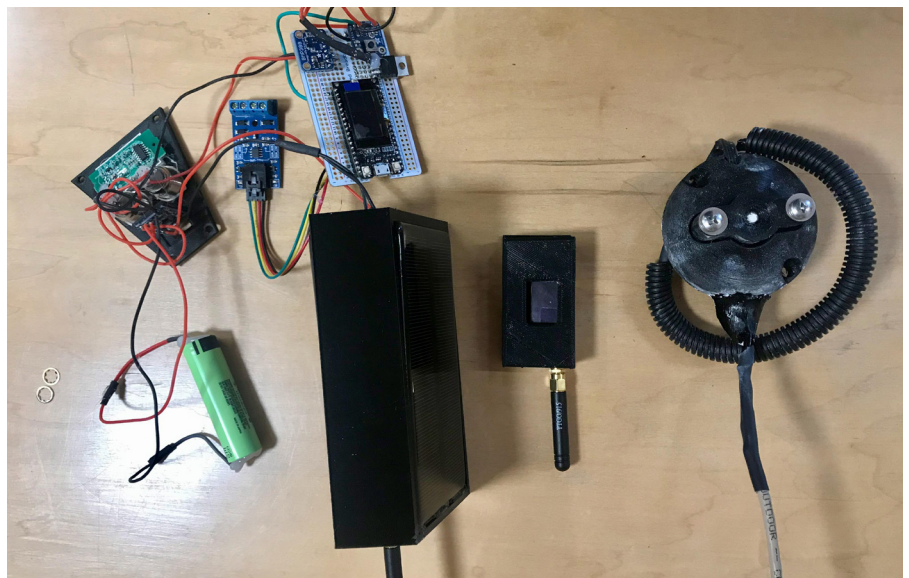
Dla czujnika została zaprojektowana i wykonana na drukarce 3D obudowa, która umożliwia jego całkowite zamknięcie (zalanie) w przezroczystej żywicy epoksydowej (**fotografia 4**). Otwór w obudowie idealnie pasuje do małej, nierdzewnej szyjki czujnika. Połączenie to należy uszczelnić np. za pomocą superglue, który będzie nie tylko zamykał obudowę, ale utrzymywał na miejscu sensor. Projekt obudowy dla MS580314BA można znaleźć na stronie projektu, na witrynie instructables.com, w postaci pliku STL.

Budowa sensora

Czujniki MS580314BA należy przylutować do małych płytek drukowanych, jak pokazano na **fotografii 2**. Dwie wcześniejsze prace (patrz linki we wcześniejszej części artykułu) dają kilka wskazówek, jak to zrobić. Podczas lutowania dobrze jest skorzystać z niskotemperaturowego lutowia, by nie przegrzać sensora, a na koniec



Fotografia 4. Sensor zalany żywicą w obudowie



Fotografia 5. Wszystkie elementy układu przygotowane do montażu

Obudowa

Obudowy modułów z GSM i LoRa są takie same. Obie wykonano w technologii druku 3D z bocznymi wstawkami dla paneli słonecznych. Jedyną modyfikacją dla modułu z interfejsem LoRa było dodanie otworu na antenę, który należy wywiercić tak, aby pasował do posiadanej przez nas anteny. Antena GSM w całości mieści się w obudowie, więc nie ma potrzeby wykonywania dodatkowych otworów.

Środek obu modułów jest identyczny, z otworami na włącznik i przyciskiem do włączania ekranu, pokazującego poziom baterii. Stopki obudowy są drukowane oddzielnie i przyklejane do skrzynek w rogach, aby zapewnić możliwość montażu urządzenia w terenie. Mała wieżyczka z gwintem, i pasująca pokrywka są przyklejone wokół otworu na port microUSB, aby chronić go przed wnikaniem wody. Urządzenie jest w zasadzie wodoodporne. Do wydruków należy użyć tworzywa PETG, aby zminimalizować odkształcenia cieplne.

Elementy wewnętrzne umieszczone są za pomocą mosiężnych mocowań z gwintem M3, wtapianych w obudowę. W plikach do pobrania można znaleźć dwa mocowania czujników, ponieważ w systemie są dwa czujniki, rozstawione na głowicy pomiarowej, którą wykonano ze szkła akrylowego. Oprócz dwóch sensorów na głowicy znajduje się również szczelna puszcza, w której zamknięty jest konwerter interfejsu I²C na sygnał różnicowy, co pozwala przesłać go na większą odległość. Puszcza z konwerterem także zalana jest żywicą epoksydową w celu zapewnienia szczelności.

Odbiornik LoRa jest w gotowej obudowie, wyposażonej w okienko na wyświetlacz OLED. Obudowę tę można znaleźć w [3]. Wszystkie komponenty systemu przygotowane do połączenia pokazuje fotografia 5.

Połączenia elektryczne

Czujniki ciśnienia są połączone równolegle z liniami SDA, SCL oraz liniami zasilania, w pojedynczym kablu, wykorzystującym skręcone pary. Po drodze, przy samych sensorach, dołączone są wzmacniacze I²C. Są one bardzo łatwe w instalacji – wystarczy podłączenie obu czujników do linii wejściowych i pośredni długi kabel (o długości do 60 metrów), który podłączony jest do drugiego wzmacniacza – odbiornika. Jeśli potrzebne jest wydłużenie połączenia, konieczna może być zmiana rezystorów, podciągających linie SDA i SCL na płytach. Schematy połączenia poszczególnych modułów i elementów pokazano na **rysunku 1**.

System działa na bardzo prostej zasadzie – włącznik doprowadza zasilanie do modułu czasowego Adafruit TPL5111, który ustawia wysoki poziom na wyprowadzeniu Enable co 10 minut (można oczywiście ustawić mniejszą lub większą częstotliwość transmisji danych). Moduł steruje tranzystorem MOSFET zasilającym główny moduł LoRa lub Arduino 400 GSM. Tranzystor to konieczność, ponieważ moduł TPL5111 nie jest w stanie dostarczyć dostatecznie dużego prądu do działania modułu GSM.

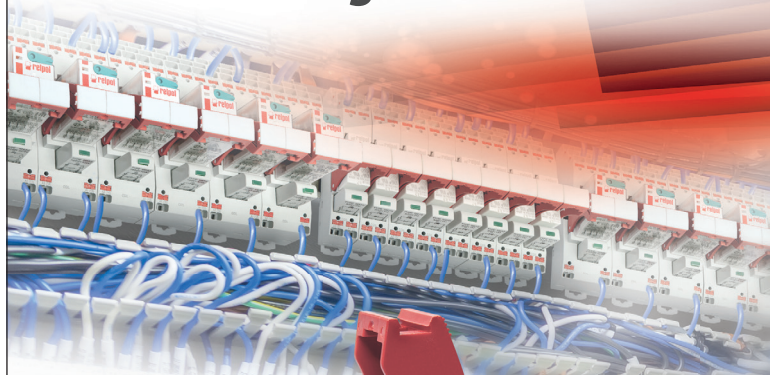
Zasilanie czujników i BMP388 pochodzi z płytki głównej, gdy jest ona włączona. Rezystory podciągające są we wzmacniaczach I²C i nie ma konieczności dodawania ich do interfejsu. Moduł ładowarki TP4056 działa świetnie z dwoma panelami słonecznymi i dołączoną baterią 18650 lub podobną. Przycisk łączy wyjście baterii z małym ekranem poziomu baterii. Dwa czujniki dołączone do zainstalowanego sensora wykorzystują dwa dostępne adresy, w tym adres układu BMP388 (0x77), więc jeśli stosuje się dwa czujniki, to układ BMP388 musi być podłączony do układu poprzez SPI.

Oprogramowanie

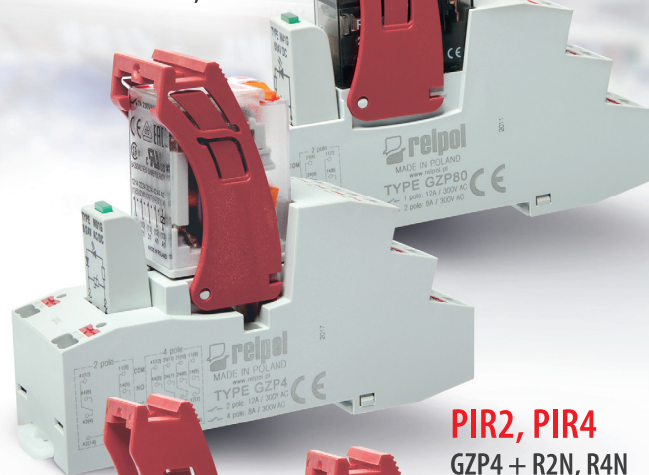
Oprogramowanie systemu jest naprawdę proste. Bazuje na bibliotekach przewidzianych dla czujników, które działają doskonale bez żadnej ingerencji, oraz na bibliotekach GSM Blynk dla Arduino, które doskonale współpracują z chmurą Hologram (usługa może



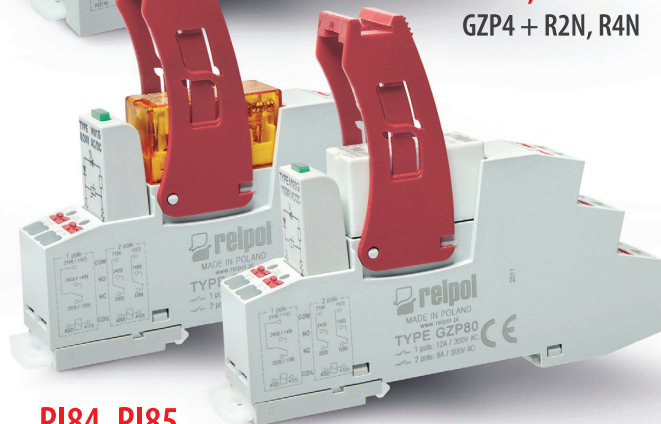
Przełączniki interfejsowe w technologii Push-in



PI84P, PI85P
GZP80 + RMP84, RMP85



PIR2, PIR4
GZP4 + R2N, R4N



PI84, PI85
GZP80 + RM84, RM85

- zaciski Push-in pod kątem (w kierunku koryt kablowych),
- przyciski zwalniające zaciski (wciśnięcie/wyjęcie),
- otwory pod sondy pomiarowe (swoboda kontroli),
- płytki opisowe na głęboki wpust (złączki rzędowe),
- przestrzeń do etykietowania (taśmy do 9 mm).

Biuro Obsługi Klienta: tel. 68 47 90 822, 850
sprzedaz@relpol.com.pl, www.relpol.com.pl

być niedostępna w Polsce). Wystarczy zarejestrować się, aby założyć konto Hologram i otrzymać kartę SIM, którą należy następnie umieścić w płytce Arduino 400 GSM. Cały proces logowania do sieci i chmury jest obsługiwany przez bibliotekę GSM Blynk dla Arduino. Szkic Arduino IDE zastosowany do kontroli systemu, z wykorzystaniem GSM, umieszczono na **listingu 1** (wszystkie listingi dostępne są na stronie internetowej <https://bit.ly/2ZHxPeW> i w materiałach dodatkowych na <http://media.avt.pl>).

Adafruit udostępnia bibliotekę dla sensorów BMP, a do obsługi sensora MS5803, autor użył biblioteki udostępnionej przez SparkFun.

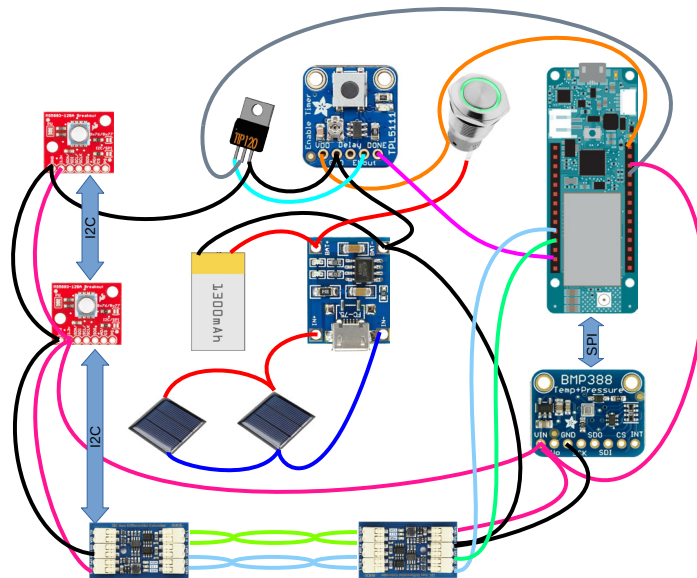
Do sterowania częstotliwością przesyłania danych zastosowano timer Blynk, aby zminimalizować ilość przesyłanych danych i nie narażać się na wysokie koszty przesyłu danych przez GSM. Autor przesyłał około 3 MB tygodniowo, co kosztowało go ok. 40 centów za ten okres.

Jednostka z interfejsem LoRa korzysta z tych samych bibliotek do obsługi sensorów. Wyłączono programowo ekran OLED, aby oszczędzać energię w systemie. Biblioteka obsługująca moduł LoRa automatycznie konfiguruje częstotliwość pracy interfejsu zależnie od kraju, w jakim pracuje. Następnie tworzy ciąg danych z separatorami, które umożliwiają wysyłanie odczytów czujnika w jednym podejściu, minimalizując obciążenie interfejsu. Następnie aktywuje pin, aby odłączyć zasilanie od mikrokontrolera, w celu oszczędzania energii. Na **listingu 2** znajdują się fragmenty szkicu Arduino IDE do obsługi transceivera LoRa.

Na **listingu 3** zaprezentowano kod programu, odpowiedzialnego za działanie odbiornika LoRa. Rozbija on odebrane słowo i wysyła zdekodowane informacje do aplikacji Blynk przez zawsze dostępne łącze Wi-Fi. Analogicznie do przypadku GSM, aplikacja Blynk służy do zbierania i prezentacji danych. Odbiornik jest niewiarygodnie mały – mieści się w obudowie zasilacza wtyczkowego, wraz z systemem zasilania z 230 VAC.

Przykładowe pomiary

Małutka powierzchnia czujnika MS5803 wychwytuje ciśnienie z dużą dokładnością – całą siłę nacisku z góry. Obejmuje to ciśnienie powietrza i wody, znajdującej się nad sensorem. Okresowe zmiany wysokości oceanu – takie jak fale – oraz zmiany ciśnienia powietrza, spowodowane burzami nad oceanem, mają wpływ na odczyt ciśnienia. Dlatego nad poziomem wody znajduje się dodatkowy czujnik ciśnienia barometrycznego w obudowie układu (dlatego nie może być ona w 100% szczelna). Sensor ten służy do korekcji pomiarów względem ciśnienia atmosferycznego, aby



Rysunek 1. Schemat połączenia poszczególnych modułów w urządzeniu

możliwy był pomiar tylko ciśnienia wody, znajdującej się nad sensorami.

Sensory poziomu wody są zakotwiczone w oceanie na pewnej głębokości, na której będą cały czas pokryte wodą – nawet podczas odpływu. Głębokość umieszczenia czujników jest dowolna, ponieważ będą mierzyć tylko zmianę wysokości słupa wody, a nie wysokość bezwzględna. Autor użył obciążnika z zamocowaną liną i pływakiem, aby zamontować sensor na ustalonej, stałej głębokości – około kilku metrów. Nadajnik GSM/LoRa zainstalowany został na pobliskiej łodzi, ale można umieścić go na pomoście, czy innym elemencie nabrzeża.

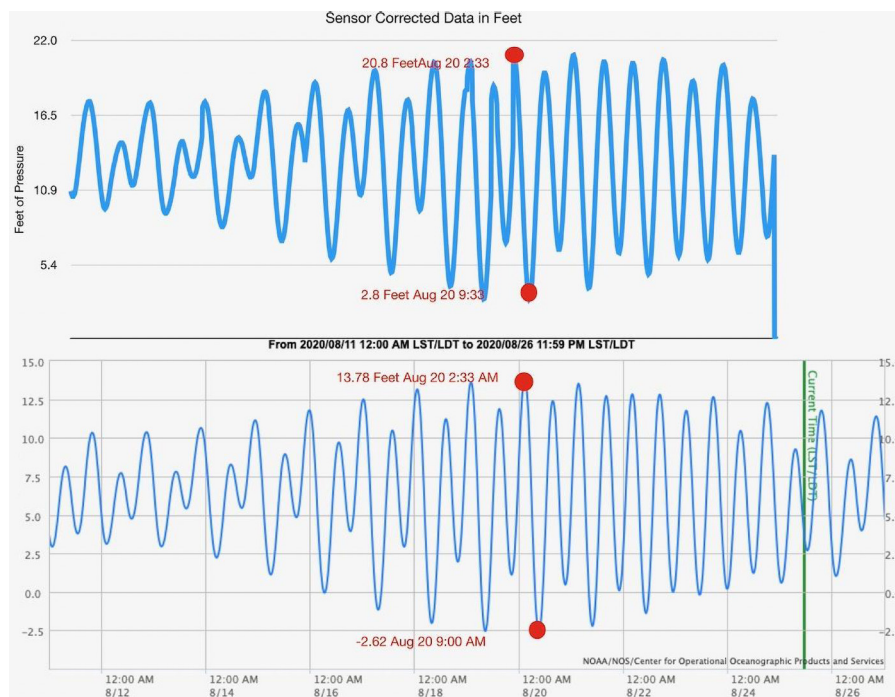
Wykres z **rysunku 2** pokazuje porównanie zmierzonych danych z wykresem

udostępnianym przez NOAA (Narodowa Służba Oceaniczna i Atmosferyczna USA) dla tego samego okresu. Zgodność danych jest bardzo duża. Układ bez problemu działał przez cały miesiąc na zasilaniu bateryjnym. Nawet bardzo energochłonny moduł GSM nie rozładował do końca akumulatora, dzięki ciągłemu doładowywaniu z ogniw fotowoltaicznych.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło:
<https://bit.ly/3kqsyJE>

- Linki
[1] <https://bit.ly/33Oi735>
[2] <https://bit.ly/2FKrk3H>
[3] <https://bit.ly/3iHDAAY>



Rysunek 2. Porównanie zmierzonych danych (u góry) z danymi zebranymi przez amerykańską Narodową Służbę Oceaniczną i Atmosferyczną (NOAA) dla tego samego okresu