

Grażyna FRYDRYCHOWICZ-JASTRZĘBSKA*

SYSTEM TRYBRIDS NA GRANITE ISLAND

Przeprowadzono analizę pracy instalacji trybrids, obejmującej system fotowoltaiczny, turbiny wiatrowe oraz uzupełniający ewentualne niedobory energii, generator propa-nowy. System trybrids zastosowano do zasilania latarni sygnalizacyjnej „morskiej” oraz stacji meteorologicznej na jeziorze Lake Superior. Ze względu na specyficzne warunki pracy, zlokalizowana na amerykańskiej wyspie Granite Island instalacja, wyposażona jest również w akumulatory energii elektrycznej i rozbudowany system monitoringu i sterowania. Monitoring bazuje na pracy 8 kamer i dostarcza dane do bazowej stacji komputerowej oraz stacji pogodowej Davisa. Dane pogodowe są weryfikowane w odstępach dziesięciominutowych.

SŁOWA KLUCZOWE: system trybrids, sterowanie i monitoring, latarnia morska, stacja meteorologiczna.

1. WPROWADZENIE

Zastosowanie układów bazujących wyłącznie na odnawialnych źródłach energii, zależnych w znacznej mierze od warunków atmosferycznych, nie gwarantuje stabilności dostaw energii do zasilanego obiektu.

Układy zasilające obiekty o takim znaczeniu jak latarnie morskie, muszą charakteryzować się wysoką jakością i niezawodnością. Wskazane jest stosowanie zasilania rezerwowego o charakterze konwencjonalnym, nawet w przypadku układów hybrydowych OZE, a konieczne – dla latarni morskich zasilanych z jednego źródła.

System zasilania latarni morskiej z instalacji PV wymaga również szeregu urządzeń dodatkowych, przede wszystkim: zasobników, Energia elektryczna nie jest wykorzystywana na bieżąco, bezpośrednio po pozyskaniu, musi być zatem przechowywana. Instalację wyposażać należy również w przekształtniki i regulatory.

Ogniwa fotowoltaiczne stosowane w latarni morskiej powinny być wodoszczelne, a ramy modułów wykonane z aluminium względnie z nierdzewnej stali. Zasadniczo stosuje się moduły o mocy jednostkowej w zakresie od 5 Wp do 170 Wp. W wyniku zastosowania różnych konfiguracji ich połączeń można uży-

* Politechnika Poznańska

skąć moc całkowitą do kilku kWp przy różnych wartościach napięć 6, 12, 24 i 48 V.

Przykładem rozwiązania hybrydowego z zastosowaniem OZE, uzupełnionego o konwencjonalne źródło energii (generator propanowy) jest system trybrids zainstalowany w latarni „morskiej” ze stacją meteorologiczną, zlokalizowanej na amerykańskiej wyspie Granite Island o współrzędnych geograficznych 46°43'15"N, 87°24'41"W [3], na jeziorze Lake Superior (o łącznej powierzchni 209,8 tys. km²).

2. LATARNIE MORSKIE ZASILANE ENERGIĄ SŁOŃCA

Moduły fotowoltaiczne do układu zasilającego latarni morskiej wprowadziła w 1966 roku, firma Sharp. Na japońskiej wyspie Ogami powstała największa wówczas tego typu instalacja o mocy 225 Wp [5]. Aktualnie już około 2000 latarni morskich wyposażonych jest w moduły PV tej firmy.

System fotowoltaiczny do zasilania urządzeń można zastosować tam, gdzie niemożliwe jest zasilanie obiektów w sposób konwencjonalny [6] Zapotrzebowanie typowej latarni morskiej na energię elektryczną wynosi od 48 kWh do 100kWh [8].

W kolejnych latach, na przełomie XX i XXI wieku liczne latarnie morskie o zasilaniu konwencjonalnym przechodziły na zasilanie energią Słońca. Nie zawsze z pozytywnym skutkiem, jak np. w przypadku latarni morskiej w Los Angeles, wybudowanej w 1913 roku, która jako pierwsza w Kalifornii, została przystosowana do takiego rozwiązania. Niestety, dwa lata później, po skargach na "jasność" została ponownie przełączona na konwencjonalne źródło energii.

Większość obiektów jednak z powodzeniem pracuje po zastosowaniu nowych technologii, jak np. latarnia Beachy Head Light (W. Brytania), od roku 2000 zasilana energią słoneczną.

Latarnia Rathlin O' Birne na północy Irlandii, zbudowana w 1844 roku, jest pierwszą latarnią morską w tym regionie zasilaną energią pozyskiwaną w wyniku konwersji fotowoltaicznej [5]. Wysyła sygnały świetlne o zabarwieniu zarówno czerwonym (zasięg 14 mM) jak i białym (zasięg odpowiednio 18 mM). Po rekonstrukcji wyposażona została w instalację PV o mocy 500Wp i 24 - woltowy akumulator o pojemności 6300 Ah.

Latarnia Bull Rock na wyspie Dursey (Irlandia), została zbudowana w 1889 roku i zelektryfikowana w 1974 roku, przy czym od 1991 roku zasilana jest energią elektryczną pozyskiwaną ze Słońca. Zasięg światła wynosi 23 mM. Do instalacji zaliczają się 32 moduły fotowoltaiczne po 50 Wp i baterie 12 woltowe o łącznej pojemności 5500 Ah. Latarnia zlokalizowana jest na wysokości 83 m n.p.m. Na wypadek awarii czy konieczności konserwacji wyposażona jest dodatkowo w lądowisko dla helikoptera [5].

Latarnia na portugalskiej wyspie Berlenga również korzysta z zasilania energią elektryczną modułów fotowoltaicznych krzemowych mono – i polikrystalicznych. Moduły rozmieszczono na wieży latarni i na dachu sąsiadującego budynku, ustawione optymalnie ze względu na zyski energetyczne, rysunek 1.



Rys. 1. Latarnia morska na portugalskiej wyspie Berlenga PV [Foto autora]

Latarnia morska Faro de Orchilla, zlokalizowana na El Hierro (najmniejszej wyspie w Archipelagu Wysp Kanaryjskich), to najbardziej na południe wysunięty punkt Europy ($27^{\circ}42' N$, $18^{\circ}08'$).

Zaprezentowano ją na rysunku 2.



Rys. 2. Latarnia morska Faro de Orchilla zasilana energią w wyniku konwersji fotowoltaicznej na płaskim dachu, po lewej, widoczny panel PV [Foto autora]

Faro de Orchilla zbudowana została w 1933 roku. W marcu 2011 roku przeszła restrukturyzację i po modyfikacji jest zasilana fotowoltaicznie. Latarnia świeci białym światłem o częstotliwości błysków co 5 sekund, Moc instalacji wynosi 3,6 kWp, co pozwala na generowanie 5400 kWh energii, przy jednoczesnym wyeliminowaniu emisji 6,6 ton CO₂ rocznie. Inwestycja jest częścią projektu PV na Wyspach Kanaryjskich i Balearach. [5,6].

W USA już ponad 17000 latarni morskich zasilanych jest energią elektryczną pozyskiwaną w wyniku konwersji fotowoltaicznej, czasowo zmagazynowaną w akumulatorach. Przykładowe obiekty to: w New Jersey - Brodwin Shoal Lighthouse, zbudowana w 1950 roku, od 1999 roku, Lausing Shoal w Michigan, Two Bush Light w Maine od 1999 roku, Potawatomi na Rock Island – od 1986 roku.

Latarnia Minots Ledge Light (Massachusetts), skonstruowana w 1850 roku zasilana jest obecnie energią elektryczną pochodzącą ze Słońca i magazynowaną w sześciu 12 – woltowych akumulatorach. Zasięg światła wynosi 14 mM, Obiekt jest zdalnie sterowany z bazy w Bostonie.

Latarnię Fort Pickering Light na wyspie Winter Island zbudowano w 1904 roku. Była zasilana energią elektryczną przesyłaną podwodnym kablem ze stałego łądu. Działała bez zakłóceń przez ponad 90 lat. W 1995 roku, rurociąg podwodny uległ korozji. Latarnia została zmodernizowana i aktualnie zasilana jest energią elektryczną pochodzącą z energii Słońca.

W Kalifornii, Los Angeles Harbour Lighthouse, jedyna na świecie latarnia morska emitująca światło szmaragdowe, od 1987 roku zasilana jest z modułów fotowoltaicznych.

Pierwsza amerykańska latarnia typu podwodnego Fourteen Foot Bank została skonstruowana w 1988 roku, dziesięć lat później po modyfikacji przeszła na zasilanie energią pozyskiwaną w wyniku konwersji fotowoltaicznej (przez 9 miesięcy w roku) [5, 6].

W Australii, Point Hicks Lighthouse o wysokości 37 m, wybudowana w 1890 roku, korzysta przy zasilaniu z instalacji PV [5].

3. INSTALACJA TRYBRIDS NA GRANITE ISLAND

System fotowoltaiczny do zasilania urządzeń można zastosować tam, gdzie jest to niemożliwe metodami konwencjonalnymi. Latarnie morskie, szczególnie te, odległe od łądu wymagają indywidualnego zasilania [5]. Niektóre z nowych rozwiązań (radiolatarnie XXI wieku) wyposażone są w systemy zasilane z ogniw fotowoltaicznych i obrotowe zestawy świetlne oraz systemy zdalnego sterowania, pozwalające modyfikować charakterystykę światła [3, 9].

Elektryczność do zasilania latarni wraz ze stacją meteorologiczną na amerykańskiej wyspie Granite Island zlokalizowanej na jeziorze jest generowana przez 4

moduły fotowoltaiczne i 2 turbiny wiatrowe [3]. Ze względu na specyficzne warunki pracy moduły posiadają certyfikat międzynarodowy [5]. Uzyskana z układu hybrydowego energia magazynowana jest w bateriach 24 – woltowych [3].

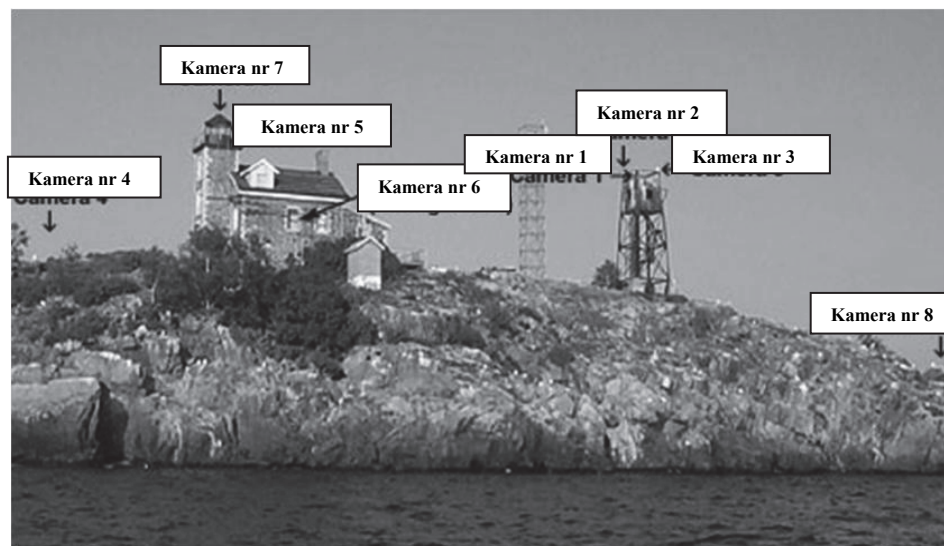
Przekształtnik zmienia wytwarzany w generatorze fotowoltaicznym prąd stały na zmienny o napięciu 115 V. Z uwagi na lokalizację i niestabilność zasilania obiektu istotnego dla żeglugi morskiej, będącą skutkiem znacznej zależności od warunków atmosferycznych, podstawowe rozwiązanie hybrydowe elektrownia PV + elektrownia wiatrowa uzupełnione jest o rezerwowe zasilanie, które stanowi generator propanowy. Całość tworzy rozwiązanie trybrids. Komputer współdziałający z przekształtnikiem kontroluje napięcie baterii i – jeżeli spadnie ono poniżej dopuszczalnej wartości, automatycznie włącza generator.

4. SYSTEM I WYNIKI MONITORINGU

System sterowania i monitoringu bazuje na wynikach pracy ośmiu kamer, podłączonych do sieci komputerowej oraz stacji pogodowej Davisa, zamontowanej na szczycie Bell Tower, [5].

Ich rozmieszczenie pokazano na rysunku 3.

Przykładowe wyniki monitoringu [3] przedstawiono natomiast w tabelach 1-4.



Rys. 3. Rozmieszczenie ośmiu kamer, podłączonych do sieci komputerowej oraz stacji pogodowej Davisa, zamontowanej na szczycie Bell Tower opracowanie własne na podstawie [3]

Tabela 1. Wyniki monitoringu parametrów w stacji meteorologicznej na Granite Island w dniu 24.02.2018., godz. 4.30-5.30, opracowanie własne na podstawie [3].

Godzina Parametr	4.30	4.40	4.50	5.00	5.10	5.20	5.30
Kierunek wiatru [°]	271,9	258,2	258,7	263,0	266,7	270,9	282,4
Prędkość wiatru [węzeł]	7,0	6,5	11,6	11,5	10,9	8,9	8,8
Podmuch wiatru [węzeł]	10,9	9,5	14,3	14,2	13,6	10,2	9,2
Ciśnienie na poziomie morza [mb]	1,022,8	1,022,9	1,022,8	1,022,9	1,022,8	1,022,8	1,022,7
Promieniowanie słoneczne [W/m ²]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Temperatura wody [F/C]	29,7/-1,3	29,7/-1,3	29,8/-1,2	29,6/-1,3	29,8/-1,2	29,5/-1,4	29,3/-1,5
Temperatura powietrza [F/C]	30,1/-1,0	30,1/-1,1	30,2/-1,0	30,0/-1,1	30,2/-1,0	29,9/-1,2	29,8/-1,2
Punkt rosy [F/C]	24,2/-4,3	24,1/-4,4	23,2/-4,9	23,3/-4,8	22,6/-5,2	23,1/-5,0	23,2/-4,9
Temperatura nieba [F/C]	22,8/-5,1	22,2/-5,4	22,0/-5,6	22,1/-5,5	19,2/-7,1	15,5/-9,2	13,3/-10,4
Wilgotność względna [%]	78,3	78,3	74,8	75,8	72,9	75,4	76,4
Deszcz [cal]	–	–	–	–	–	–	–
Śnieg [cal]	–	–	–	–	–	–	–

*Węzeł jednostka miary, stosowana pomocniczo w meteorologii – do określania prędkości wiatrów i prądów morskich równa jednej mili morskiej na godzinę, 1 w. = 1 mila morska/h = 1,852 km/h \approx 0,514444 m/s,
**Fahrenheit na Celsjusz $1^{\circ}\text{C}=(1^{\circ}\text{F}-32)/1,8$

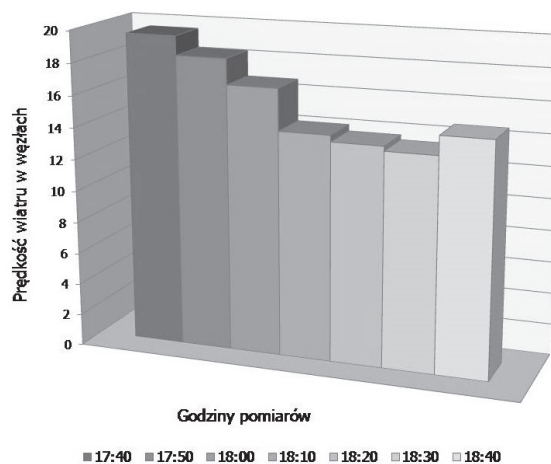
Tabela 2. Wyniki monitoringu parametrów w stacji meteorologicznej na Granite Island w dniu 24.02.2018., godz. 9.00-10.00, opracowanie własne na podstawie [3].

Godzina Parametr	9.00	9.10	9.20	9.30	9.40	9.50	10.00
Kierunek wiatru [°]	220,5	215,4	212,1	211,8	228,4	227,6	226,4
Prędkość wiatru [węzeł]	5,2	6,1	6,4	6,7	6,4	7,9	8,1
Podmuch wiatru [węzeł]	9,0	6,4	8,1	7,9	7,3	8,6	8,6
Ciśnienie na poziomie morza [mb]	1,022,9	1,023,0	1,023,0	1,023,0	1,023,0	1,023,0	1,023,0
Promieniowanie słoneczne [W/m ²]	107,2	196,8	181,2	328,1	309,0	264,3	368,1
Temperatura wody [F/C]	29,8/-1,2	30,8/-0,7	30,4/-0,9	32,0/0,0	31,7/-0,2	30,9/-0,6	31,4/-0,3
Temperatura powietrza [F/C]	29,9/-1,2	29,5/-1,4	29,5/-1,4	29,6/-1,3	30/-1,1	29,9/-1,1	30,3/-1,0
Punkt rosy [F/C]	21,2/-6,0	23,2/-4,9	23,7/-4,6	23,6/-4,7	23,5/-4,7	22,2/-5,4	21,4/-5,9
Temperatura nieba [F/C]	6,8/-14,0	10/-12,2	3,8/-15,6	4,9/-15,1	2,6/-16,3	-4,9/20,5	-9,8/-23,2
Wilgotność względna [%]	69,9	77,1	78,9	78	76,5	72,7	69,3
Deszcz [cal]	–	–	–	–	–	–	–
Śnieg [cal]	–	–	–	–	–	–	–

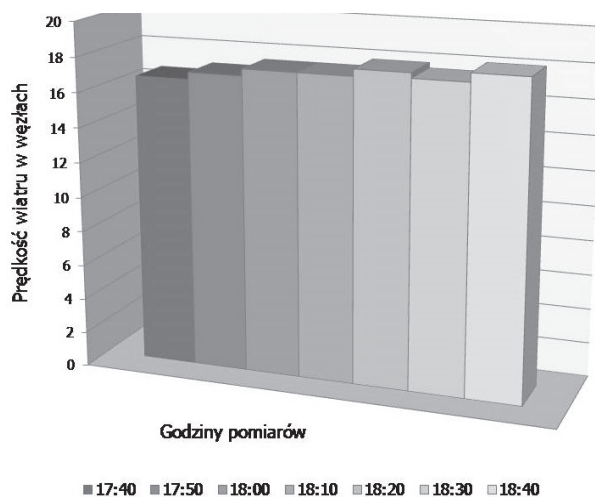
Tabela 3. Wyniki monitoringu parametrów w stacji meteorologicznej na Granite Island w dniu 24.02.2018., godz. 15.00-16.00, opracowanie własne na podstawie [3].

Godzina Parametr	15.00	15.10	15.20	15.30	15.40	15.50	16.00
Kierunek wiatru [°]	93,5	88,0	85,4	88,6	89,1	93,7	83,8
Prędkość wiatru [węzeł]*	12,3	12,5	13,2	13,1	13,2	11,9	12,2
Podmuch wiatru [węzeł]	13,8	13,7	14,5	14,7	14,7	13,5	13,5
Ciśnienie na poziomie morza [mb]**	1,018,,3	1,018,1	1,018,2	1,018,2	1,018,3	1,018,5	1,018,1
Promieniowanie słoneczne [W/m ²]	514,8	495,0	424,3	372,7	319,6	215,9	184,3
Temperatura wody [F/C]***	33,2/+0,7	33,5/+0,9	33,2/+0,8	32,0/0,0	32,6/+0,4	32,3/+0,2	31,4/-0,3
Temperatura powietrza [F/C]	30,0/-1,1	30,0/-1,1	30,0/-1,1	29,9/-1,2	29,8/-1,2	29,8/-1,2	29,7/-1,3
Punkt rosy [F/C]	24,6/-4,1	25,1/-3,8	25,1/-3,9	25,3/-3,7	25,2/-3,8	25,6/-3,5	25,5/-3,6
Temperatura nieba [F/C]	-7,1/-21,8	-6,9/-21,6	1,1/-17,2	1,0/-17,2	1/-17,2	3,9/-15,6	10,9/-11,7
Wilgotność względna [%]	80,2	81,8	82,0	82,7	83,0	84,4	84,2
Deszcz [cal]	-	-	-	-	-	-	-
Śnieg [cal]	-	-	-	-	-	-	-

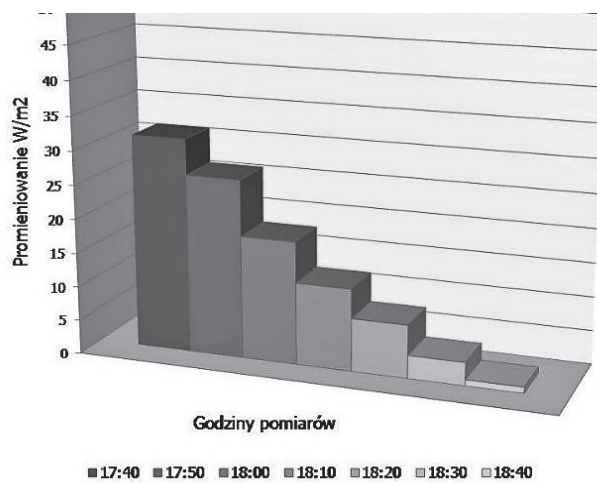
Na rysunkach 4, 5, 6, 7 przedstawiono wyniki monitoringu dwóch wybranych wielkości meteorologicznych, (prędkości wiatru i gęstości mocy promieniowania słonecznego, z uwagi na ich możliwy udział w pozyskiwaniu energii elektrycznej).



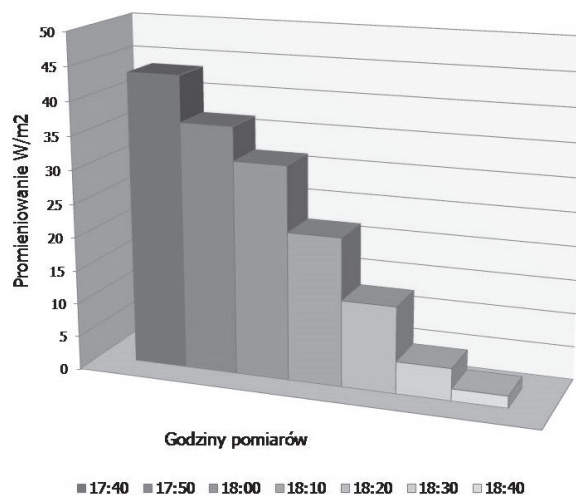
Rys. 5. Zmiany prędkości wiatru, informacje pozyskane z monitoringu dla godziny 17,40-18,40 w dniu 23.02.2018 opracowanie własne na podstawie [3]



Rys. 6. Zmiany prędkości wiatru, informacje pozyskane z monitoringu dla godziny 17,40-18,40 w dniu 24.02.2018 opracowanie własne na podstawie [3]



Rys. 7. Zmiany gęstości mocy promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą dla godziny 17,40-18,40 w dniu 23.02.2018, opracowanie własne na podstawie [3]



Rys. 8. Zmiany gęstości mocy promieniowania słonecznego na powierzchnię poziomą dla godziny 17,40-18,40 w dniu 24.02.2018. opracowanie własne na podstawie [3]

5. WYPOSAŻENIE KOMPUTEROWE

Cały system zasilania latarni sygnalizacyjnej i stacji meteorologicznej na amerykańskiej wyspie Granite Island jest skomputeryzowany i korzysta z danych pozyskanych z monitoringu współpracującego z systemem 8 kamer, (rys. 3).

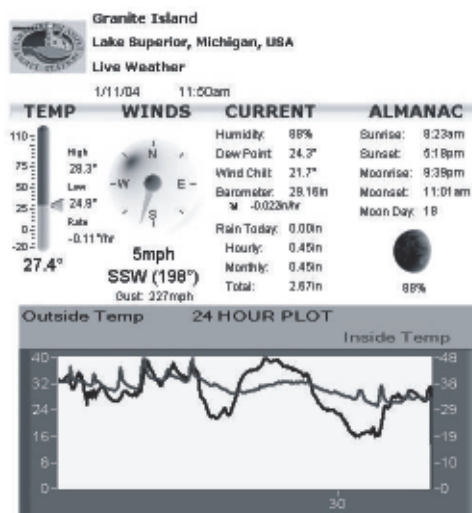
Na wyposażenie komputerowe składają się:

- Windows NT stacji (266 MHz, 128 RAM, 5 GB drive), energii,
- „bezprowadowy most” wraz z anteną zamontowana na budynku, przekazuje 5Mbs połączenia do lądu, tj. na odległość 9 Mm,
- osiowy serwer video –przyłącza kamery do internetu (Ethernet hub) i dostarcza połączenia LAN do internetu (RJ-45) usytuowanego w latarni [5].

W systemie tym możliwe jest zastosowanie telefonu i laptopa podczas pobytu ludzi na wyspie.

Dane pogodowe weryfikowane są w odstępach dziesięciominutowych [3].

Na rysunku 9 przedstawiono przykładowe dane komputerowe przekazane z wyspy do stacji bazowej.



Rys. 9. Przykładowe komputerowe dane meteorologiczne, opracowanie własne na podstawie [3]

6. PODSUMOWANIE

1. Coraz bardziej zyskują na popularności układy hybrydowe zasilania z udziałem OZE. Największe znaczenie mają w miejscach izolowanych, oddalonych od sieci. Powstały liczne publikacje, dotyczące pracy takich obiektów i ich optymalizacji [1, 2, 4, 5, 7, 8].

2. Proces zasilania latarni „morskiej” i stacji pogodowej na Granite Island z odnawialnych źródeł energii analizowany jest w aspekcie warunków meteorologicznych, które mogą zakłócić jego standardowy przebieg. Takim stochastycznym zjawiskiem jest zachmurzenie, co potwierdzają przykładowe wyniki badań gęstości mocy promieniowania słonecznego z monitoringu, rysunek 7 i 8, dla dwóch sąsiadujących dni, wykonane w tym samym czasie.

3. Prędkość wiatru zmienia się przykładowo w dniu 23.03. w godzinach od 17.40 do 18.40 - w zakresie 13,5-19,6 węzła, wliczając porywy (25,4 węzła), 24.02. - odpowiednio - od 16,7-18,0 węzły, w porywach do 20,0 węzła, rysunek 5 i 6. Co ciekawe jednak, w rozpatrywanym przedziale czasowym w pierwszym przypadku wiatr jest zachodni, w drugim ma kierunek zmieniony o 180 °.

4. Jak zatem można stwierdzić, warunki meteorologiczne są zmienne, trudno przewidywalne, nawet w zakresie 1-2 dni, a zasilanie latarni „morskiej” wymaga zapewnienia niezawodności. Układ na Granite Island stanowi bardzo dobre rozwiązanie ze względu na współpracę dwóch źródeł OZE, akumulatorów i rezerwy propanowej w aspekcie zapewnienia maksymalnej samowystarczalności energetycznej, niezawodności pracy latarni i stacji pogodowej, zwłaszcza, że podczas kilku miesięcy zimowych dostęp do wyspy, w wyniku oblodzenia nie jest moż-

liwy, a podczas jesiennych sztormów fale na jeziorze osiągają wysokość 22 stóp [3].

5. Rozpatrywane w literaturze rozwiązania hybrydowe często są zaprojektowane na bazie jednego źródła OZE (rozdział 2), nawet wielkoskalowe, jak np. na El Hierro, gdzie pracuje farma wiatrowa uzupełniona o magazyn energii szczytowo-pompowy [7], czy algierskim odizolowanym mieście Djanet o nasłonecznieniu znacznej wartości, wyposażonym w instalację PV [8].

6. Na chwilę obecną zabezpieczenie energii na bazie wyłącznie źródeł OZE w miejscach odizolowanych nie zapewni ciągłości zasilania (maksymalnie do 80%, wyjątkowo przekracza 90%) i konieczne staje się korzystanie z generatora spalinowego [7]. Nie mniej istotne jest upowszechnianie tego typu technologii ze względu na ochronę środowiska jak i oszczędność energii. Nie do pominięcia jest aspekt ekonomiczny [4, 6].

LITERATURA

- [1] Ashok S., Optimized model for community-based hybrid energy system, *Renewable Energy*, 32, 2007, 1155-1164.
- [2] Baipai P., Dash V., Hybrid renewable energy systems for Power generation in stand alone applications: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2012, 2926-2939.
- [3] Granite Island Light Station, Lake Superior, Detroit Free Press, November, 2001, <http://www.terrypepper.com/lights/superior/granite/granite.htm>, parameters monitoring 2018 February.
- [4] Hosseinalizadeh R., Shakouri H., Amalnick M.S., Taghipour P., Economic sizing of a hybrid (PV-WT-FC) renewable energy system (HRES) for stand-alone usages by an optimization-simulation model: Case study of Iran *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol. 54, 2016, 139-150.
- [5] Jastrzębska G.: *Ogniwa słoneczne, budowa, technologia, zastosowanie*, WKŁ, Warszawa, 2013.
- [6] Jastrzębska G., *Energia ze źródeł odnawialnych i jej wykorzystanie*, WKŁ, Warszawa 2017.
- [7] Jastrzębska G., El Hierro a first energetically self-sufficient region, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM Vienna 2017, Session Modern Energy and Power Sources (Modern and Clean Technologies), Issue 43, 651-658.
- [8] Yahiaoui A., Benmansour K., Tadjine M., Optimal Sizing and Control Strategy of renewable hybrid systems PV-diesel Generator-Battery application to the case of Djanet city of Algeria, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal* Vol. 2, No. 3, 2017, 485-491.
- [9] Lighthouses and Island Electrifications RPC Sri Ragavendra Power Controls.

SYSTEM TRYBRIDS ON GRANITE ISLAND

An analysis of the operation of the installation of trybrids, including the photovoltaic system, wind turbines and propane generator, supplementing potential energy shortages, was carried out. The trybrids system was used to power the lighthouse and meteorological station. Due to the specific working conditions, the plant is located on the American Granite Island, is also equipped with electric energy batteries and an extensive monitoring and control system. Monitoring is based on the work of 8 cameras and provides data to the base computer station and Davis weather station. Weather data is verified in ten-minute intervals.

(Received: 28.02.2018, revised: 10.03.2018)