



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ CHEMICZNY

LABORATORIUM ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Katedra Aparatury i Maszynoznawstwa Chemicznego

Wydział Chemiczny Politechniki Gdańskiej

INSTRUKCJA LABORATORYJNA 11-FR

OBSŁUGA APLIKACJI ZINTEGROWANEJ Z INSTALACJĄ FOTOWOLTAICZNĄ O MOCY 2 kWp



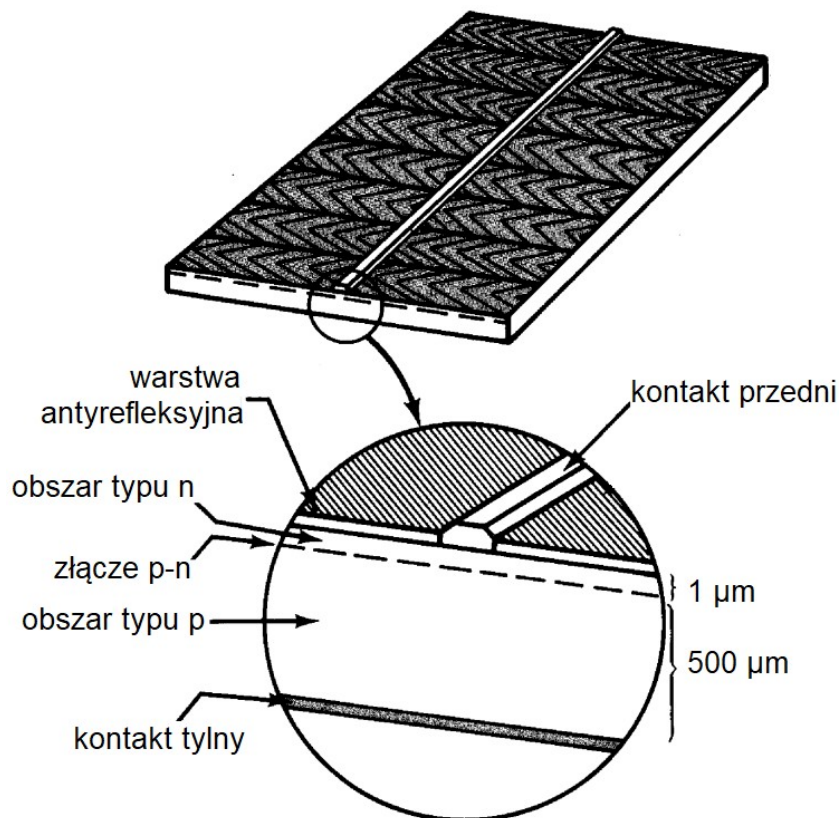
1. Cel i zakres ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie studentów z następującymi zagadnieniami:

- Praca z aplikacją podłączoną do instalacji fotowoltaicznej.
- Wyznaczanie parametrów elektrycznych instalacji fotowoltaicznej w warunkach rzeczywistych.
- Analiza ilości energii uzyskanej z instalacji fotowoltaicznej w porównaniu z danymi PV-GIS.

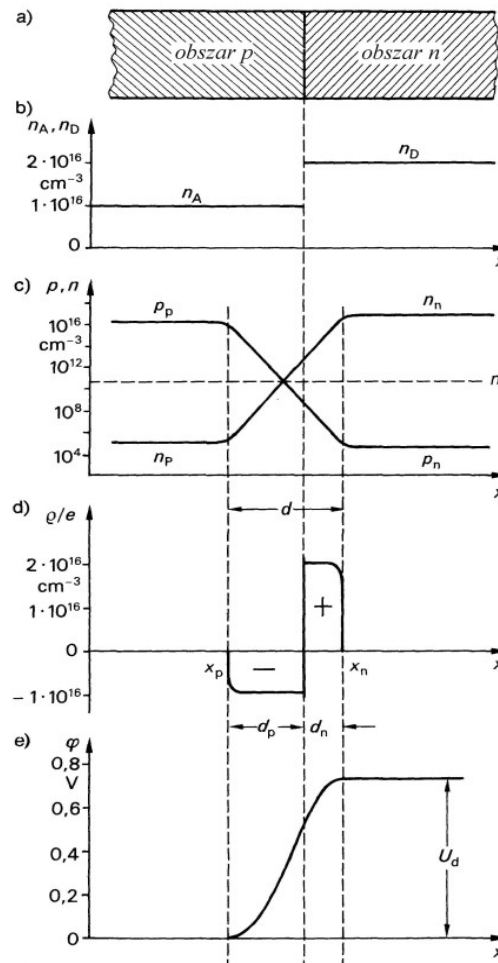
2. Tematyka ćwiczenia

Działanie ogniw fotowoltaicznych opiera się na wykorzystaniu efektu fotowoltaicznego, czyli bezpośredniej zamianie energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Energia fotonów padających na materiał półprzewodnikowy jest konwertowana przez struktury ogniwa i prowadzi do uwolnienia elektronów z międzyatomowych wiązań chemicznych. Nie wszystkie półprzewodniki mogą być wykorzystane do produkcji ogniw. Jest to w głównej mierze zależne od przerwy energetycznej E_g . Mniejsza wartość E_g pozwala na absorpcję szerszego spektrum widma słonecznego, ale jest to jednocześnie związane z generacją niższego napięcia fotoelektrycznego [1][2]. Niezwykle ważnym aspektem jest więc umiejętne dobranie czułości spektralnej baterii słonecznej do widmowej charakterystyki promieniowania. Obecnie na polskim rynku w blisko 90% stosowane są mono- i polikrystaliczne ogniwa fotowoltaiczne pierwszej generacji na bazie krzemu, zaś pozostały procent przypada na ogniwa cienkowarstwowe drugiej generacji z amorficznego krzemu ($a-Si$), selenku miedziowo-indowego (CIS) oraz selenku miedziowo-indowo-galowego (CIGS) [3]. Na Rysunku 1 przedstawiono przykład budowy ogniwa fotowoltaicznego.



Rys. 1. Układ ogniwa fotowoltaicznego na bazie krzemu [4]

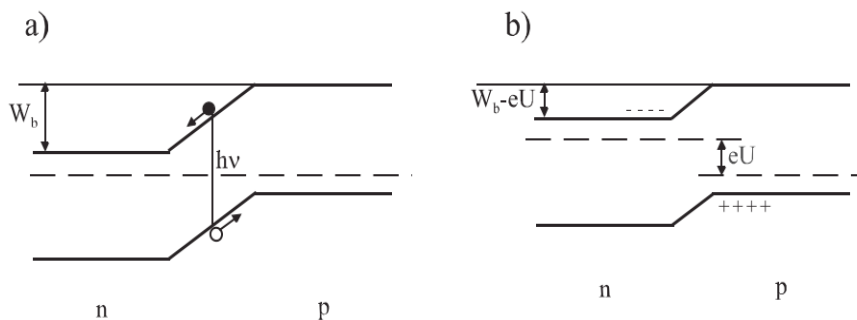
Podstawowym elementem struktury baterii słonecznych jest wytworzenie w nich złącza p-n, co zilustrowano na Rysunku 2. W ogniwie na bazie krzemu jest on w tym celu odpowiednio domieszkowany – fosforem dla uzyskania przewodnictwa elektronowego n i borem dla uzyskania przewodnictwa dziurowego p. Dla temperatury pokojowej można przyjąć założenie, że zjonizowane są wszystkie domieszki akceptorowe n_A w półprzewodniku typu p oraz donorowe n_D w półprzewodniku typu n. Uzasadnione jest wówczas zastosowanie takiego przybliżenia, które przyrównuje koncentrację odpowiednich nośników większościowych do danych domieszek. Z chwilą utworzenia złącza p-n na granicy obu obszarów istnieje duży gradient koncentracji elektronów i dziur, co umożliwia ich dyfuzję i utworzenie warstwy zubożonej. Tworzy się więc ładunek przestrzenny o grubości d – dodatni po stronie obszaru n, ponieważ nastąpił ich odpływ na stronę obszaru p i ujemny po stronie obszaru p na tej samej zasadzie. Tak powstała różnica potencjału między obszarem p i n nazywa się napięciem dyfuzyjnym U_d .



Rys. 2. Asymetryczne złącze p-n w materiale na bazie krystalicznego krzemu: a) połączenie półprzewodnika typu p i n, b) koncentracja akceptorów $n_A = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ i donorów $n_D = 2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, c) koncentracja swobodnych nośników ładunku, d) gęstość ładunku przestrzennego, e) przebieg potencjału [5]

W chwili oświetlenia złącza p-n światłem o odpowiedniej długości fali, następuje absorpcja padających fotonów i generacja pary elektron-dziura (Rysunek 3a). Pole złącza rozdziela ładunki w taki sposób, że elektrony trafiają do obszaru n, zaś dziury – do obszaru p (Rysunek 3b). W rezultacie powstaje różnica potencjałów, polaryzująca złącze w kierunku przewodzenia. Charakterystyka prądowo-napięciowa wyraża się równaniem diody, w którym I to prąd, jaki popłynąłby przez złącze p-n pod wpływem napięcia fotoelektrycznego U .

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{eU}{kT} \right) - 1 \right] \quad (1)$$



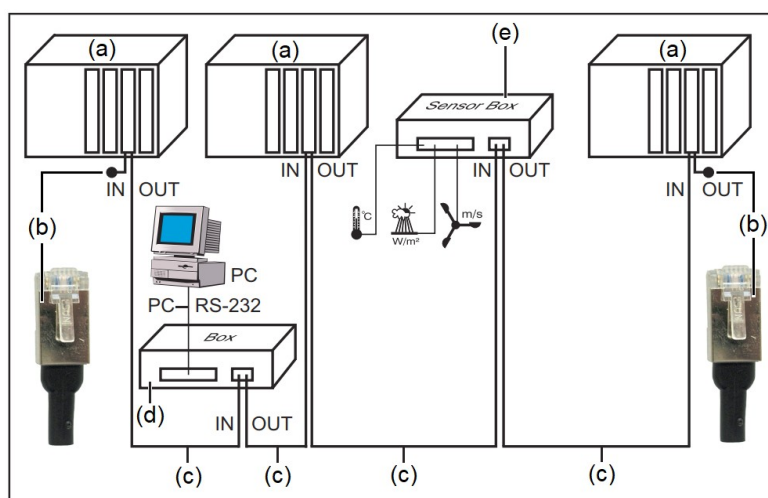
Rys. 3. Generacja napięcia fotowoltaicznego w złączu p-n po jego naświetleniu [5]

Zestaw eksperymentów do wykonania w ramach ćwiczenia

- A. Sporządzanie bilansów na podstawie mocy i sprawności obliczonych dla instalacji fotowoltaicznej
- B. Porównanie danych otrzymanych z instalacji fotowoltaicznej z danymi z PV-GIS

3. Opis stanowiska

Układ pomiarowy składa się z 8 modułów fotowoltaicznych umieszczonych na południowo-wschodniej elewacji budynku Chemii C Politechniki Gdańskiej, falownika oraz rejestratora danych Fronius Datalogger Card wraz z Sensor Box, który umożliwi przesłanie danych do aplikacji Fronius Solar.web. Czujniki urządzenia rejestrują nasłonecznienie, temperaturę modułu, temperaturę otoczenia, generowaną energię elektryczną, napięcie i natężenie prądu stałego oraz napięcie i natężenie prądu zmiennego. Cały system jest zaprojektowany tak, aby możliwa była jego rozbudowa oraz dodanie komponentów, a poglądowy schemat instalacji przedstawiono na Rysunku 4.



Rys. 4. a) Falownik z urządzeniem Fronius, b) opornik końcowy, c) kabel wymiany danych, d) rejestrator danych, e) Sensor Box zamknięty w zewnętrznej obudowie [6]

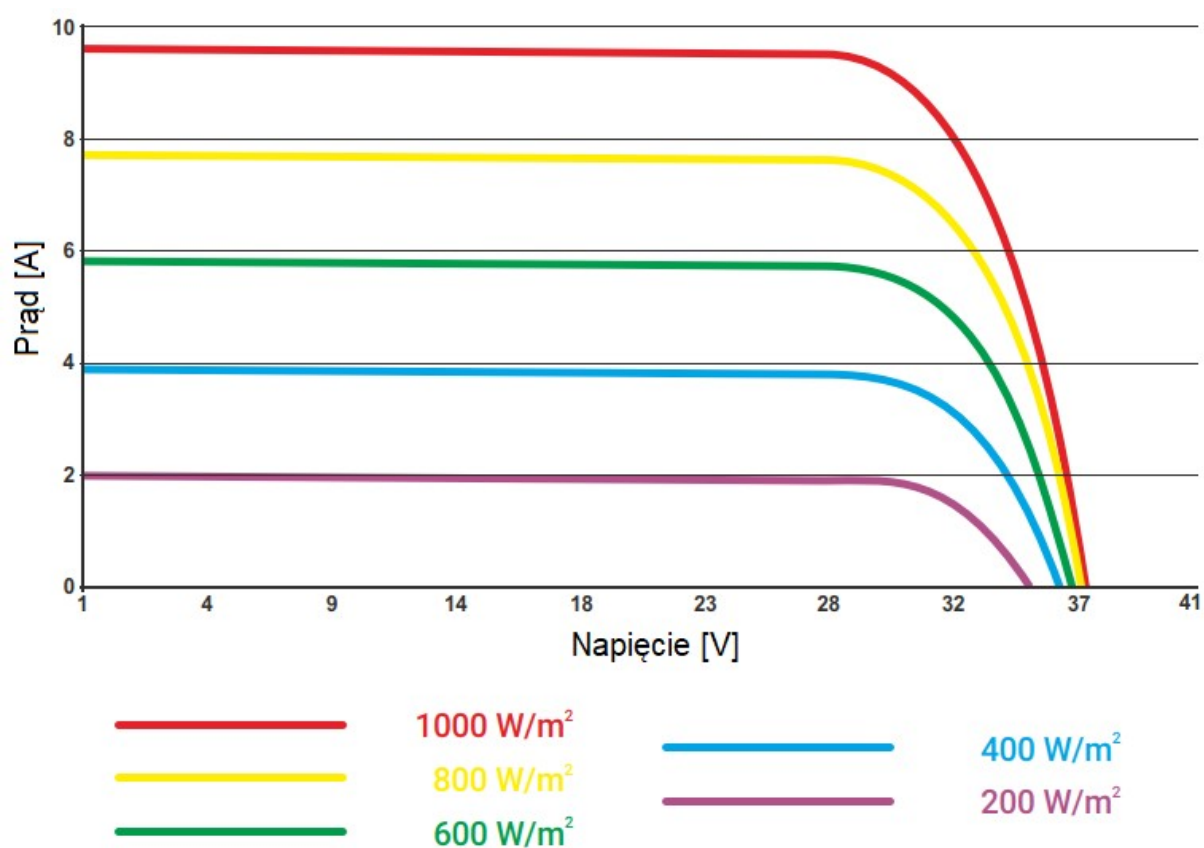
3A. Instalacja fotowoltaiczna

Układ pomiarowy składa się z 8 monokrystalicznych krzemowych modułów fotowoltaicznych BEM-250 firmy Bruk-Bet Solar. Dane techniczne modułu oraz charakterystykę prądowo-napięciową przedstawiono odpowiednio w Tabeli 1 i na Rysunku 5.

Tab. 1. Właściwości elektryczne oraz fizyczne modułu fotowoltaicznego BEM-250 Bruk-Bet Solar [7]

Właściwości elektryczne	
Moc maksymalna [P_{MAX}]	250 Wp
Prąd zwarcia [I_{sc}]	9,20 A
Napięcie obwodu otwartego [U_{OC}]	38,80 V
Prąd w punkcie mocy maksymalnej [I_{MAX}]	8,80 A
Napięcie w punkcie mocy maksymalnej [U_{MAX}]	28,45 V
Sprawność modułu	15,51 %
Tolerancja mocy	0 + 4,99 Wp
Współczynnik temperaturowy prądu	0,03 %/°C
Współczynnik temperaturowy napięcia	-0,31 %/°C
Współczynnik temperaturowy mocy	-0,39 %/°C
Nominalna temperatura pracy ogniwa (800 W/m ² , 20°C, AM 1.5, 1 m/s)	43±2 °C

Właściwości fizyczne	
Ilość ogniw w module	54
Typ ogniw	Monokrystaliczne
Długość	1634 mm
Szerokość	986 mm
Grubość	8 mm
Masa	27 kg
Puszka przyłączeniowa	IP67
Ilość diod bypass	1
Zabezpieczenie przed prądem wstecznym	15 A



Rys. 5. Charakterystyka prądowo-napięciowa panelu fotowoltaicznego BEM-250 Bruk-Bet Solar przy różnym natężeniu padającego światła słonecznego [7]

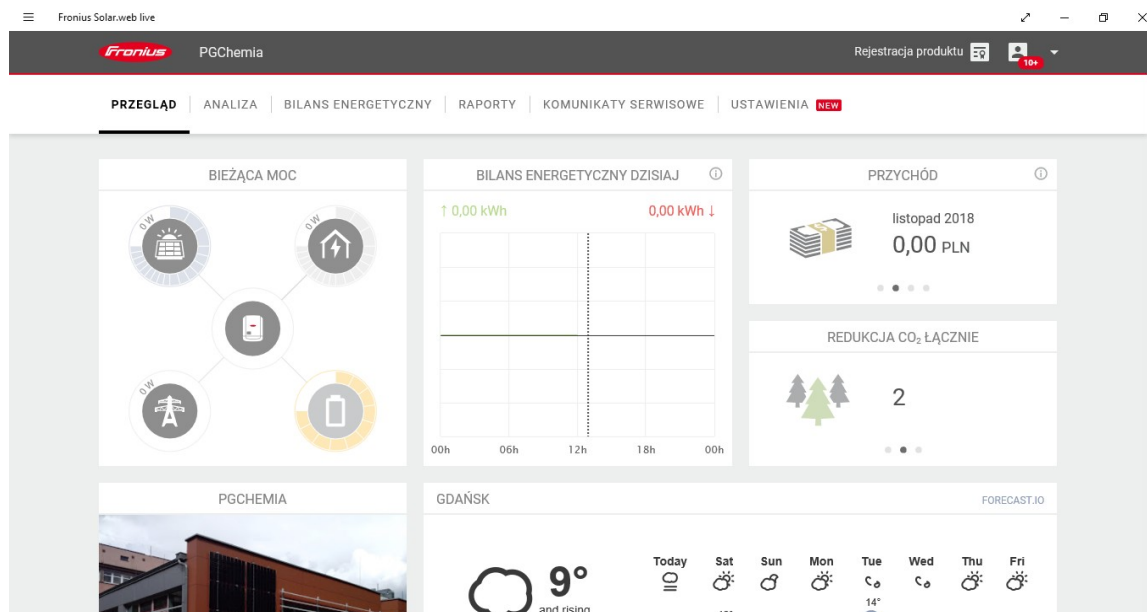
3B. Aplikacja

Aplikacja internetowa Fronius Solar.webb pozwala na monitorowanie stanu instalacji fotowoltaicznej. Widok dla instalacji zamontowanej na elewacji budynku Chemia C Politechniki Gdańskiej otwiera się przez wybranie „Polecień aplikacji” w lewym górnym rogu ekranu komputera, a następnie kliknięciu na ikonę „Solar.web” – oba elementy zostały zaznaczone na czerwono na Rysunku 6.



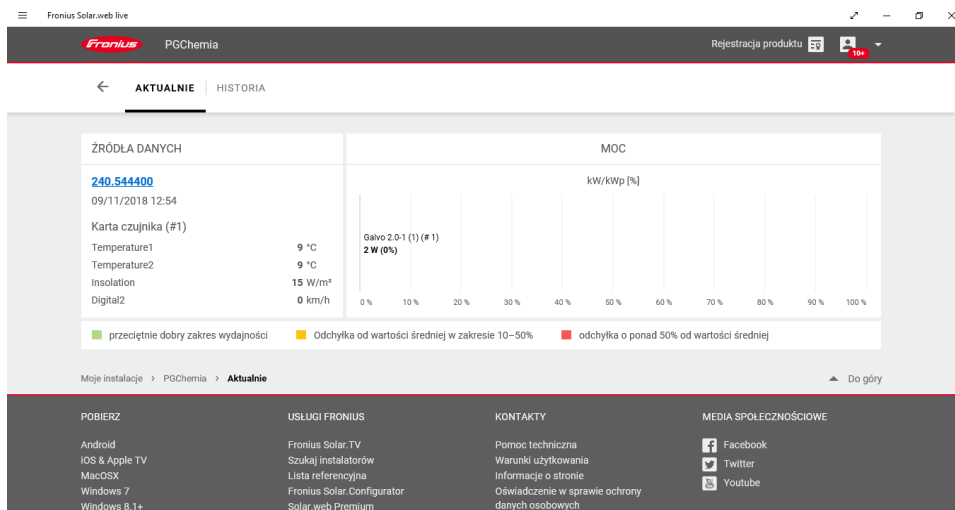
Rys. 6. Widok po wybraniu paska wyboru i poleceń aplikacji

Główny widok aplikacji na stronie Solar.web to wgląd w bieżącą pracę modułów fotowoltaicznych, czyli bieżącą energię i moc, bilans energetyczny, przychód oraz redukcję dwutlenku węgla wydzielanego do atmosfery (Rysunek 7). Ponadto widoczny jest też podgląd warunków pogodowych na dzień obecny i bieżący tydzień.



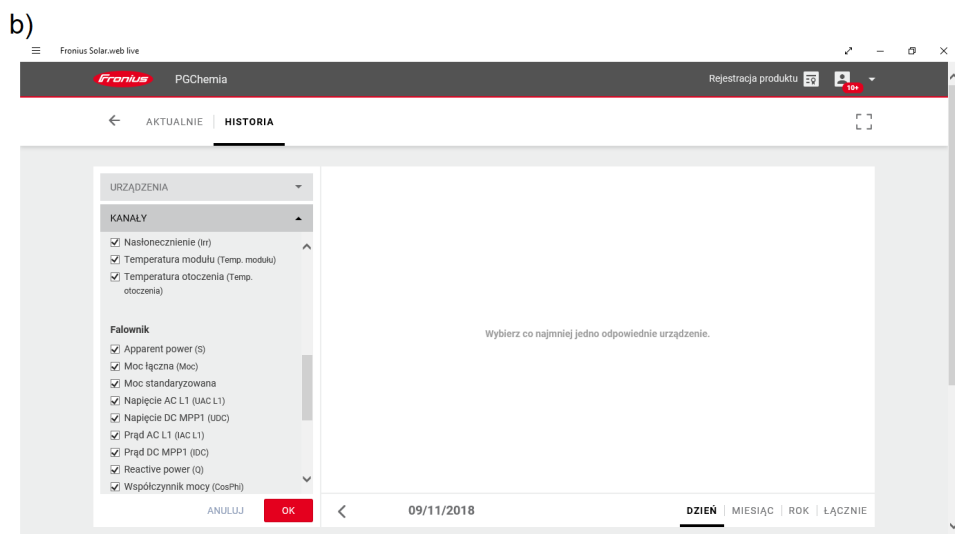
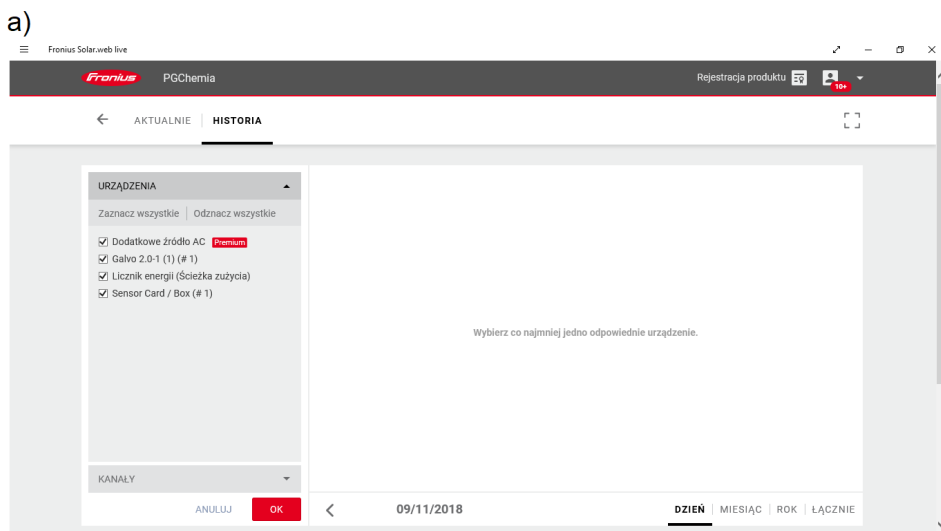
Rys. 7. Główne okno aplikacji Solar.web

Pozostałe zakładki zawierają dane, jakie można uzyskać z aplikacji. W zakładce „Analiza” znajdują się źródła z karty czujnika instalacji fotowoltaicznej (Rysunek 8) oraz bardziej szczegółowy wgląd w poszczególne jej parametry.

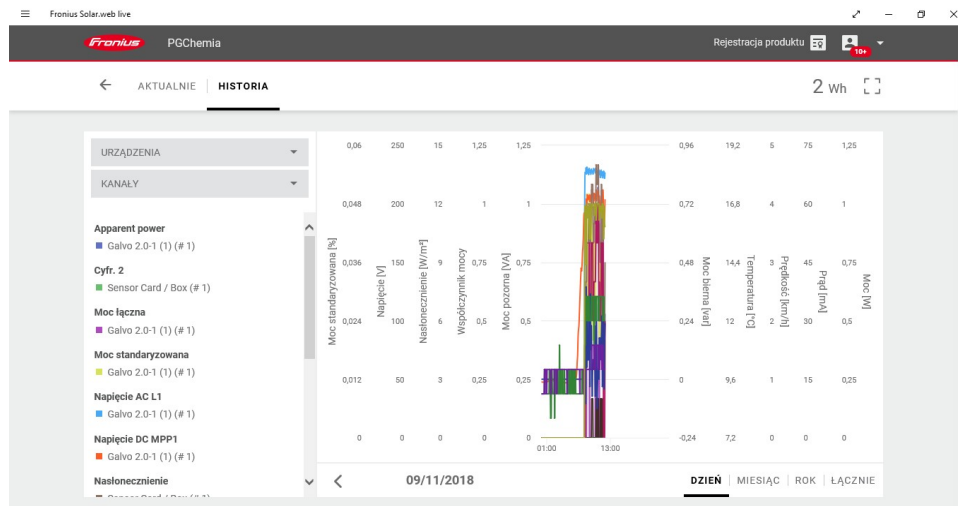


Rys. 8. Aktualny widok na instalację fotowoltaiczną

Można uzyskać dzienne, miesięczne, roczne oraz łączne zestawienie wybranych danych. Należy w tym celu zaznaczyć pożądane urządzenia oraz kanały (Rysunek 9). Po zatwierdzeniu wyboru aplikacja wykreśli zadane zależności (Rysunek 10).



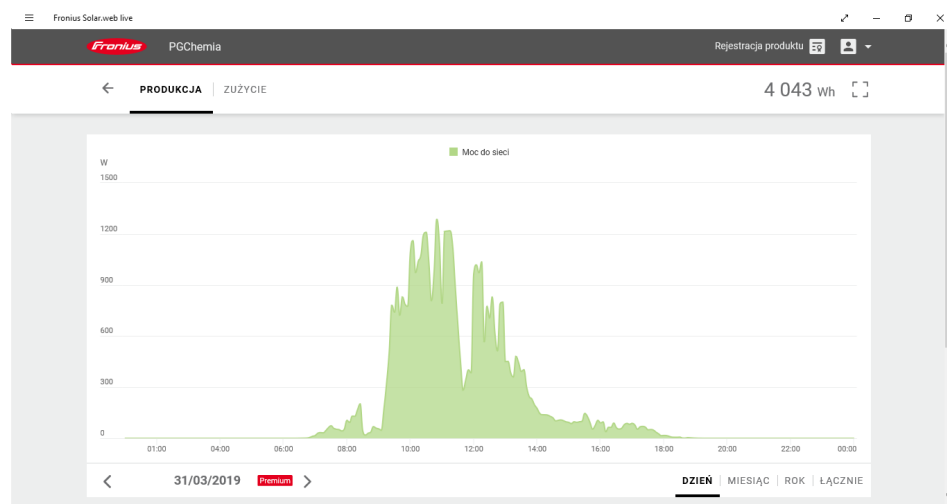
Rys. 9. Wybór urządzeń oraz kanałów dla instalacji fotowoltaicznej



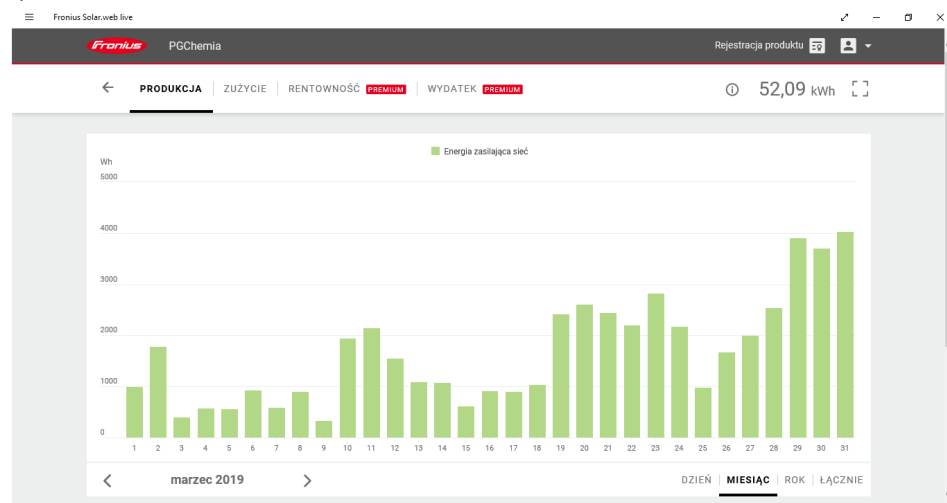
Rys. 10. Otrzymane zależności przedstawione w formie wykresów

Zakładka „Bilans energetyczny” dzieli się na dwie zakładki. „Produkcja” pozwala uzyskać dane energii oddanej do sieci w zestawieniu dziennym, miesięcznym, rocznym oraz łącznym (Rysunek 11).

a)

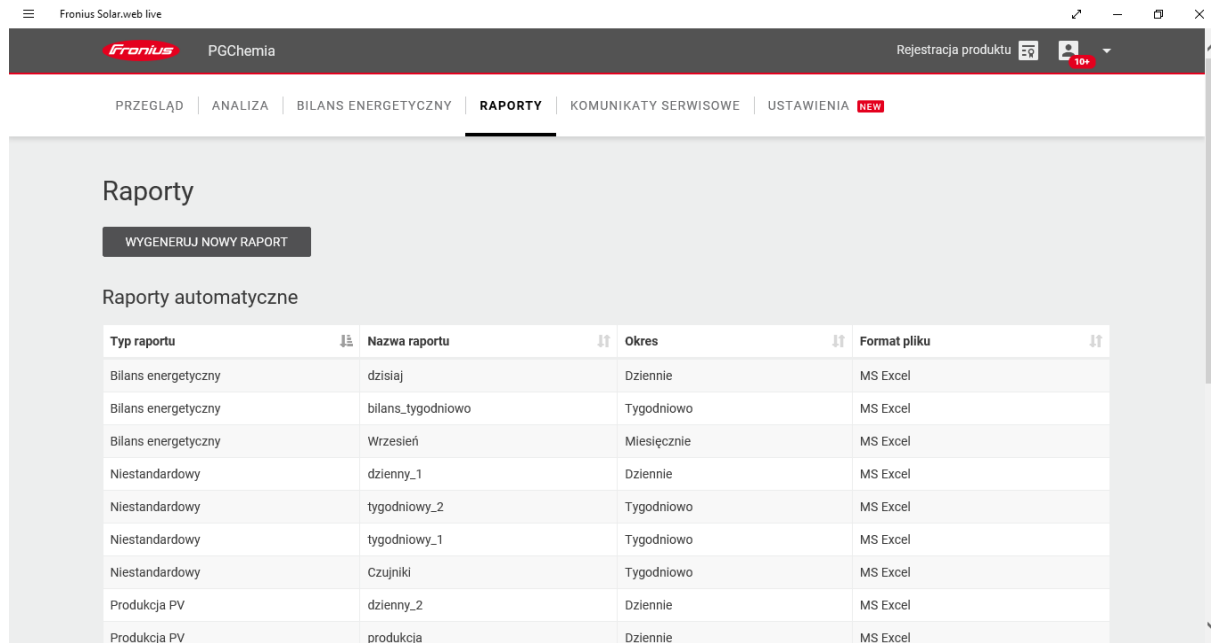


b)



Rys. 11. Energia oddana do sieci z instalacji fotowoltaicznej w marcu 2019 roku: a) dzienna, b) miesięczna

Z aplikacji można wygenerować raporty w formacie .xlsx, przy czym należy mieć na uwadze, że szczegółowe dane z rozbiem na poszczególne przedziały czasowe generuje raport o typie „Niestandardowy”. Dane zapisywane są z odstępem pięciominutowym w formie raportu dziennego, tygodniowego lub miesięcznego. Możliwe jest też uzyskanie raportu z innego przedziału czasowego, należy wówczas zaznaczyć go na kalendarzu dostępnym dla opcji „Wygeneruj nowy raport” (Rysunek 12). Dane wygenerowane w raporcie to między innymi nasłonecznienie, temperatura otoczenia, temperatura modułu, energia, napięcie oraz natężenie dla instalacji fotowoltaicznej, na podstawie których można wykreślić odpowiednie zależności. Wszystkie raporty dzienne, tygodniowe i miesięczne umieszczone są na pulpicie w folderze „Raporty”.



Rys. 12. Widok na zakładkę „Raporty” dla instalacji fotowoltaicznej

4. Przebieg ćwiczenia

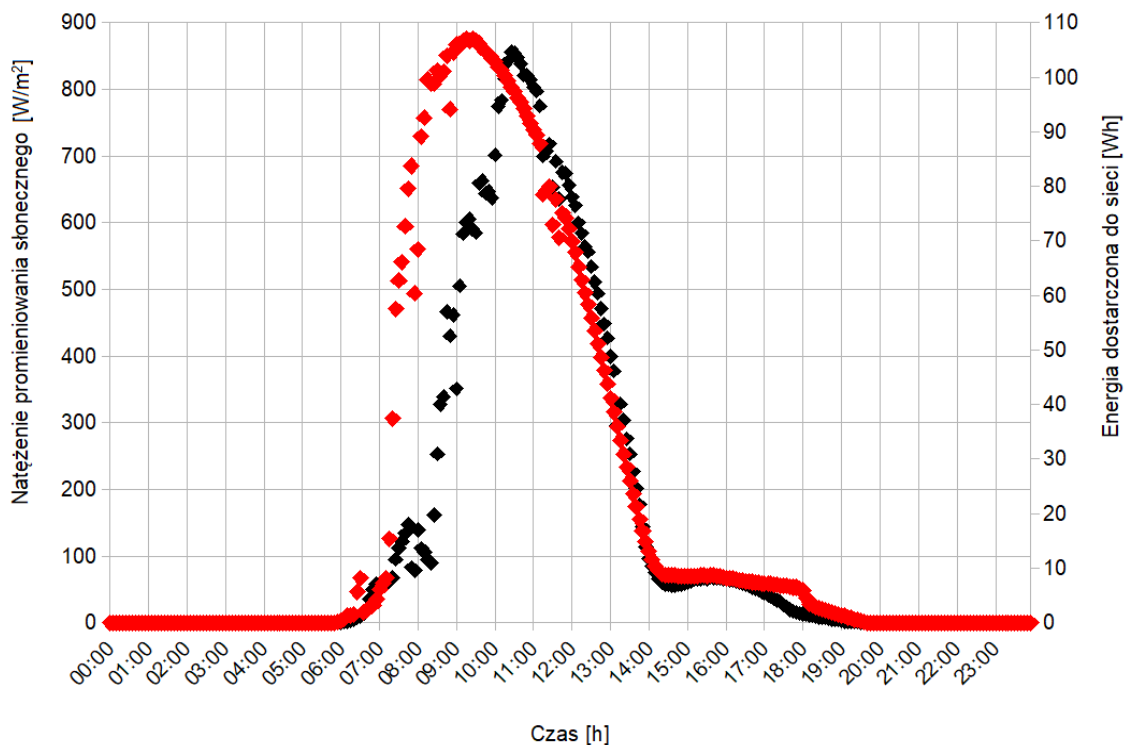
A. Sporządzanie bilansów na podstawie mocy i sprawności obliczonej dla instalacji fotowoltaicznej

Z zakładki „Produkcja” w aplikacji Solar.web należy wybrać widok dzienny dla miesiąca wskazanego przez prowadzącego. Następnie ustalić, w którym dniu wystąpiła największa wartość energii oddanej do sieci. Następnie z folderu „Raporty” umieszczonego na pulpicie pobrać raporty – dzienny dla wyżej wspomnianego dnia o maksymalnym uzysku energetycznym (Rysunek 13), tygodniowy oraz miesięczny.

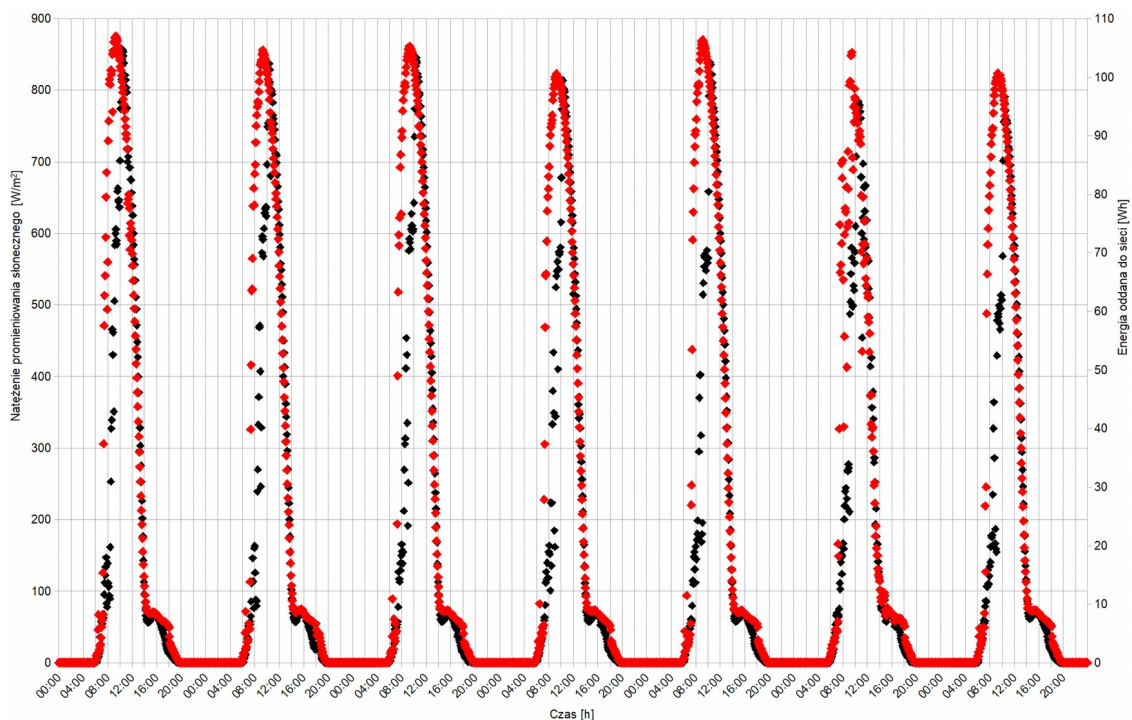
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Data i godzina	Nasłonecznienie [Sensor Card / Box]	Temperatura modułu [Sensor Card / Box]	Temperatura otoczenia [Sensor Card / Box]	Energia [Sabto 2.0-1 (I) (# 1)]	Napięcie AC L1 [Sabto 2.0-1 (I) (# 1)]	Napięcie DC MPP1 [Sabto 2.0-1 (I) (# 1)]	Prąd AC L1 [Sabto 2.0-1 (I) (# 1)]	Prąd DC MPP1 [Sabto 2.0-1 (I) (# 1)]	
	[dd.MM.yyyy]	[W/m²]	[°C]	[°C]	[Wh]	[V]	[V]	[A]	[A]	
101	15.04.2019 08:00	560	20	8	16.99	235.1	249.3	1.2	0.91	
102	15.04.2019 08:05	729.28	18.99	8	13.63	235.7	252	1.14	0.75	
103	15.04.2019 08:10	757	18	8	12.94	234.8	252.2	1.12	0.69	
104	15.04.2019 08:15	815	17	7	11.48	234.9	252.3	1.1	0.62	
105	15.04.2019 08:20	808.99	17.02	8.99	10.98	234.6	254.04	1.07	0.59	
106	15.04.2019 08:25	808	19	8	19.75	234.6	248.1	1.36	1.07	
107	15.04.2019 08:30	827.94	22.02	8.01	30.93	234.4	229.55	1.84	1.8	
108	15.04.2019 08:35	822	24	9	40.01	235.2	234.5	2.24	2.42	
109	15.04.2019 08:40	827	25	9	41.47	234.2	233	2.33	2.54	
110	15.04.2019 08:45	850.19	25.99	8.01	56.97	234.9	203.18	3.03	3.58	
111	15.04.2019 08:50	770	25	9	52.99	235.5	200.8	2.85	3.35	
112	15.04.2019 08:55	855.12	25.98	9	56.41	235.9	207.78	2.99	3.48	
113	15.04.2019 09:00	867	24	9	42.9	236.1	215.9	2.38	2.59	
114	15.04.2019 09:05	866	27	9	61.77	236.6	220.6	3.28	3.57	
115	15.04.2019 09:10	873.02	29.01	9.01	71.3	236.7	234.99	3.7	3.8	
116	15.04.2019 09:15	875	30	10	73.32	236	233.8	3.81	3.94	
117	15.04.2019 09:20	873.02	30	9.99	74.04	236	231.71	3.85	4.01	
118	15.04.2019 09:25	875	30	9	72.13	236.5	232.9	3.73	3.88	
119	15.04.2019 09:30	872	27	8	71.49	236.6	224.8	3.75	4.04	
120	15.04.2019 09:35	868.99	30.01	10	80.51	236.6	220.3	4.15	4.36	
121	15.04.2019 09:40	862	31	10	81.04	236.6	229.9	4.18	4.41	
122	15.04.2019 09:45	855.96	30.02	9	78.72	236.5	230	4.06	4.27	
123	15.04.2019 09:50	852	32	9	79.03	236.3	230.1	4.09	4.3	
124	15.04.2019 09:55	846	34	10	77.79	236.4	228.4	4.05	4.26	
125	15.04.2019 10:00	841.91	33.99	9.99	85.75	236.6	227.85	4.4	4.68	
126	15.04.2019 10:05	833	33	9	94.64	236.4	223.3	4.86	5.26	
127	15.04.2019 10:10	827.89	33	10	95.78	236.6	222.55	4.9	5.32	
128	15.04.2019 10:15	820	33	10	98.65	237.1	217.7	5.11	5.67	
129	15.04.2019 10:20	812	31	10	103	237.2	208.9	5.3	6.22	
130	15.04.2019 10:25	803.93	29.99	9.01	104.66	236.7	205.7	5.34	6.36	
131	15.04.2019 10:30	797	29	10	104.88	236.5	205.8	5.32	6.32	
132	15.04.2019 10:35	787.92	28.01	9.01	103.99	236.1	206.3	5.29	6.26	
133	15.04.2019 10:40	780	29	10	102.38	236.1	206.3	5.24	6.21	
134	15.04.2019 10:45	771	29	10	100.38	236	206	5.18	6.13	
135	15.04.2019 10:50	759.89	28.99	10	100.32	236.2	205.5	5.14	6.08	
136	15.04.2019 10:55	749	28	10	99.51	236.5	206.7	5.08	6	
137	15.04.2019 11:00	738.93	29	11	98.24	237.1	206.9	5.03	5.94	
138	15.04.2019 11:05	732	29	11	97.43	236.7	206.8	4.98	5.88	
139	15.04.2019 11:10	719	29	11	94.68	236.8	206.8	4.89	5.77	
140	15.04.2019 11:15	642.08	28.99	11	85.34	236.8	207.1	4.4	5.16	

Rys. 13. Przykładowy widok raportu dziennego z 15.04.2019

Z danych z raportu dziennego przedstawić na jednym wykresie zależności natężenia promieniowania słonecznego oraz energii oddanej do sieci w funkcji czasu (Rysunek 14). Na osobnym wykresie umieścić zestawienie tygodniowe dla takich samych parametrów – dane pobrać z raportu tygodniowego (Rysunek 15).



Rys. 14. Wykres natężenia promieniowania słonecznego (kolor czerwony) oraz energii oddanej do sieci (kolor czarny) w funkcji czasu sporządzony na podstawie danych z raportu dziennego z 15.04.2019



Rys. 15. Wykres natężenia promieniowania słonecznego (kolor czerwony) oraz energii oddanej do sieci (kolor niebieski) w funkcji czasu sporządzony na podstawie danych z raportu tygodniowego za przedział czasowy 15 – 21.04.2019

Kolejnym elementem ćwiczenia jest miesięczna analiza generowanej energii, mocy, a także sprawności instalacji oraz inwertera. W tym celu, na podstawie danych z raportu miesięcznego zawierającego sumy dzienne, należy wykonać zestawienie nasłonecznienia oraz wytworzonej energii dla wszystkich dni w danym miesiącu (Rysunek 16). Na podstawie wzoru (2) wyznaczyć również sprawność η całej instalacji fotowoltaicznej oraz przedstawić ją na wykresie (Rysunek 17). Dodatkowo na podstawie danych z drugiego raportu miesięcznego oraz (3) – (4) obliczyć moc po stronie DC oraz AC instalacji, a także sprawność inwertera oznaczoną jako CR. Następnie należy wykreślić wspomniane wartości (Rysunek 18, Rysunek 19).

$$\eta = \frac{E}{G \cdot S \cdot n} \cdot 100 \% \quad (2)$$

$$P = I \cdot U \quad (3)$$

$$CR = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

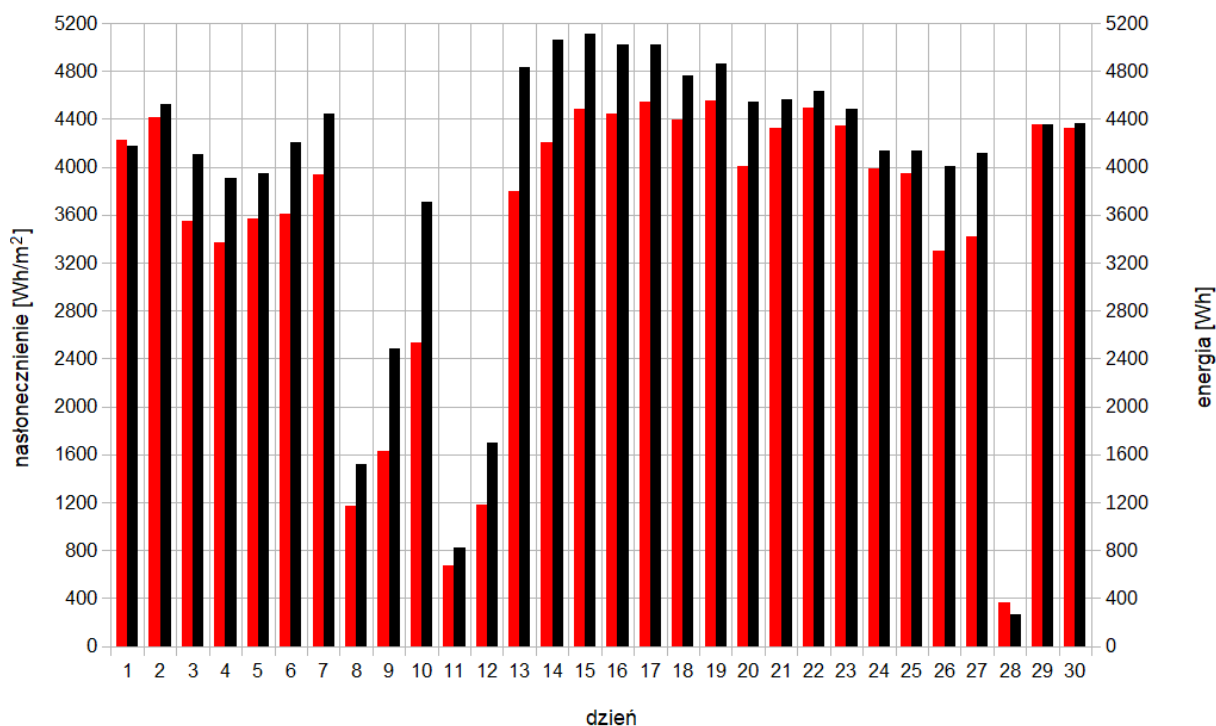
gdzie:

E – wygenerowana energia [Wh],

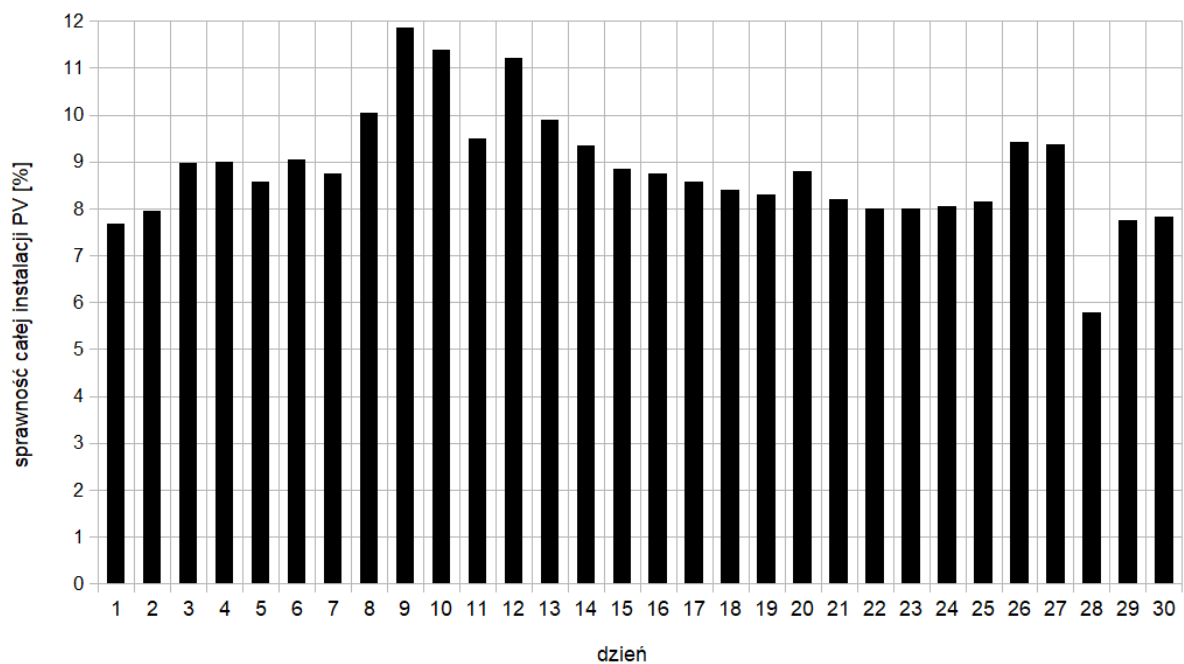
G – energia z natężenie promieniowania słonecznego [Wh/m^2],

S – powierzchnia jednego modułu PV [m^2],

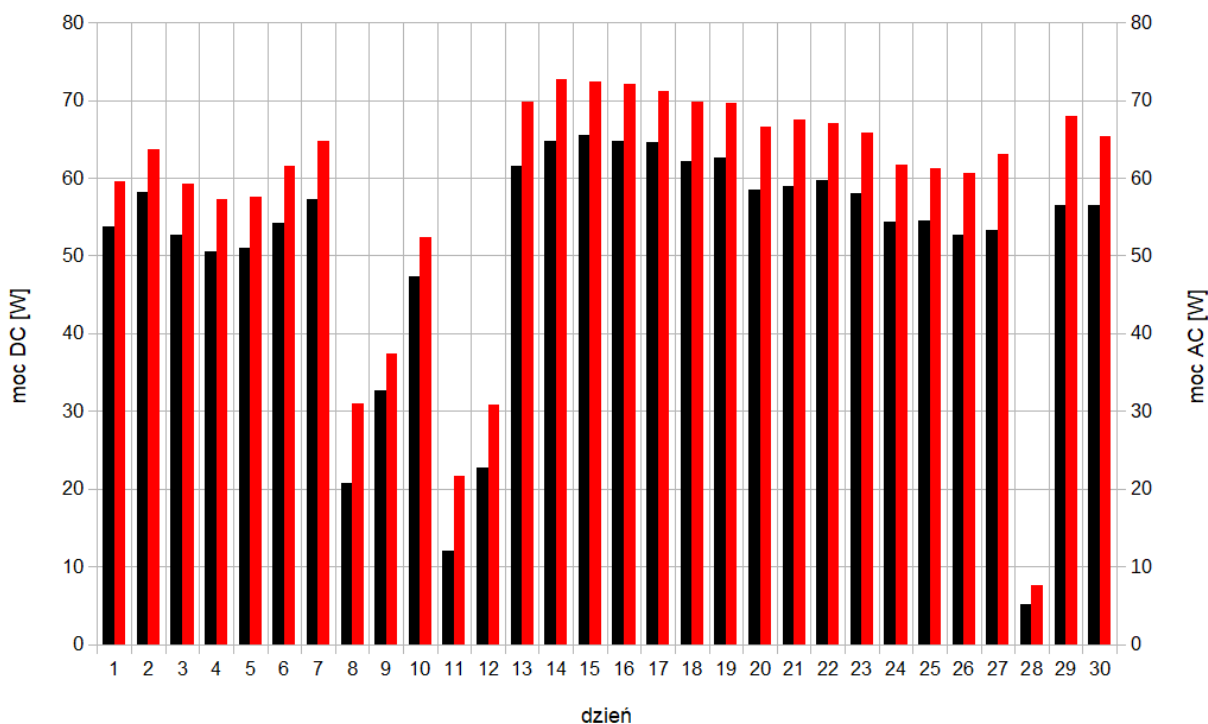
.n – liczba modułów w instalacji PV [-].



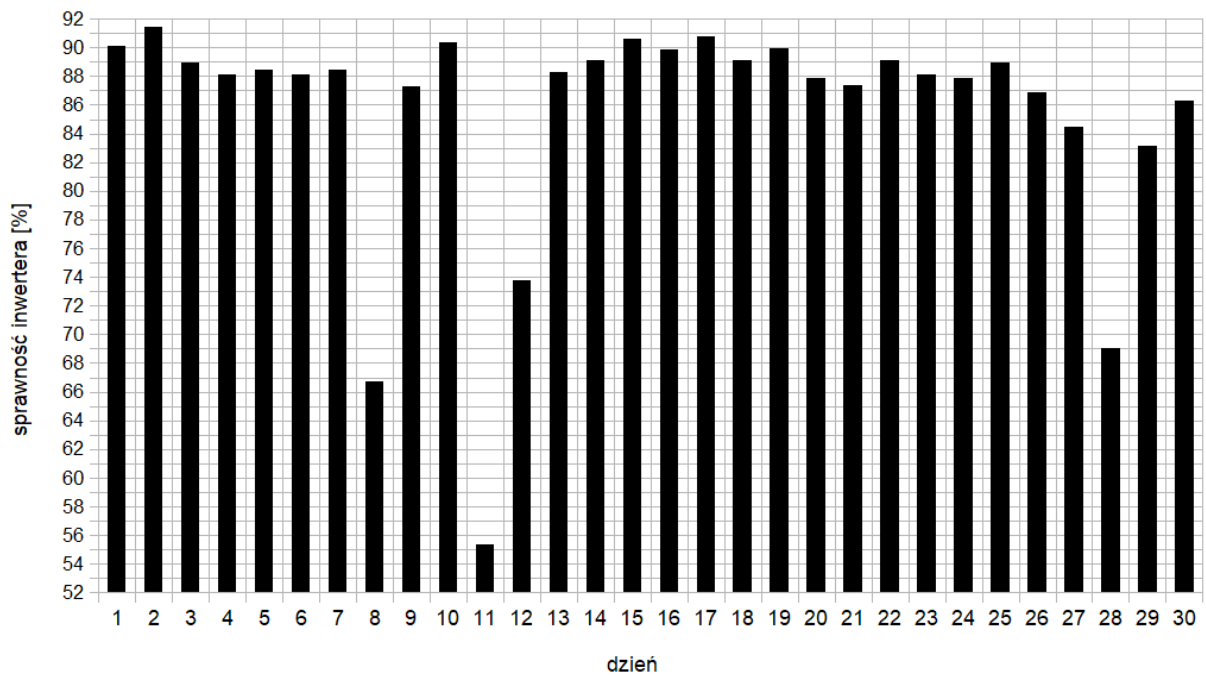
Rys. 16. Wykres dziennych wartości nasłonecznienia (kolor czerwony) oraz wygenerowanej energii (kolor czarny) dla kwietnia 2019 roku sporządzony na podstawie danych z raportu miesięcznego



Rys. 17. Wykres sprawności całej instalacji PV dla kwietnia 2019 roku sporządzony na podstawie danych z raportu miesięcznego



Rys. 18. Wykres wygenerowanej mocy po stronie DC (kolor czerwony) oraz AC (kolor czarny) instalacji fotowoltaicznej dla kwietnia 2019 roku sporządzony na podstawie danych z raportu miesięcznego



Rys. 19. Wykres sprawności inwertera dla kwietnia 2019 roku sporządzony na podstawie danych z raportu miesięcznego

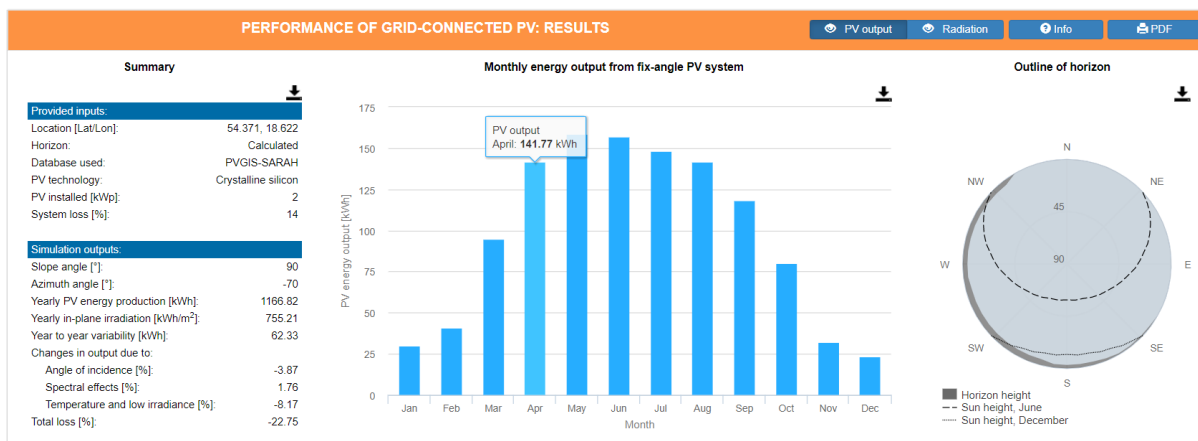
B. Porównanie danych z danymi z PV-GIS

Korzystając ze strony internetowej systemu informacji geograficznej dla instalacji fotowoltaicznych (PV-GIS, ang. *Photovoltaic Geographical Information System*), wygenerować dane średniej miesięcznej energii możliwej do wyprodukowania przez instalację fotowoltaiczną zintegrowaną z budynkiem Chemii C (Rysunek 20, Rysunek 21).

The screenshot shows the PV-GIS interface with the following configuration parameters:

- Cursor:** Selected: 54.371, 18.622; Elevation (m): 23
- Use terrain shadows:** Calculated horizon; Upload horizon file
- GRID CONNECTED PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV**
 - Solar radiation database*: PVGIS-SARAH
 - PV technology*: Crystalline silicon
 - Installed peak PV power [kWp]*: 21
 - System loss [%]: 14
 - Fixed mounting options**
 - Mounting position*: Building integrated
 - Optimize slope
 - Optimize slope and azimuth
 - PV electricity price
 - PV system cost (your currency):
 - Interest [%/year]:
 - Lifetime [years]:
- Buttons:** Visualize results, csv, json

Rys. 20. Parametry podane do systemu PV-GIS w celu obliczenia średniej miesięcznej energii możliwej do wyprodukowania przez instalację fotowoltaiczną



Rys. 21. Zestawienie systemu PV-GIS średniej miesięcznej energii możliwej do wyprodukowania przez instalację fotowoltaiczną

Bazując na danych przedstawionych w tabeli na Rysunku 22, przyjmując średnie miesięczne natężenie promieniowania słonecznego dla konkretnego miesiąca zadanego przez prowadzącego.

Monthly Solar Irradiation

PVGIS Estimates of long-term monthly averages

Location: 54°22'13" North, 18°37'18" East, Elevation: 23 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Optimal inclination angle is: 39 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1 %

Month	H_h	H_{opt}	$H(90)$	I_{opt}	T_{24h}	N_{DD}
Jan	576	1030	1080	68	-2.9	555
Feb	1200	1880	1800	61	-1.8	507
Mar	2900	4130	3550	53	2.6	446
Apr	4520	5480	3860	40	7.4	252
May	5540	5780	3380	25	12.2	127
Jun	5810	5710	3090	17	15.6	55
Jul	5340	5350	3030	20	18.7	11
Aug	4500	5060	3290	33	18.3	41
Sep	3260	4340	3470	48	13.8	181
Oct	1800	2830	2670	60	8.5	342
Nov	688	1180	1200	66	4.8	500
Dec	422	826	907	72	0.2	594
Year	3060	3640	2610	39	8.1	3611

H_h : Irradiation on horizontal plane (Wh/m²/day)

H_{opt} : Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m²/day)

$H(90)$: Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m²/day)

I_{opt} : Optimal inclination (deg.)

T_{24h} : 24 hour average of temperature (°C)

N_{DD} : Number of heating degree-days (-)

Rys. 22. Miesięczne natężenie promieniowania słonecznego obliczone przez system PV-GIS

Na podstawie wartości średniego dziennego nasłonecznienia $H(90)$ wykonać obliczenia średniej miesięcznej i dziennej energii wyprodukowanej przez instalację fotowoltaiczną według poniższego schematu, gdzie założono 10% całorocznej sprawności dla instalacji fotowoltaicznej. Należy mieć na uwadze, że dane z przykładu dotyczą instalacji 2 kWp, a n oznacza liczbę dni w miesiącu.

$$E_M = H(90) \cdot S \cdot 30 \cdot 10\%$$

$$E_D = \frac{E_M}{n}$$

$$E_M = 3680 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dzień}} \cdot 12,89 \text{ m}^2 \cdot 30 \text{ dni} \cdot 10\% = 142\,305,6 \text{ Wh} = 142,31 \text{ kWh}$$

$$E_D = \frac{142,31 \text{ kWh}}{31} = 4,74 \text{ kWh}$$

Następnie policzyć te same wartości na podstawie danych pobranych z raportu miesięcznego wygenerowanego przez aplikację Fronius. W tym celu należy zsumować wartości w całej kolumnie „Nasłonecznienie” oraz „Energia”, a ostatecznie przeliczyć na odpowiednio kWh/m^2 i kWh (Rysunek 23).

Data i godzina [dd.MM.yyyy]	Energia [Wh]	Energia z nasłonecznienia [Ws/m²]	Sensor Card / Box	Energia [Galvo 2.0-1 (1) (#1)] [Wh]	Zysk specyficzny [Galvo 2.0-1 (1) (#1)] [kWh/kWp]	Energia pobrana z akumulatora [Wh]	Energia pobrana z sieci [Wh]	Energia zasłająca sieć [Wh]	Energia zgromadzona w akumulatorze [Wh]	Zużycie [Wh]	Zużycie [Wh]
85	0	0									
86	01.04.2019	0	15307704	4172.06	2.09	0	0	4172.06	0	0	0
87	02.04.2019	0	15883328	4522.03	2.26	0	0	4522.03	0	0	0
88	03.04.2019	0	12789918	4101.88	2.05	0	0	4101.88	0	0	0
89	04.04.2019	0	12139399	3908.3	1.95	0	0	3908.3	0	0	0
90	05.04.2019	0	12832611	3942.45	1.97	0	0	3942.45	0	0	0
91	06.04.2019	0	12982177	4200.45	2.1	0	0	4200.45	0	0	0
92	07.04.2019	0	14167549	4440.57	2.22	0	0	4440.57	0	0	0
93	08.04.2019	0	4226315	1519.23	0.76	0	0	1519.23	0	0	0
94	09.04.2019	0	5846977	2482.08	1.24	0	0	2482.08	0	0	0
95	10.04.2019	0	9108881	3709.32	1.85	0	0	3709.32	0	0	0
96	11.04.2019	0	2414347	821.2	0.41	0	0	821.2	0	0	0
97	12.04.2019	0	4248399	1702.16	0.85	0	0	1702.16	0	0	0
98	13.04.2019	0	13655175	4829.15	2.41	0	0	4829.15	0	0	0
99	14.04.2019	0	15135567	5056.49	2.53	0	0	5056.49	0	0	0
100	15.04.2019	0	16144648	5111.63	2.56	0	0	5111.63	0	0	0
101	16.04.2019	0	16013380	5019.38	2.51	0	0	5019.38	0	0	0
102	17.04.2019	0	16370732	5020.09	2.51	0	0	5020.09	0	0	0
103	18.04.2019	0	15836469	4765.07	2.38	0	0	4765.07	0	0	0
104	19.04.2019	0	16388535	4863.92	2.43	0	0	4863.92	0	0	0
105	20.04.2019	0	14422457	4540.72	2.27	0	0	4540.72	0	0	0
106	21.04.2019	0	15556504	4565.71	2.28	0	0	4565.71	0	0	0
107	22.04.2019	0	16189703	4630.12	2.32	0	0	4630.12	0	0	0
108	23.04.2019	0	15644768	4479.33	2.24	0	0	4479.33	0	0	0
109	24.04.2019	0	14354770	4130.68	2.07	0	0	4130.68	0	0	0
110	25.04.2019	0	14193125	4134.16	2.07	0	0	4134.16	0	0	0
111	26.04.2019	0	11880000	4007	6.01	0	0	12017.59	0	0	0
112	27.04.2019	0	12250140	4115.94	2.06	0	0	4115.94	0	0	0
113	28.04.2019	0	1297517	268.95	0.13	0	0	268.95	0	0	0
114	29.04.2019	0	15679165	4354.58	2.18	0	0	4354.58	0	0	0
115	30.04.2019	0	15571662	4364.71	2.18	0	0	4364.71	0	0	0
116											
117											
118			SUMA NASŁONECZNIEŃ [Ws/m²]	SUMA ENERGII [Wh]							
119			378470922	117780.36							
120											
121			NASŁONECZNIEŃ NA DZIEŃ [Wh/m²]	SUMA ENERGII NA MIESIĄC [kWh]							
122			3504.36	117.78							
123											
124				SUMA ENERGII NA DZIEŃ [kWh]							
125				3.926012							
126											

Rys. 23. Przykład obliczeń za miesiąc kwiecień dla aplikacji Fronius

Wszystkie otrzymane wyniki – z aplikacji Fronius, systemu PV-GIS oraz obliczeń, przedstawić w tabeli z rozróżnieniem na instalację 2 kWp oraz w przeliczeniu na instalację 1 kWp.

Tab. 2. Średnie dzienne ($H(90)$) nasłonecznienie oraz średnia dzienna (E_D) i miesięczna (E_M) energia wyprodukowana przez instalację fotowoltaiczną dla kwietnia.

	Dla instalacji 2 kWp			Dla instalacji 1 kWp		
	Fronius	PV-GIS	Obliczenia	Fronius	PV-GIS	Obliczenia
$H(90)$ [Wh/(m ² ·dzień)]	3504,36	3860,00	3860,00	3504,36	3860,00	3860,00
E_M [kWh]	117,78	141,77	142,31	58,89	70,89	71,16
E_D [kWh]	3,93	4,73	4,74	1,96	2,36	2,37

5. Literatura

- [1] Ewa Klugmann-Radziemska, Fotowoltaika w teorii i praktyce, Wydawnictwo BTC, Warszawa-Legionowo 2009.
- [2] Eugeniusz Klugmann, Ewa Klugmann-Radziemska, Alternatywne źródła energii. Energetyka fotowoltaiczna, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 1999, s. 75-158.
- [3] Ewa Klugmann-Radziemska, Technologiczny postęp w fotowoltaice, Czysta Energia, 5, 2014.
- [4] Paul Hersch, Kenneth Zweibel, Basic Photovoltaic Principles and Methods, Solar Energy Research Institute, Colorado 1982.
- [5] Piotr Grygiel, Henryk Sodolski, Laboratorium Konwersji Energii, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska, 2014, s. 25-41.
- [6] Fronius Datamanager. Galvo – Symo – Primo – Eco. Monitorowanie instalacji. Fronius.
- [7] Karta produktu BEM-250 Bruk-Bet Solar.