

# RAPORT MERYTORYCZNY

z realizacji zadania projektu:

Innowacyjne inteligentne markizy fotowoltaiczne oraz alternatywne zastosowanie technologii z zakresu BIPV w celu bilansowania energii na poziomie odbiorcy końcowego

realizowanego przez:

**PHOENIX ENTERPRISE Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością**

w ramach:

**1.2: SECTORAL R&D PROGRAMMES PROGRAMU OPERACYJNEGO INTELIGENTNY ROZWÓJ  
POIR.01.02.00-00-0342/16**

Temat:	Badania układu PV
Okres realizacji:	2020r
Wykonawca:	Zespół badawczy projektu
Odbiorca:	<b>PHOENIX ENTERPRISE Sp. z o.o.</b>

.....

### **Podstawa opracowania**

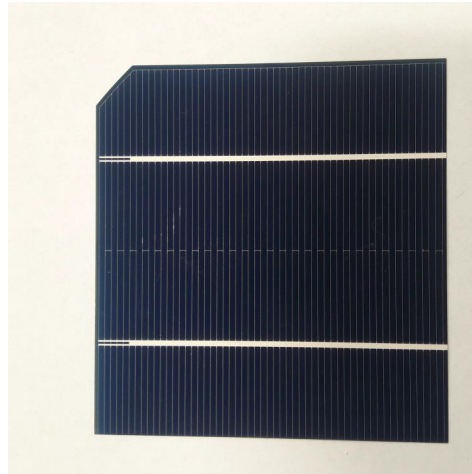
Niniejsze opracowanie zostało wykonane w ramach zadania projektu *Innowacyjne inteligentne markizy fotowoltaiczne oraz alternatywne zastosowanie technologii z zakresu BIPV w celu bilansowania energii na poziomie odbiorcy końcowego*. Projekt ten współfinansowany jest ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Sektorowego iUSER.

### **Cel opracowania**

Niniejsze opracowanie stanowi raport z realizacji zadania projektu pt. *Innowacyjne inteligentne markizy fotowoltaiczne oraz alternatywne zastosowanie technologii z zakresu BIPV w celu bilansowania energii na poziomie odbiorcy końcowego*, w obszarze badań wydajności układu PV markizy.

### 1.1.1. Metodyka badań i układ pomiarowy

Badania podstawowych parametrów pracy ogniw fotowoltaicznych wklejonych do lameli stanowią jedno z najważniejszych zadań pierwszego etapu projektu. Podstawowym celem badań było przeprowadzenie pomiarów wielkości elektrycznych ogniw fotowoltaicznych lameli dedykowanych do markizy. Do budowy pojedynczej lameli zastosowano ogniwa o wymiarach 78x78mm (rys. 1.13).



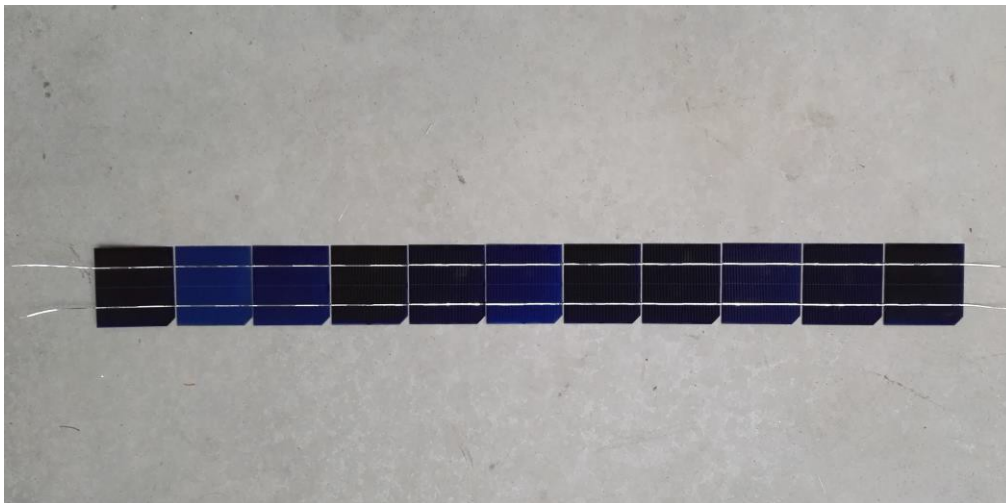
Rys.1.13. Widok ogólny ogniwa fotowoltaicznego zastosowanego do budowy panelu lameli przesyłony bocznej

W pierwszym etapie badań dokonano pomiarów podstawowych parametrów elektrycznych ogniwa (rys. 1.13). Podstawowe parametry elektryczne pojedynczego ogniwa zamieszczono w tabeli 1.1.

Tabela 1.1. Podstawowe parametry elektryczne ogniwa 78x78mm

Nazwa parametru	Napięcie – $U_{oc}$ , V	Prąd – $I_{sc}$ , A	Moc – P, W
Wartość	0,6	2	1,2

W celu zbudowania panelu fotowoltaicznego, który wklejono do lameli połączono szeregowo 12 ogniw fotowoltaicznych o wymiarach 78x78mm (rys. 1.14).



Rys. 1.14. Widok ogólny połączonych szeregowo ogniw fotowoltaicznych wykorzystanych do wykonania panelu fotowoltaicznego

Maksymalna liczba połączonych ogniw jest związana bezpośrednio z wymiarami zewnętrznymi panelu jakie przyjęto na etapie koncepcji. Przyjęte wymiary panelu pozwalają na zastosowane 12 ogniw fotowoltaicznych z zachowania bezpiecznej dla użytkownika panelu odległości od jego krawędzi.

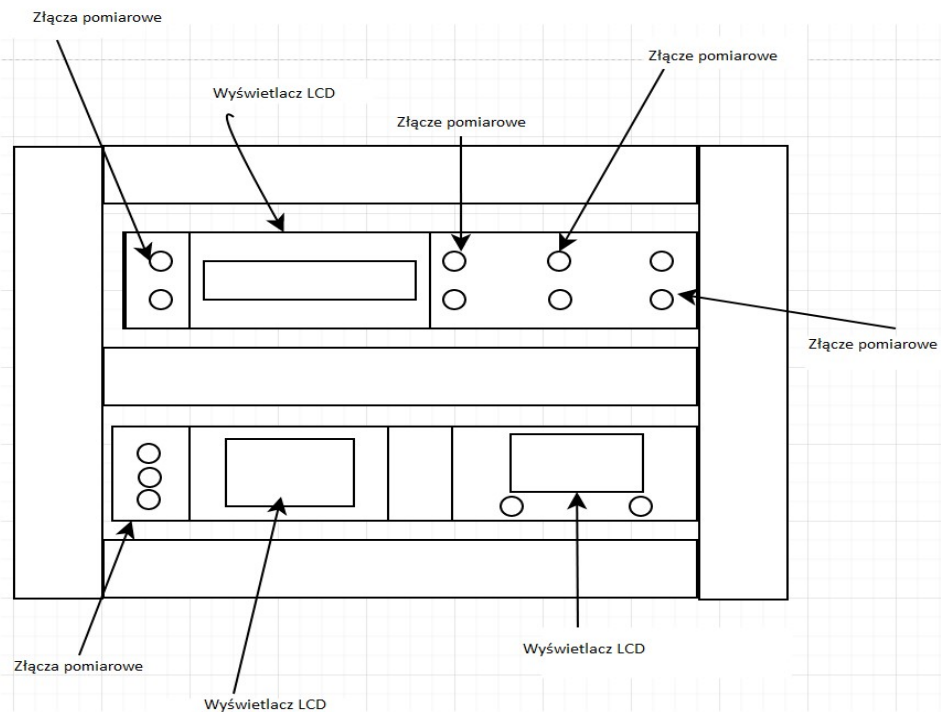
Podobnie jak w przypadku pojedynczego ogniwa dokonano pomiarów podstawowych wielkości elektrycznych 12 ogniw połączonych szeregowo (tabela 1.2).

Tabela 1.1. Podstawowe parametry elektryczne 12 ogniw 78x78mm połączonych szeregowo

Nazwa parametru	Napięcie – $U_{OC}$ , V	Prąd – $I_{SC}$ , A	Moc – P, W
Wartość	7	2	14

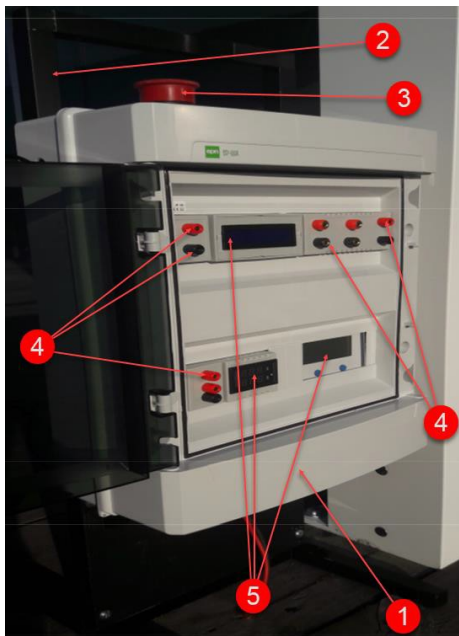
Przyjęte do budowy panelu ogniwa fotowoltaiczne oraz sposób ich połączenia były podstawą do jego wykonania a następnie wklejenia go do lameli. Wykonano 4 lamele fotowoltaiczne, które są podstawowymi elementami prototypu poszycia markizy. Podstawowe parametry pracy paneli fotowoltaicznych zamontowanych w prototypie przesłony były przedmiotem przeprowadzonych badań.

W celu wykonania badań paramentów podstawowych opracowano układ pomiarowy, którego schemat ideowy zamieszczono na rysunku 1.15.



Rys.1.15. Schemat ideowy układu pomiarowego

Na podstawie założeń dotyczących układu pomiarowego opracowano jego konstrukcję i wykonano go (rys. 1.16).



Rys. 1.16. Widok ogólny wykonanego układu pomiarowego

Obudowa układu pomiarowego (1) została zapożyczona z rozwiązań dostępnych na rynku. Przytwierdzono ją do opracowanego metalowego stelaża (2), który pozwala na proste przenoszenie układu. Układ

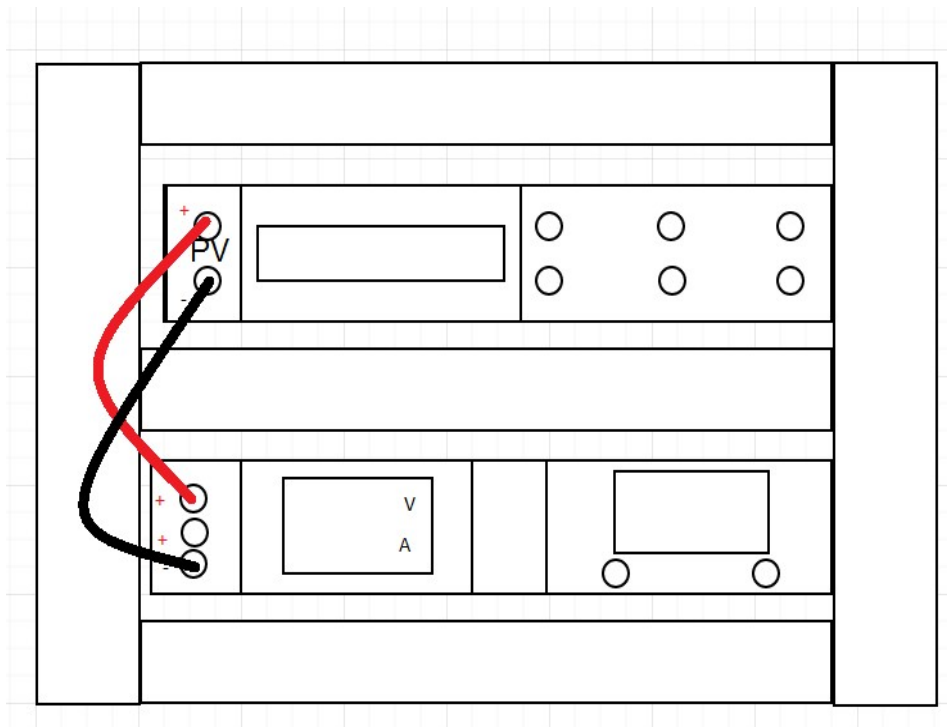
pomiarowy zgodnie z opracowanym schematem wyposażono w 3 wyświetlacze LCD (5), które pozwalają na podglądanie parametrów pracy w czasie rzeczywistym oraz złącza pomiarowe (4). W celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkownika układu wyposażono do w główny wyłącznik bezpieczeństwa (3). Zbudowany układ pomiarowy pozwala na odczyt i zapis następujących parametrów pracy lamel fotowoltaicznych:

- $U_{oc}$  - napięcie w stanie jałowym;
- $I_{sc}$  - prąd zwarcia;
- $I_{mpp}$  - prąd w punkcie pracy;
- $U_{mpp}$  - napięcie w punkcie pracy;
- $P_{mppt}$  - moc w punkcie pracy;
- Temperatura na module fotowoltaicznym.

Głównymi badanymi elementami były 4 lamele, w które klejono panele fotowoltaiczne o wymiarach 100x1000mm. Panele fotowoltaiczne w prototypie przesłony połączone szeregowo, a sam prototyp umieszczono w stelażu. W celu przeprowadzenia badań wykorzystano zbudowany układ pomiarowy. Podczas badań paneli fotowoltaicznych magazynowano energię w dołączonym do układu akumulatorze. Dodatkowym elementem stanowiska badawczego było urządzenie do akwizycji danych, które było niezbędne do przeprowadzenia pomiarów parametrów podstawowych paneli fotowoltaicznych.

### **1.1.2. Pomiar napięcia paneli fotowoltaicznych w stanie jałowym**

Układ pomiarowy umieszczony został w warunkach rzeczywistych wraz z zainstalowanym czujnikiem luksomierza umożliwiającą pomiar natężenia oświetlenia. Przewody pomiarowe w układzie zostały podłączone zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 1.18.



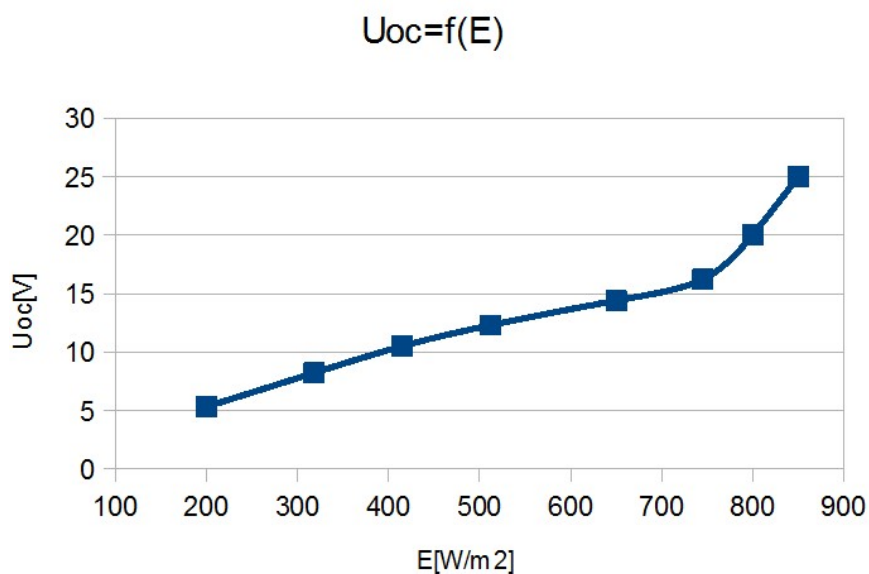
Rys. 1.18. Schemat podłączenia przewodów w układzie pomiarowym do badań napięcia paneli  
 Wyniki otrzymane z badań napięcia paneli w stanie jałowym -  $U_{OC}$  zamieszczono w tabeli 1.3.

Tabela 1.3. Wyniki pomiarów napięcia paneli fotowoltaicznych w stanie jałowym

Lp.	Natężenie oświetlenia – E, W/m <sup>2</sup>	Napięcie paneli fotowoltaicznych – U <sub>oc</sub> , V
1	200	5,33
2	318	8,22
3	415	10,51
4	512	12,3
5	650	14,4
6	745	16,22
7	800	20,01
8	850	25

Odczytując wartość napięcia U<sub>oc</sub> oraz wartość natężenia oświetlenia otrzymujemy charakterystykę w stanie jałowym.

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów wykonano charakterystykę napięcia paneli w stanie jałowym – U<sub>oc</sub> w funkcji natężenia oświetlenia – E (rys. 1.19).



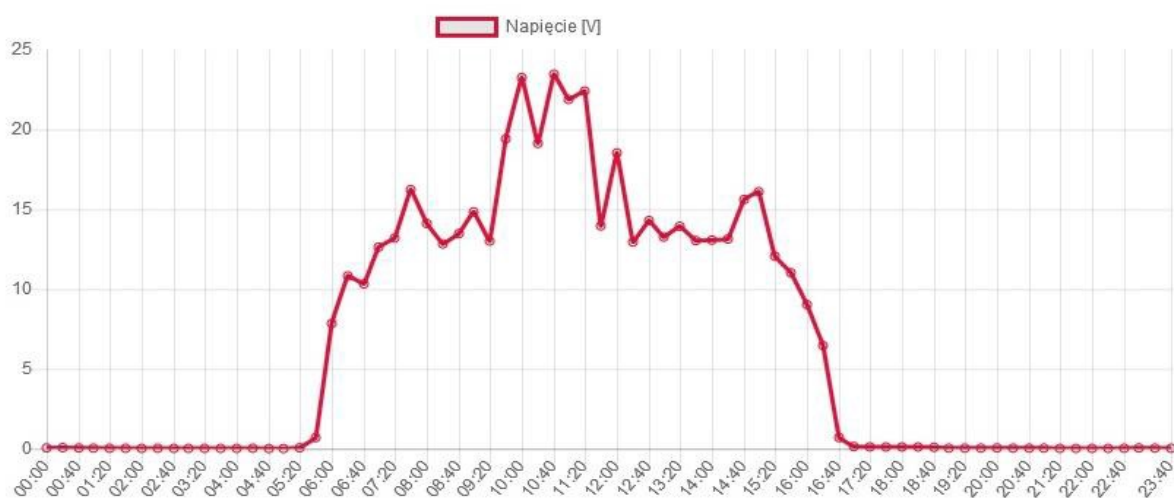
Rys. 1.19. Charakterystyka napięcia paneli w stanie jałowym w funkcji natężenia oświetlenia

Zgodnie z przedstawioną charakterystyką (rys. 1.19) napięcie nie narasta liniowo w funkcji



natężenia oświetlenia. Wartość napięcia przy natężeniu oświetlenia wynoszącym  $800 \text{ W/m}^2$  jest około 7% niższa niż przy założeniu że sposób jego narastania jest liniowy. W celu potwierdzenia nieliniowości przedstawionej charakterystyki dopuszcza się przeprowadzanie dodatkowych badań na pełnowymiarowej przesłonie.

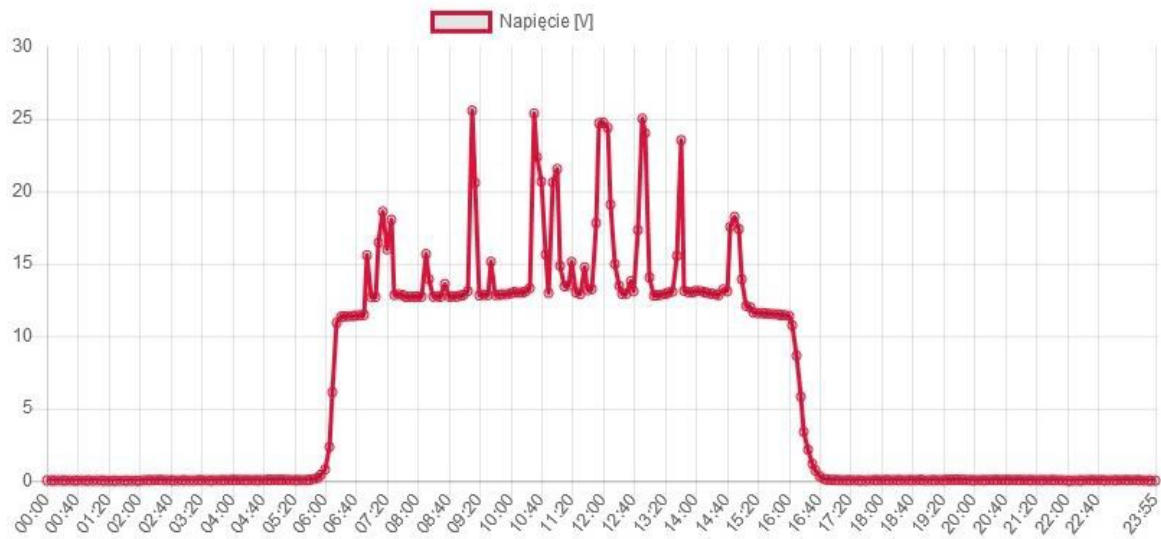
Kolejnym elementem przeprowadzonych badań był pomiar napięcia paneli w warunkach rzeczywistych w funkcji całodobowej. Badania były prowadzone w aktualnie panującej porze roku oraz zgodnie z występującymi warunkami atmosferycznymi. Na rysunkach od 1.20 – 1.24 przedstawiono przykładowe przebieg napięcia paneli w funkcji czasu z pięciu kolejnych dni kalendarzowych.



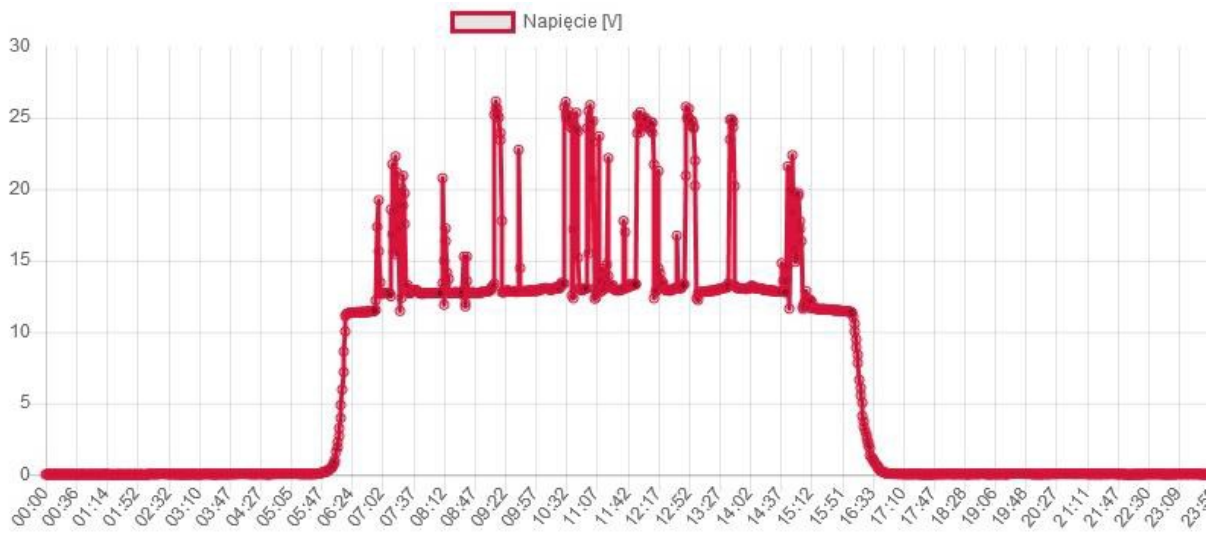
Rys. 1.20. Przebieg napięcia paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 1



Rys. 1.21. Przebieg napięcia paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 2



Rys. 1.22. Przebieg napięcia paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 3



Rys. 1.23. Przebieg napięcia paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 4

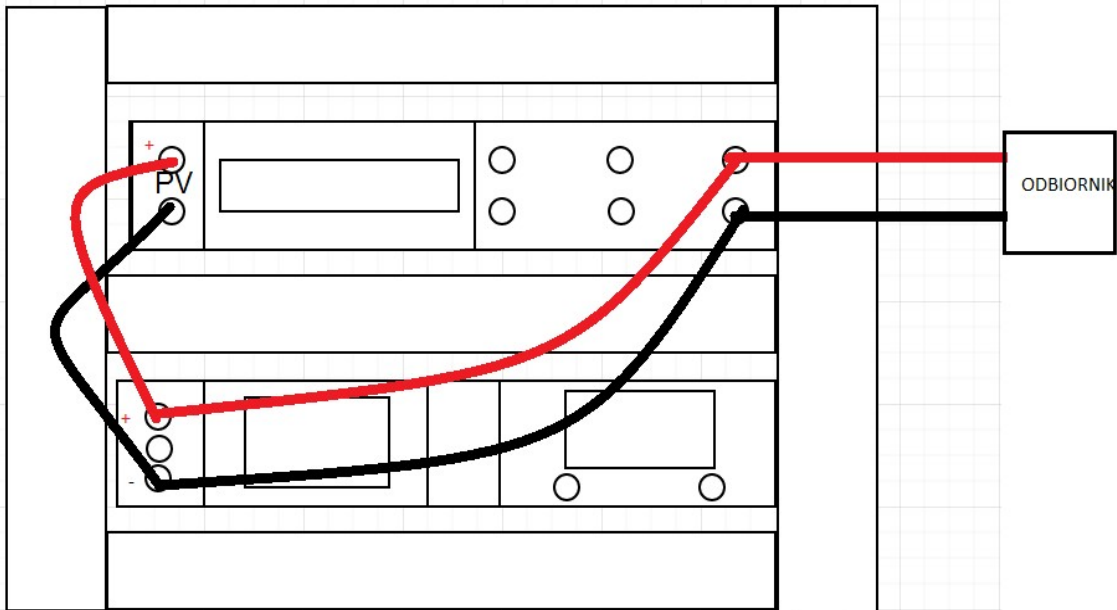


Rys. 1.24. Przebieg napięcia paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 5

Na podstawie otrzymanych przebiegów można stwierdzić, że najważniejszy wpływ na wartość napięcia paneli mają warunki atmosferyczne. Obserwowane na przebiegach znaczne piki są efektem nagłych zmian nasłonecznienia panelu. Jedynie w przypadku dnia 5 (rys. 1.24) można zaobserwować stosunkowo stałą wartość generowanego napięcia w godzinach 8:40 – 14:40. W celu uzyskania bardziej efektywnych wyników badania należy wykonać w czasie występowania stałych warunków atmosferycznych najlepiej w okresie wiosenno-letnim. Przedstawione wyniki badań świadczą o poprawnym działaniu paneli oraz dobrym reagowaniu na wzrost i spadek nasłonecznienia.

### 1.1.3. Pomiar prądu zwarcia

Przewody pomiarowe w układzie badawczym do pomiaru prądu zwarcia zostały podłączone zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 1.25. Pomiar prądu zwarcia otrzymano poprzez podłączenie do układu dodatkowego elementu - rezystora dekadowego do i ustawienie jego rezystancji -  $R_d$  na wartość 0.



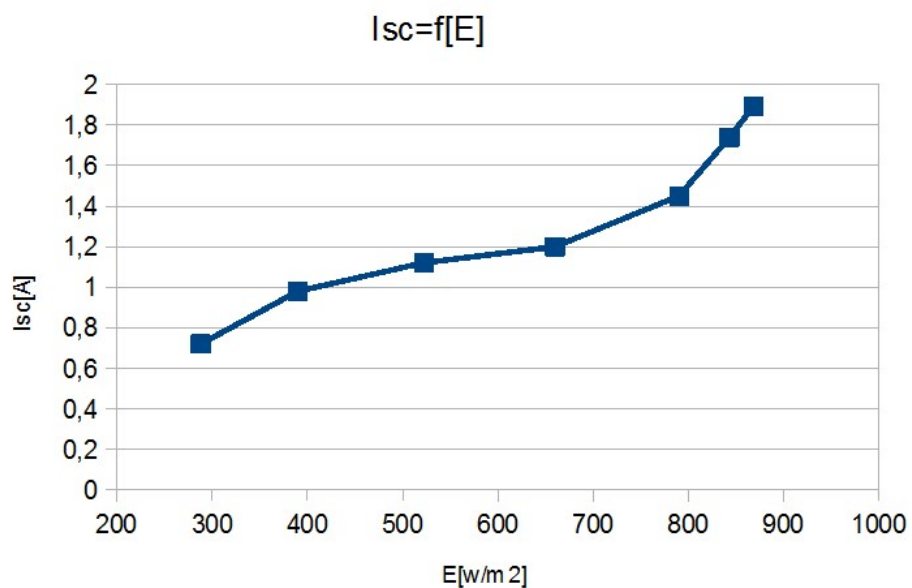
Rys. 1.25. Schemat podłączenia przewodów w układzie pomiarowym do badań prądu zwarcia

Wyniki pomiarów otrzymane z badań prądu zwarcia dla różnego nasłonecznienia przedstawiono w tabeli 1.4.

Tabela 1.3. Wyniki pomiarów prądu zwarcia paneli fotowoltaicznych

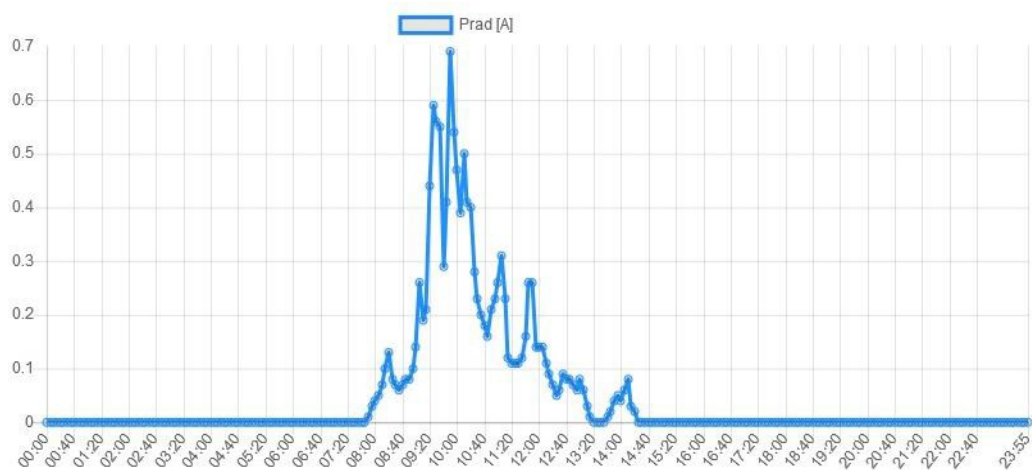
Lp.	Natężenie oświetlenia – E, W/m <sup>2</sup>	Prąd zwarcia – I <sub>sc</sub> , A
1	200	0,53
2	288	0,72
3	390	0,98
4	522	1,12
5	660	1,2
6	790	1,45
7	843	1,74
8	868	1,89

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów wykonano charakterystykę prądu zwarcia paneli – I<sub>sc</sub> w funkcji natężenia oświetlenia – E (rys. 1.26).

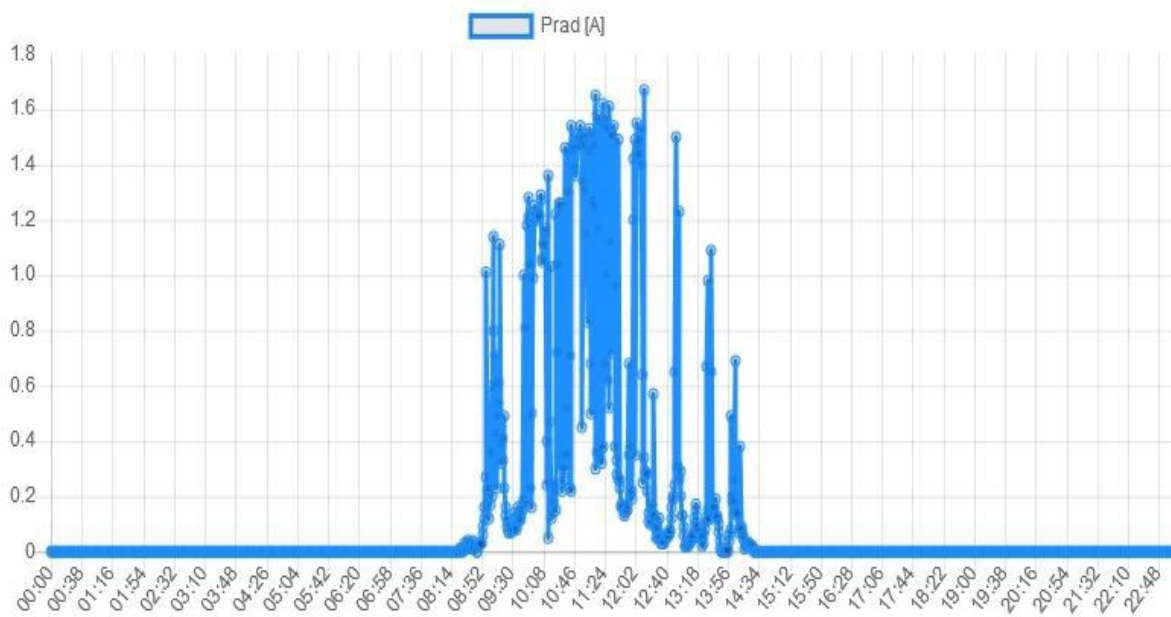


Rys. 1.26. Charakterystyka prądu zwarcia paneli w stanie jałowym w funkcji natężenia oświetlenia

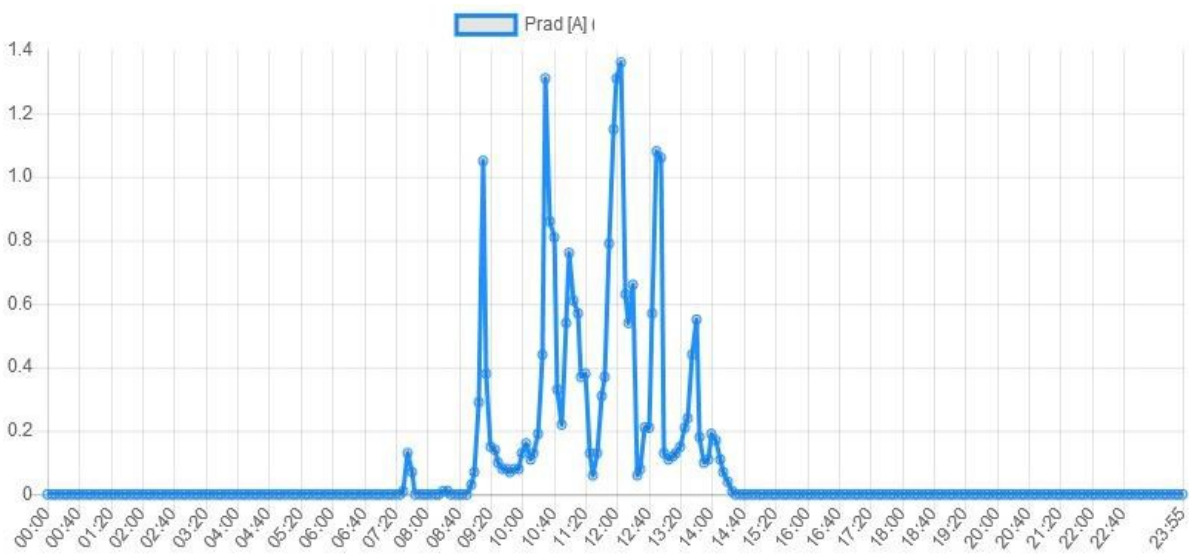
Podobnie jak w przypadku badań napięcia paneli, przeprowadzono badania prądu zwarcia w funkcji całodobowej. Charakterystyki przedstawiające zmiany prądu zwarcia paneli w funkcji czasu otrzymane w warunkach rzeczywistych dla 4 kolejnych dni przedstawiono na rysunkach od 1.27 – 1.30.



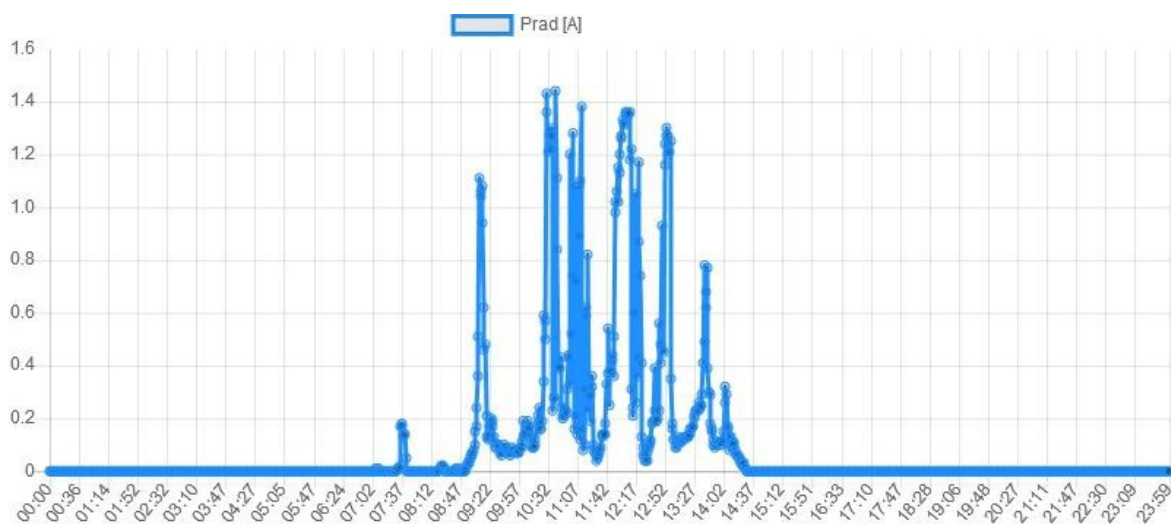
Rys. 1.27. Przebieg prądu zwarcia paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 1



Rys. 1.28. Przebieg prądu zwarcia paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 2



Rys. 1.29. Przebieg prądu zwarcia paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 3

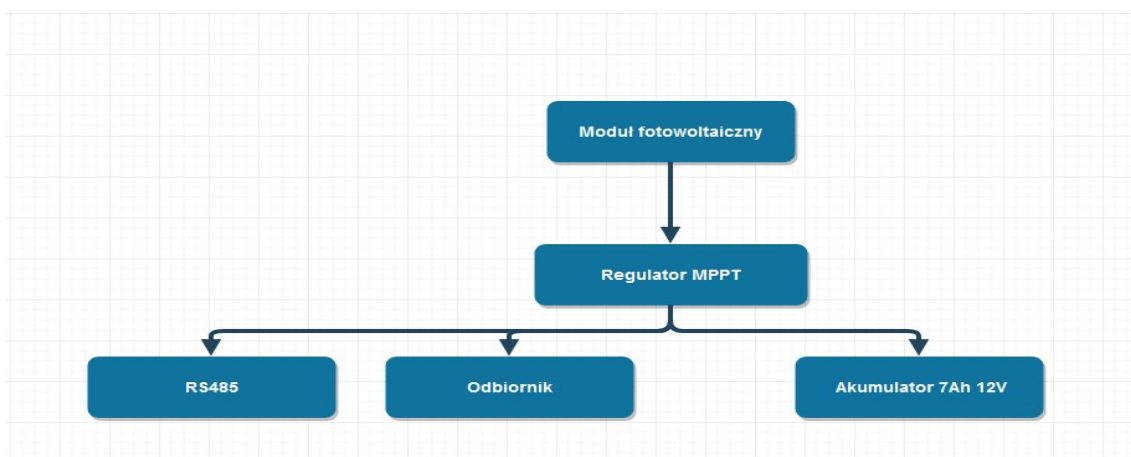


Rys. 1.30. Przebieg prądu zwarcia paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 4

Wyniki badań prądu zwarcia podobnie jak wyniki badań napięcia mają charakter skokowy wynikający ze znacznej zmiany nasłonecznienia w czasie. Przedstawione przebiegi wskazują, że prąd zwarcia zmieniał się w zakresie od 0 do 1,7 A. Wskazuje to, że maksymalny uzyskany w trakcie badań poziom nasłonecznienia nie przekraczał  $850 \text{ W/m}^2$ . Podobnie jak w przypadku badań napięcia paneli badania dotyczą prądu zwarcia należy przeprowadzić ponownie na przesłonie pełnowymiarowej.

#### 1.1.4. Pomiar mocy

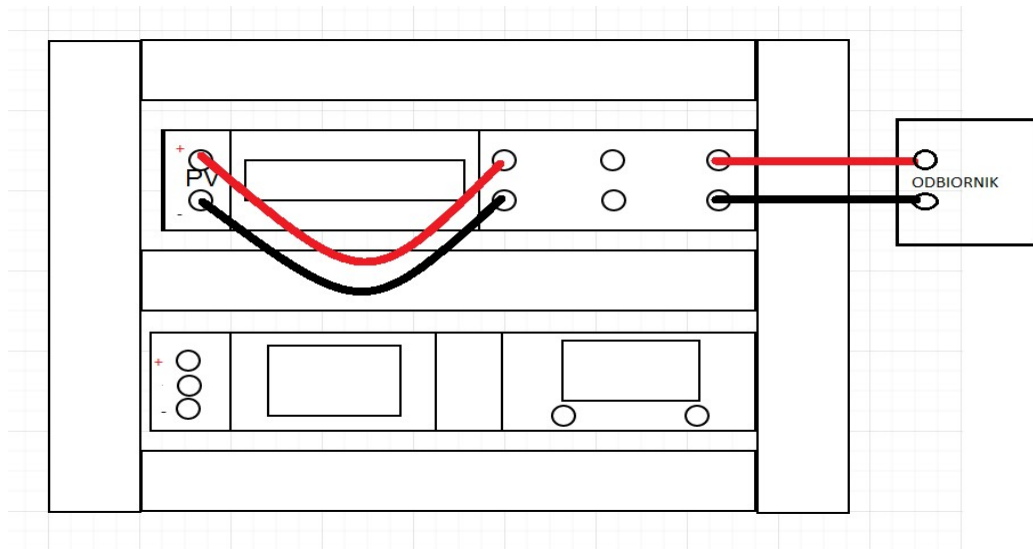
Schemat blokowy układu pomiarowego wykorzystanego w badaniach mocy lameli przedstawiono na rysunku 1.31.



Rys. 1.31. Schemat blokowy układu pomiarowego do badań mocy paneli fotowoltaicznych

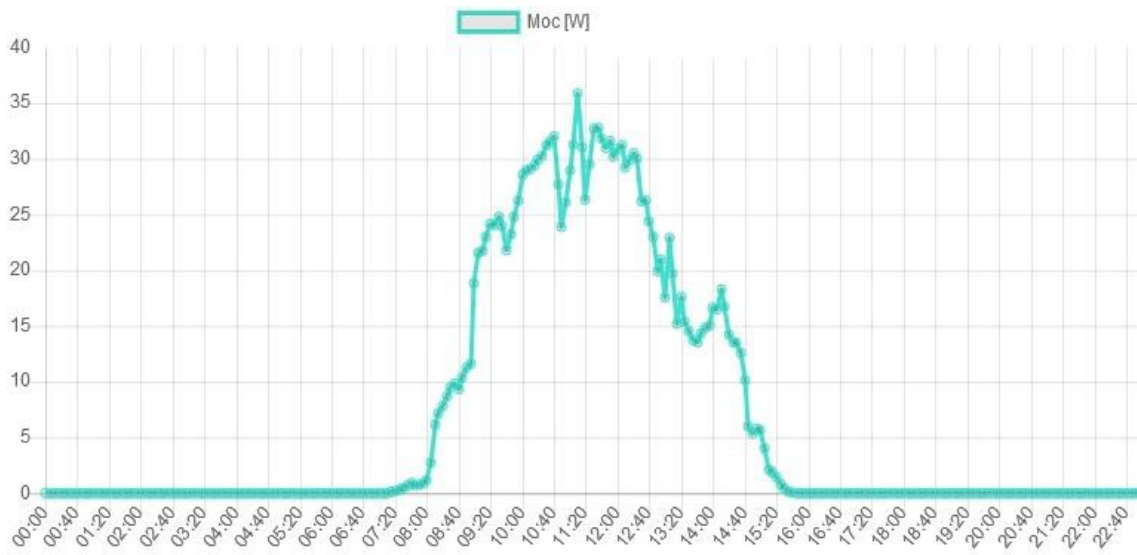
Dzięki zastosowaniu systemu zawierającego MPPT w zbudowanym układzie pomiarowym (rys.1.16) możliwe jest ciągłe monitorowanie napięcia wejściowego po stronie modułu fotowoltaicznego wykrywającego maksymalny punkt pracy ogniw. Schemat połączenia przewodów

w układzie pomiarowym przedstawiono na rysunku 1.32.



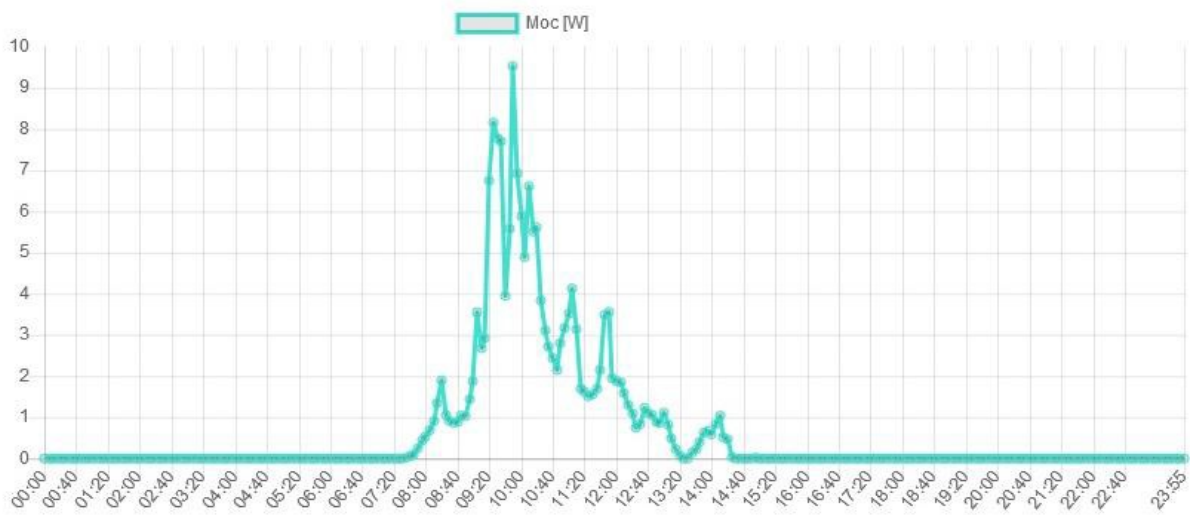
Rys. 1.32. Schemat podłączenia przewodów w układzie pomiarowym do badań mocy

Badania mocy lameli przeprowadzono w warunkach rzeczywistych. Wyniki badań otrzymane z 4 kolejnych dni zamieszczono na rysunkach od 1.33 do 1.36.

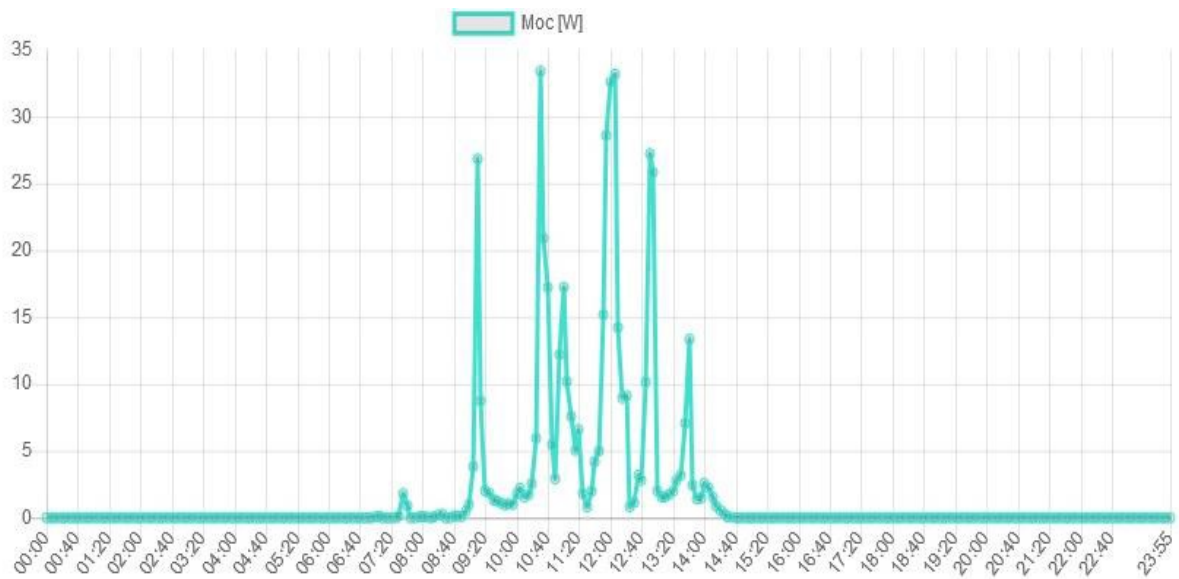


Rys. 1.33. Przebieg mocy paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 1

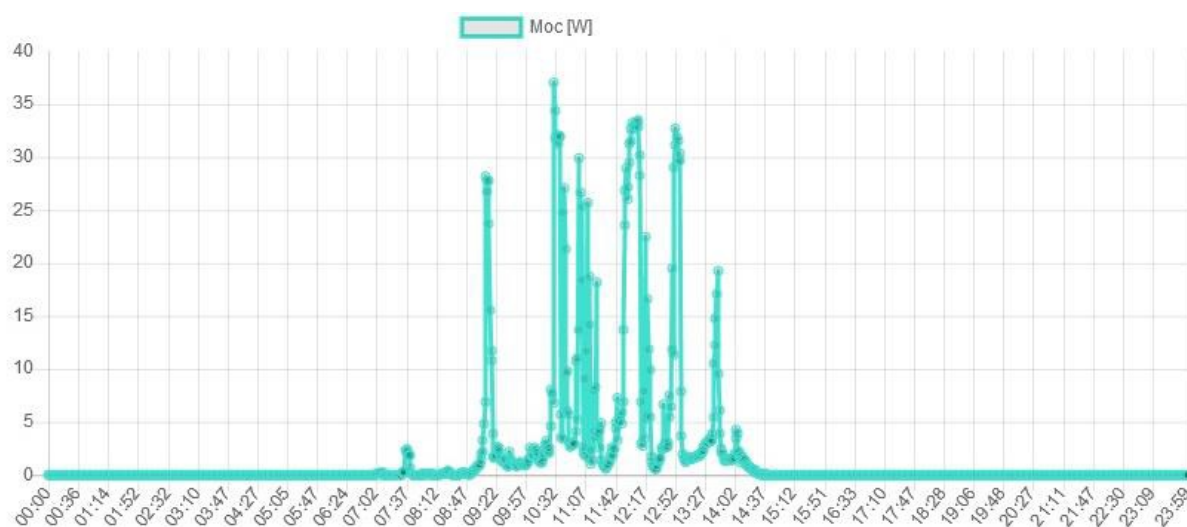




Rys. 1.34. Przebieg mocy paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 2



Rys. 1.35. Przebieg mocy paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 3

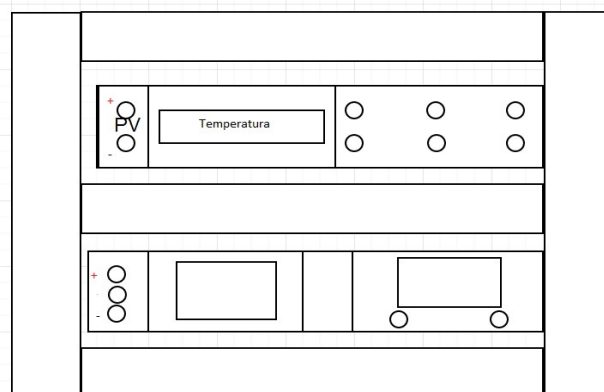


Rys. 1.36. Przebieg mocy paneli fotowoltaicznych w funkcji całodobowej – dzień 4

Wyniki badań mocy paneli fotowoltaicznych podobnie jak wyniki dwóch poprzednich badań parametrów pracy paneli mają charakter skokowy. Maksymalna moc układu podczas badań nie przekroczyła 40 W i osiągnięto ją w granicach godzin południowych.

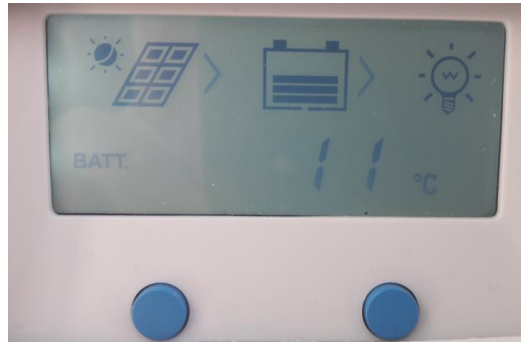
### 1.1.5. Pomiar temperatury otoczenia oraz panelu

Podczas prowadzenia badań w warunkach rzeczywistych dokonano pomiaru temperatury otoczenia, która jest bezpośrednio związana z efektywnością pracy ogniwa fotowoltaicznego. Schemat układu wykorzystanego do pomiaru temperatury zamieszczono na rysunku 1.37.



Rys. 1.37. Schemat układu do pomiaru temperatury

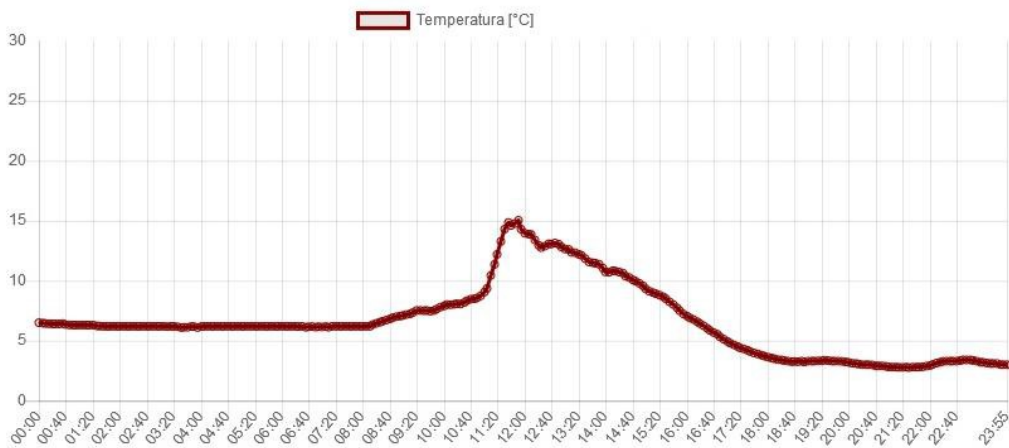
W celu wykonania pomiaru temperatury otoczenia oraz modułu fotowoltaicznego wykorzystano zewnętrzną sondę pomiarową. Została ona stykowo zamocowana do wewnętrznej strony modułu. Wartości temperatury były rejestrowane oraz zapisywane na urządzeniu do akwizycji danych. Układ pomiarowy pozwala jednak na odczyt temperatury przez użytkownika w czasie rzeczywistym dzięki zastosowanemu wyświetlaczowi (rys. 1.38).



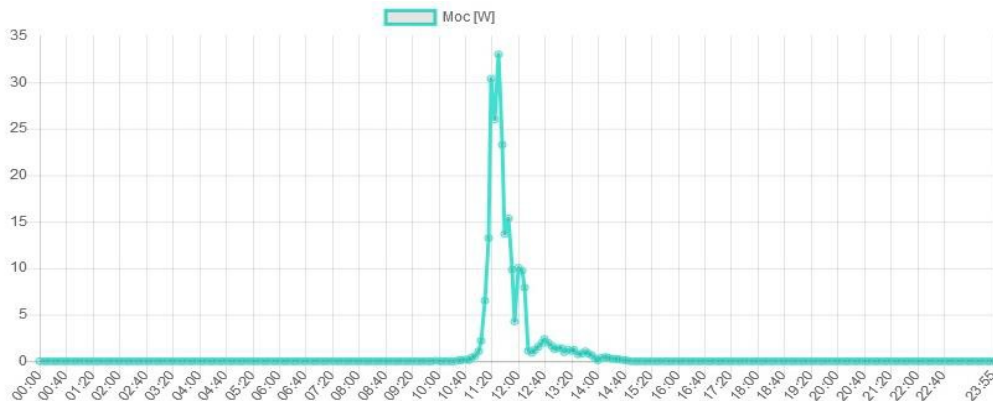
Rys.1.38. Widok ogólny wyświetlacza z możliwością odczytu aktualnej temperatury otoczenia

Na rysunkach 1.39 oraz 1.40 zestawiono temperaturę otoczenia z mocą układu w funkcji czasu w celu zobrazowania zależności zachodzącej pomiędzy tymi parametrami. Przedstawione wyniki otrzymano z badań paneli prototypu przesłony prowadzonych w warunkach rzeczywistych dla dwóch przykładowych dni.

a)



b)

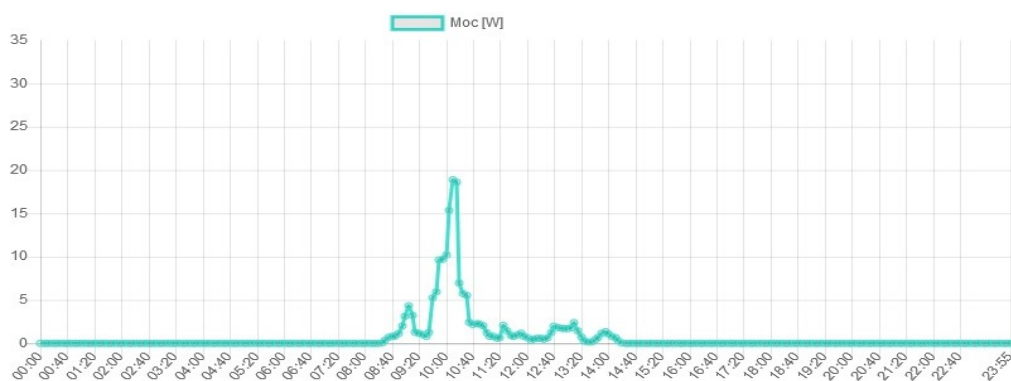


Rys. 1.39. Wyniki pomiarów otrzymane podczas badań temperatury otoczenia – dzień 1, a – temperatura otoczeni w funkcji całodobowej, b – moc paneli w funkcji całodobowej

a)



b)

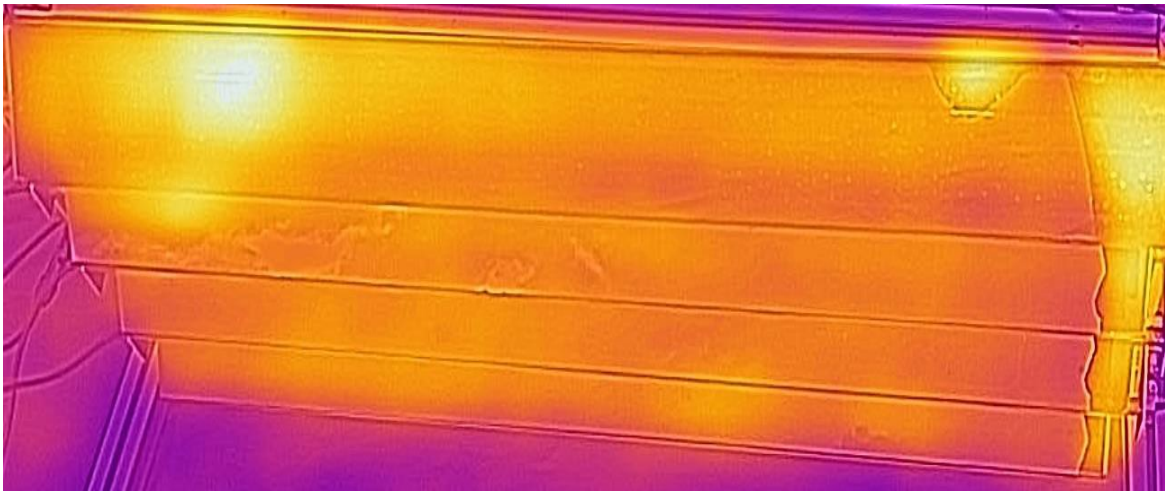


Rys. 1.40. Wyniki pomiarów otrzymane podczas badań temperatury otoczenia – dzień 2, a – temperatura otoczeni w funkcji całodobowej, b – moc paneli w funkcji całodobowej

Zgodnie z przebiegami przedstawionymi na rysunku 1.39 maksymalna temperatura otoczenia wynosiła 15°C. Moc paneli fotowoltaicznych przystosowy dla temperatury 15°C wynosiła natomiast 33,54W. W przedstawionych przebiegach wynika, że wraz z obniżeniem temperatury moc paneli fotowoltaicznych spada. Odwrotną sytuację można zaobserwować analizując przebiegi przedstawione na rysunku 1.40. Wyniki przedstawione na rysunku 1.40 otrzymano z pomiarów wykonanych przy temperaturze 19,6 °C. Można tu zaobserwować znaczący spadek mocy paneli fotowoltaicznych przy wzroście temperatury. Jest to przykład przedstawiający jak duży wpływ ma temperatura zewnętrzna na wartość generowanej mocy układów fotowoltaicznych. Największa moc uzyskiwana jest w miesiącach zimowych, gdzie temperatura jest niska i znacząco obniża temperaturę pracującego ogniwa.

W celu zilustrowania oraz określenia temperatury ogniwa oraz pozostałych elementów układu podczas pracy wykonano zdjęcie kamerą termowizyjną. W chwili rozpoczęcia pracy ogniwa zdjęcie z kamery przedstawiają lamele w kolorze niebieskim. Sukcesywnie ogniwa nagrzewają się podczas pracy i kolor zmienia się na żółty. Gdy ogniwa osiągną temperaturę powyżej 70 °C można zobaczyć kolor czerwony. Pomiar kamerą termowizyjną może wykazać także powstanie mikropęknięć w ogniwie fotowoltaicznym. Przy połączeniu szeregowym ogniwo wartość

prądu uzależniona jest od wartości prądu najniższego ogniwa, dlatego też jest to element, który ma wpływ na jakość całej instalacji. Dzięki pomiarowi kamerą termowizyjną można usunąć uszkodzony panel fotowoltaiczny na etapie wstępnych badań i zastąpić innym. Na termogramach można również dostrzec różnego rodzaju błędy konstrukcyjne panelu fotowoltaicznego, których nie widać gołym okiem. W celu zachowania odpowiedniego kontrastu pomiędzy badanym elementem a otoczeniem zdjęcie prototypu paneli wykonano przy nasłonecznieniu równym  $600\text{W}/\text{m}^2$  (rys. 1.41).



Rys.1.41. Zdjęcie lamel fotowoltaicznych prototypu przesłony przesuwnej podczas pracy wykonane kamerą termowizyjną

Wykonane na etapie badań zdjęcie kamerą termowizyjną wskazuje że w prototypie występuje element, który nagrzewa się znacząco w stosunku do pozostałych. Wynika to prawdopodobnie z błędnie wykonanego połączenia stykowego pomiędzy busbarem a modułem ogniwa fotowoltaicznego. Długotrwały czas pracy takiego panelu fotowoltaicznego może doprowadzić do jego uszkodzenia. Należy dokonać wymiany.