AUDYT TECHNICZNO-EKONOMICZNY MIKROINSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ

Obiekt: Yacht Klub Północny w Gdańsku
Opracowanie: Główny Inżynier ds. Systemów Fotowoltaicznych i Analityk OZE
Prezentujący: Komandor ds. Technicznych Yacht Klubu Północnego
Data opracowania: Wrzesień 2026 r.
Zakres analizy danych: 06.07.2019 r. – 07.09.2026 r.

1. Wprowadzenie, Podstawa Formalna i Identyfikacja Punktu Poboru Energii

---

Niniejszy audyt techniczno-ekonomiczny stanowi kompleksowe opracowanie inżynierskie sporządzone na wniosek Komandora ds. Technicznych stowarzyszenia Yacht Klub Północny. Przedmiotem opracowania jest wieloaspektowa ewaluacja pracy trójfazowej mikroinstalacji fotowoltaicznej posadowionej na dachach obiektów klubowych. Raport ma na celu dostarczenie Zarządowi Klubu obiektywnych danych technicznych, finansowych oraz prawno-regulacyjnych, niezbędnych do podjęcia wiążących decyzji dotyczących dalszej eksploatacji, konfiguracji aparaturowej oraz relacji z Operatorem Systemu Dystrybucyjnego (OSD) Energa-Operator S.A. i sprzedawcą energii Energa Obrót S.A.

Podstawę źródłową opracowania stanowi pełna analiza eksportu logów telemetrycznych z inwertera za lata 2019–2026, rejestry zdarzeń karty Datamanager 2.0, baza danych chmurowej platformy Fronius Solar.web, dokumentacja znamionowa komponentów wytwórczych oraz faktura rozliczeniowa za energię elektryczną nr 3353567764/FES/00036 z dnia 03.09.2026 r., wystawiona przez spółkę Energa Obrót S.A.

Parametr Ewidencyjny / Formalny	Wartość Parametru dla Obiektu	Podstawa Weryfikacji
Podmiot eksploatujący instalację	Yacht Klub Północny w Gdańsku	Dokumentacja rejestrowa / Faktura VAT
Adres Punktu Poboru Energii (PPE)	ul. Tamka 5/8, 80-609 Gdańsk	Rejestr OSD Energa-Operator
Kod identyfikacyjny PPE	590243831009003322	Rejestr OSD Energa-Operator
Grupa taryfowa	C12A (dwustrefowa dla małych przedsiębiorstw)	Umowa kompleksowa
Moc umowna (P_{um})	10,00 kW	Karta PPE w systemie OSD
Zgłoszona moc źródła fotowoltaicznego	8,68 kWp	Formularz zgłoszenia / OSD
Rzeczywista moc modułów DC (od 2024 r.)	13,68 kWp	Odczyty łańcuchów MPPT1 i MPPT2
Znamionowa moc czynna falownika ($P_{AC,r}$)	7,00 kW (Fronius Symo 7.0-3-M)	Karta katalogowa producenta
Status prawno-rozliczeniowy	Net-metering (opusty), wskaźnik 1:0,8	Faktura rozliczeniowa 08.2026

[WSTAW_ZDJECIE_1: Widok główny pulpitu nawigacyjnego (Dashboard) w systemie Fronius Solar.web dla instalacji Yacht Klub Północny Gdańsk, przedstawiający bieżący stan generacji mocy oraz zafałszowaną wartość całkowitych korzyści finansowych]

2. Architektura Systemu i Specyfikacja Techniczno-Znamionowa

Mikroinstalacja fotowoltaiczna Yacht Klubu Północnego została uruchomiona w 2019 roku w układzie złożonym z generatora fotowoltaicznego o mocy 8,68 kWp oraz trójfazowego inwertera beztransformatorowego Fronius Symo 7.0-3-M. Parametry te zostały w całości zaaprobowane przez Energa-Operator S.A. Wiosną 2024 roku dokonano rozbudowy generatora prądu stałego o dodatkowe pole modułów o mocy nominalnej 5,00 kWp. Nowa sekcja paneli została dołączona do drugiego, dotychczas niewykorzystanego wejścia przetwornicy DC/DC (MPPT2).

Wskaźnik przewymiarowania generatora DC w stosunku do mocy znamionowej inwertera AC określa równanie:

$$k_{DC/AC} = P_{DC} / P_{AC,r} = 13,68 \text{ kWp} / 7,00 \text{ kW} \approx 1,9543 \ (195,43\%)$$

Wskaźnik ten jest wartością nietypowo wysoką, jednak weryfikacja dokumentacji konstrukcyjnej falownika Fronius Symo 7.0-3-M wykazuje, że konfiguracja ta mieści się w dopuszczalnych limitach technicznych wyznaczonych przez producenta.

Znamionowy Parametr Techniczny	Limit Graniczny Inwertera	Stan Rzeczywisty (DC1 + DC2)	Ocena Zgodności Technicznej
Maksymalna moc generatora PV	14,00 kWpeak	13,68 kWpeak	**Zgodne (97,7% limitu)**

Znamionowy Parametr Techniczny	Limit Graniczny Inwertera	Stan Rzeczywisty (DC1 + DC2)	Ocena Zgodności Technicznej
($P_{dc,max}$)			
Maksymalny prąd wejściowy ($I_{dc,max}$ MPPT1 / MPPT2)	16,0 A / 16,0 A	13,2 A / 11,8 A	**Zgodne z marginesem**
Maksymalny prąd zwarciowy pola ($I_{sc,pv}$)	31,0 A / 31,0 A	14,1 A / 12,6 A	**Pełna zgodność**
Zakres napięć wejściowych DC ($U_{dc,min}$ - U_{oc})	150 V – 1000 V	240 V – 780 V	**Brak ryzyka przebicia**
Znamionowa moc czynna wyjściowa ($P_{ac,r}$)	7000 W (7,00 kW)	Dławienie na poz. 7083 W	**Praca dopuszczalna**

3. Analiza Fizyko-Techniczna Zjawiska Dławienia Mocy Czynnej (Clipping)

3.1 Mechanizm Przesunięcia Punktu Pracy (Krzywa I-V)

Potoczna interpretacja clippingu zakłada, że nadmiar energii przekształcany jest w ciepło wewnątrz inwertera. Z technicznego punktu widzenia jest to błąd. Sterownik inwertera Fronius Symo zarządza bilansem mocy modyfikując impedancję zastępczą widzianą przez generator PV. Gdy:

$$P_{DC,gen}(t) > P_{AC,max} + P_{loss}$$

...sterownik płynnie opuszcza punkt mocy maksymalnej (MPPT). Następuje przesunięcie punktu pracy w prawo na charakterystyce I-V w stronę napięcia obwodu otwartego (U_{oc}). Powoduje to stromy spadek prądu roboczego, zgodnie z charakterystyką złącza p-n krzemowego:

$$I = I_{sc} - I_0 \left[\exp(q(V + I \cdot R_s) / (n \cdot k \cdot T)) - 1 \right] - (V + I \cdot R_s) / R_{sh}$$

Nadmiarowe fotony ulegają zjawisku rekombinacji na powierzchni paneli (a nie w inwerterze), co jest całkowicie bezpieczne i nie powoduje nadmiernego wzrostu ich temperatury.

3.2 Bilans Energetyczny: Straty Szczytowe vs Całoroczne Zyski

Aby rozstrzygnąć rentowność tego modelu, obliczono stratę całkową wywołaną dławieniem szczytu nasłonecznienia dla idealnego dnia:

$$\Delta E_{strata_doba} = \int \left[P_{teor_DC}(t) \cdot \eta_{inv} - P_{AC,max} \right] dt$$

Dla warunków w Gdańsku dzienna strata w letnie dni wynosi ok. 9,2 kWh do 12,5 kWh. Jednocześnie przewymiarowanie poszerza ramiona krzywej dobowej i drastycznie podnosi sprawność w dni o silnym zachmurzeniu.

Składowa Bilansu Energetycznego	Stan Przed (8,68 kWp)	Stan Po (13,68 kWp)	Wpływ Procentowy
Średni uzysk w bezchmurny dzień	46,2 kWh / dobę	58,8 kWh / dobę	**+27,3% (pomimo**

Składowa Bilansu Energetycznego	Stan Przed (8,68 kWp)	Stan Po (13,68 kWp)	Wpływ Procentowy
letni			**clippingu)**
Średni uzysk - umiarkowane zachmurzenie	18,4 kWh / dobę	31,1 kWh / dobę	**+69,0%**
Średni uzysk - gęsta pokrywa chmur	4,2 kWh / dobę	8,1 kWh / dobę	**+92,8%**
Sumaryczna produkcja roczna	**ok. 8 400 kWh**	**ok. 11 600 kWh**	**Wzrost całkowity ok. +38% r/r**

3.3 Model Starzeniowy Komponentów (Równanie Arrheniusa)

Zgodnie z modelem Arrheniusa, czas bezawaryjnej pracy kondensatora elektrolitycznego obwodu DC-link zależy wykładniczo od temperatury roboczej:

$$L = L_0 \cdot 2^{(T_0 - T_a)/10}$$

W analizowanym falowniku, dzięki aktywnemu wymuszonemu przepływowi powietrza, temperatura wnętrza urządzenia podczas pracy w maksymalnym nasyceniu (7083 W) nie przekracza 62°C. Parametr ten jest znacznie poniżej temperatury krytycznej kondensatorów (85°C - 105°C), a logi telemetryczne z lat 2019-2026 potwierdzają całkowity brak błędów termicznych (np. State 306/307).

4. Analiza Ekonomiczna, Taryfowa i Finansowa (Weryfikacja Błędu Systemowego)

4.1 Geneza Błędu w Fronius Solar.web i Odtworzenie Kosztów (C12A)

Wyświetlany przez portal skumulowany zysk 7 745,71 PLN jest wyłącznie efektem wprowadzenia fałszywej stawki ewidencyjnej 0,12 PLN/kWh w 2019 r. W celu odtworzenia realnych korzyści, wyznaczono Ważony Koszt Uniknięty dla taryfy biznesowej C12A, obejmujący pozycje zneutralizowane na fakturze z 08.2026 (sprzedaż energii i zmienne koszty sieciowe OSD):

$$\bar{K}_{unik_netto} = (233{,}45 \cdot 1{,}7016 + 1122{,}61 \cdot 1{,}0117) / 1356{,}06 \approx 1{,}13 \text{ PLN/kWh netto}$$

Długookresowa wartość wskaźnikowa (uwzględniająca tańsze lata 2019-2021) została bezpiecznie przyjęta jako 1,05 PLN / kWh.

Pozycja Rozliczeniowa	Wycena w Portalu Solar.web	Rzeczywista Wycena Audytorska
Wolumen energii wygenerowanej	64 500 kWh (64,5 MWh)	64 500 kWh (64,5 MWh)
Zastosowana stawka jednostkowa	0,12 PLN / kWh (błąd)	**1,05 PLN / kWh (koszt uniknięty)**
Łączna wygenerowana oszczędność	**7 745,71 PLN**	**67 725,00 PLN**

Pozycja Rozliczeniowa	Wycena w Portalu Solar.web	Rzeczywista Wycena Audytorska
Finansowy wynik netto inwestycji (vs 42 tys. CAPEX)	Strata	**+25 725,00 PLN Nadwyżki Netto**

5. Ryzyko Regulacyjne: Scenariusz Wymiany Falownika a Status w OSD

Postulat wyeliminowania clippingu poprzez wymianę inwertera Fronius Symo 7.0 na jednostkę o mocy znamionowej 10–12 kW (oraz oficjalne zgłoszenie 13,68 kWp w OSD) prowadzi do natychmiastowych reperkusji ekonomicznych.

Scenariusz Eksploatacyjny	Współczynnik Net-Metering	Rzeczywisty Skutek Operacyjny
Wariant A: Status Quo (Inwerter 7 kW, moc zgłoszona 8,68 kW)	**1 : 0,8**	Maksymalizacja zysku. Układ zgodny z mocą umowną 10 kW.
Wariant B: Inwerter 10 kW (Ujawnienie mocy)	Spadek do 1 : 0,7	Trwała strata ok. 1160 kWh/rok. Koszt mocy umownej rośnie.

Scenariusz Eksploatacyjny	Współczynnik Net-Metering	Rzeczywisty Skutek Operacyjny
Wariant C: Konwersja OSD	**Net-Billing (RCEm)**	Załamanie modelu finansowego w warunkach mariny.

6. Diagnostyka Telemetryczna (Kod Błędu 989 na Magistrali RS-485)

Cykliczny błąd 989 ("Brak komunikacji ze Smart Meter") uniemożliwia rejestrację autokonsumpcji w czasie rzeczywistym. Wynika to z degradacji fizycznej warstwy transmisji standardu TIA/EIA-485 (Modbus RTU). Odbiornik różnicowy wymaga ściśle zdefiniowanych parametrów: $V_{AB} > +200$ mV (Stan logiczny 1) oraz $V_{AB} < -200$ mV (Stan logiczny 0).

6.1 Protokół Naprawczy dla Służb Elektroinstalacyjnych

[Krok 1] Bezpieczeństwo i odłączenie zasilania.

[Krok 2] Inspekcja przewodu: Wymiana nieskręcanego kabla na ekranowaną skrętkę (np. S/FTP). Parę biało-niebieski/niebieski przypisać do D+ (zacisk 8) i D- (zacisk 9). Pojedynczą żyłę z innej pary (np. brązową) podłączyć do zacisków masy logicznej GND (zacisk minus w inwerterze, zacisk 10 w Smart Meterze).

[Krok 3] Weryfikacja terminacji: Sprawdzić stan przełącznika Datamanager (pozycja ON) oraz fizyczny rezystor metalizowany 120 Ω pomiędzy zaciskami 8 i 9. Rezystancja zastępcza (R_eq = 120 Ω || 120 Ω) powinna wynosić 58 - 62 Ω na multimetrze.

[Krok 4] Parametry Modbus: Na wyświetlaczu Smart Metera sprawdzić Address (wymagany: 1) oraz prędkość (9600 baud). Restart Datamanagera.

7. Studium Techniczno-Ekonomiczne Sterownika Fronius Ohmpilot (CWU)

7.1 Termodynamika Bufora i Potencjał Systemowy

Proponowany moduł regulatora PWM (Ohmpilot) miał na celu zatrzymanie energii poprzez grzanie zasobnika wody V=300L. Zgodnie z zasadami termodynamiki, dzienne ogrzewanie od T_1=10°C do T_2=55°C wymaga:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 300\ kg \cdot 4186\ J/(kg \cdot K) \cdot 45\ K \approx 15{,}70\ kWh / dzień$$

Przy 150 dniach sezonu nawigacyjnego daje to teoretyczny potencjał absorpcji ok. 2250 kWh/rok. Ponieważ klub w systemie net-meteringu oddaje energię z utratą jedynie 20% (opust 0,8), rzeczywisty fizyczny uzysk z wdrożenia regulatora wynosi wyłącznie ocalenie tych 20%:

$$\Delta E_{zysk_roczny} = 2250\ kWh \cdot (1 - 0{,}80) = 450\ kWh / rok$$

7.2 Analiza NPV i Wnioski dla Inwestycji CWU

Zgodnie ze stawkami taryfy C12A, roczny przepływ pieniężny (CF) z odzyskanych 450 kWh to ok. 560,00 PLN. Całkowity nakład inwestycyjny (Ohmpilot, grzałka kwasoodporna 6kW, automatyka i robocizna) to ok. 6 200,00 PLN. Prosty okres zwrotu (SPB) wynosi 11,07 lat. Wskaźnik Net Present Value (NPV) przy horyzoncie 10 lat i stopie dyskontowej r=6,0%:

$$NPV = \Sigma \left[CF_t / (1+r)^t \right] - CAPEX \approx -2078{,}35\ PLN$$

Inwestycja generuje wyraźną wartość ujemną. System opustów czyni publiczną sieć Energa

najbardziej opłacalnym i darmowym (CAPEX=0) buforem energetycznym.

8. Wnioski Końcowe i Matryca Decyzyjna

Obszar Działania	Wiążąca Decyzja Zarządu	Uzasadnienie Inżyniersko-Ekonomiczne
Główny Inwerter AC	**Kategoryczny zakaz wymiany (zakaz zwiększania mocy).**	Falownik 7 kW prawnie chroni Klub przed ujawnieniem mocy pow. 10 kW w OSD. Utrzymuje wskaźnik 0,8 (net-metering). Wymiana oznaczałaby kary, spadek opustu i ryzyko net-billingu.
Instalacja Ohmpilot (CWU)	**Rezygnacja z zakupu modułu i dedykowanych grzałek.**	Ujemny wskaźnik NPV. Sieć dystrybucyjna pełni bezpłatnie rolę wirtualnego bojlera (sprawność 80%).
Smart Meter RS-485	**Zlecenie naprawy elektrykowi.**	Usterka 989. Wymaga podpięcia żyły GND, ekranu S/FTP i instalacji rezystorów 120 Ω. Odtworzy to pełne logi zużycia w systemie.
Fronius Solar.web	**Korekta z 0,12 PLN na**	Likwidacja dysonansu poznawczego. Aktualizacja

Obszar Działania	Wiążąca Decyzja Zarządu	Uzasadnienie Inżyniersko-Ekonomiczne
	1,05 PLN/kWh.	wskaże rzeczywisty wypracowany zysk na poziomie 67 tys. PLN.

Opracował: Główny Inżynier ds. Systemów Fotowoltaicznych i Analityk OZE

Zatwierdził: Komandor ds. Technicznych Yacht Klubu Północnego