

Projekt Konceptyjny: Samowystarczalny Dom 100 m2 (Off-grid)

Integracja Niskobudżetowej Fotowoltaiki, Kryptokoparki i Katalitycznego Generatora Gazu Półwodnego. Niniejsze opracowanie stanowi inżynierski projekt koncepcyjny całorocznego systemu zasilania i ogrzewania dla domu jednorodzinnego o powierzchni 100 m2. System projektowany jest jako w pełni autonomiczny (off-grid), zoptymalizowany pod kątem minimalizacji kosztów inwestycyjnych (CAPEX) oraz maksymalizacji efektywności operacyjnej poprzez synergiczne łączenie technologii solarnych i termochemicznych.

By V B

lip 16, 2026

1. Założenia Projektowe i Bilans Energetyczny

Dla nowoczesnego, dobrze ocieplonego domu o powierzchni 100 m2 (zapotrzebowanie na energię do ogrzewania i wentylacji na poziomie E_A równe około 70 kWh/m2/rok) przyjmujemy następujące bilanse:

- **Roczne zapotrzebowanie na ciepło (ogrzewanie + CWU):** 8500 kWh/rok
 - Szczytowe zapotrzebowanie na moc grzewczą (przy -15 stopniach C): 5 kW
 - Średnie dobowe zapotrzebowanie w okresie zimowym (przy -5 stopniach C): 80 kWh/dobę
- **Roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną (bytową):** 3000 kWh/rok
 - Średnie ciągłe zużycie (baseload): 250-350 W
 - Dzienny profil zużycia bytowego: 8 kWh/dobę

2. Podsystem Letni: Tani PV Off-grid + Kryptokoparka jako Dynamiczny Upust Mocy

W klasycznych instalacjach off-grid latem dochodzi do marnotrawstwa energii – po naładowaniu akumulatorów regulator ładowania odcina panele (tzw. *curtailment*). W tym projekcie nadmiar energii jest bezpośrednio kierowany do koparki kryptowalut, która pełni funkcję programowalnego, dynamicznego obciążenia (tzw. *demand response*).

[Panele PV (Tanie, np. 8 kWp)]

[Regulator ładowania MPPT]

[Magazyn Energii LiFePO4]
(Bufor 10-15 kWh)

[Inwerter Off-grid]

Specyfikacja Techniczna komponentów PV i Charakterystyka Sieci:

- **Brak podłączenia do sieci (Całkowity Off-grid):** System projektowany jest jako w 100% niezależny od zewnętrznej sieci elektroenergetycznej. Brak fizycznego połączenia z siecią dystrybucyjną eliminuje konieczność zgłaszania instalacji oraz spełniania rygorystycznych wymogów certyfikacyjnych (np. normy typu EN50549 wymaganych przez OSD). Dzięki temu możliwe jest drastyczne obniżenie CAPEX poprzez legalne zastosowanie tanich paneli fotowoltaicznych oraz sprawdzonych, używanych falowników i regulatorów ładowania (np. doskonałych jakościowo, starszych konstrukcji niemieckich producentów, takich jak SMA czy Steca), których certyfikaty sieciowe już wygasły, lecz ich parametry techniczne i niezawodność w trybie wyspowym wciąż deklasują współczesną, budżetową konkurencję.
- **Generator PV:** Tanie panele fotowoltaiczne (np. starszej generacji poli- lub monokrystaliczne z wyprzedaży magazynowych, np. o mocy 330-370 Wp). Całkowita moc zainstalowana: 8 kWp (ok. 22-24 panele).
- **Inwerter:** Hybrydowy inwerter off-grid o mocy ciągłej 5 kW (np. Easun, Volt Polska, Growatt SPF lub starsze, bezcertyfikowane jednostki pracujące wyłącznie wyspowo).
- **Magazyn Energii (Bufor):** Akumulator litowo-żelazowo-fosforanowy (LiFePO4) o pojemności 10-15 kWh (48V, ok. 200-300 Ah). Służy wyłącznie do podtrzymania funkcji życiowych domu w nocy i w dni bezsłoneczne.
- **Modernizacja Sieci do Niskiego Napięcia (DC):** W celu maksymalizacji sprawności energetycznej systemu off-grid, zaleca się modernizację instalacji domowej do niskiego napięcia (12 V lub 24 V) lub stworzenie dedykowanej, równoległej sieci niskonapięciowej DC obok klasycznej instalacji 230 V AC.
 - **Zalety sieci niskonapięciowej DC:**
 - *Wyeliminowanie strat konwersji:* Większość krytycznych urządzeń domowych (oświetlenie LED, routery internetowe, systemy smart home, pompy obiegowe, ładowarki USB, sprzęt IT) natywnie pracuje na prądzie stałym o niskim napięciu. Zasilanie ich bezpośrednio z akumulatora niskonapięciowego omija podwójną konwersję (DC -> AC 230 V w falowniku, a następnie AC -> DC w zasilaczu urządzenia), co eliminuje straty sięgające 15-25%.
 - *Ograniczenie zużycia własnego falownika:* Główny inwerter AC o mocy 5 kW może być automatycznie wprowadzany w stan uśpienia (standby) w okresach braku zapotrzebowania na wysoką moc (np. w nocy). Całe krytyczne zużycie (oświetlenie, router, pompy) zasilają wtedy bezpośrednio sieć DC, eliminując prąd jałowy falownika (który może wynosić nawet 50-100 W ciągłego poboru z baterii).

- *Wyjątkowe bezpieczeństwo i prostota:* Napięcia rzędu 12 lub 24 V DC są całkowicie bezpieczne dla zdrowia i życia, co pozwala na bezpieczną samodzielną instalację i modyfikacje bez konieczności posiadania wysokich uprawnień elektrycznych.
- **Zrównoważone Podgrzewanie Wody (CWU):** Kluczowym elementem zarządzania obciążeniem w sieci off-grid jest bezwzględne wyeliminowanie urządzeń o wysokim poborze mocy działających w trybie impulsowym (np. elektrycznych przepływowych podgrzewaczy wody o mocy 12-21 kW). Takie odbiorniki wywołałyby natychmiastowe przeciążenie inwertera oraz gwałtowny spadek żywotności akumulatorów.
 - Zamiast tego stosuje się powolne, stałe podgrzewanie wody w dobrze izolowanym zasobniku (buforze ciepła o pojemności np. 200-300 litrów) przy użyciu grzałek o niskiej mocy (1-1.5 kW). Grzałki te mogą być zasilane bezpośrednio prądem stałym (DC) bezpośrednio z dedykowanych paneli lub zarządzane przez system EMS z poziomu inwertera AC. Pozwala to na płynną akumulację energii w postaci ciepłej wody w ciągu dnia, bez wprowadzania gwałtownych skoków obciążenia.
- **Celowa Optymalizacja i Modernizacja Urządzeń AGD:** Schemat całej instalacji domowej od samego początku projektowany jest pod kątem całkowitej eliminacji tradycyjnych urządzeń o wysokim, impulsowym poborze prądu. Zastępuje się je zoptymalizowanymi technologicznymi odpowiednikami:
 - *Wymiana czajnika:* Zamiast klasycznego czajnika elektrycznego (generującego nagłe obciążenie rzędu 2000-2400 W) stosowany jest dobrze zaizolowany termicznie, podgrzewany dozownik wody (termo-dozownik). Urządzenie to utrzymuje stałą, wysoką temperaturę wody za pomocą grzałki o bardzo niskiej mocy (np. 300-500 W), eliminując gwałtowne przeciążenia falownika.
 - *Brak mikrofal:* W obiekcie całkowicie rezygnuje się z kuchenek mikrofalowych oraz innych urządzeń grzewczych o dużej, niekontrolowanej mocy impulsowej na rzecz alternatywnych, niskomocowych technik obróbki termicznej lub urządzeń gazowych.
 - *Optymalizacja pralki:* Pralka zostaje fizycznie podłączona do dedykowanego przyłącza ciepłej wody użytkowej (CWU) pochodzącej z systemu solarnego lub reaktora, zamiast pobierać wyłącznie zimną wodę. Pozwala to na wyeliminowanie lub programowe zablokowanie wewnętrznej grzałki elektrycznej pralki (która standardowo zużywa około 2000 W). W efekcie pralka pobiera energię elektryczną wyłącznie na potrzeby pracy silnika bębna i programatora (zaledwie 150-250 W).
 - *Całościowe podejście projektowe:* Taka konfiguracja oznacza, że planowanie domowych instalacji od samego początku opiera się na spójnej modernizacji urządzeń AGD, dostosowując ich charakterystykę pracy do specyfiki stabilnego i niskokosztowego systemu wyspowego.

Koncepcja Ekonomiczna i Techniczna Kryptoparki:

- **Wykorzystanie Zużytego i Taniego Sprzętu (Niski CAPEX):** Ponieważ nadwyżka energii słonecznej w okresie letnim ma zerowy koszt krańcowy (darmowy prąd z odciętych paneli), tradycyjny wskaźnik wydajności energetycznej urządzeń (W/TH czy W/MH) traci na znaczeniu. Kluczowym kryterium staje się minimalizacja kosztów inwestycyjnych (CAPEX). Zamiast drogich, najnowocześniejszych układów ASIC,

system bazuje na tanim, wycofanym z użycia sprzęcie z rynku wtórnego – np. starych serwerach kasetowych (blade servers), przestarzałych kartach GPU czy starszych generacjach dedykowanych koparek kupowanych za ułamek ceny początkowej.

- **Chłodzenie Immersyjne (Immersion Cooling):** Ze względu na to, że starszy sprzęt generuje duże ilości ciepła na jednostkę obliczeniową i często pracuje bardzo głośno, zostaje on całkowicie zanurzony w dielektrycznym płynie chłodzącym (np. specjalnym oleju syntetycznym lub mineralnym).
 - *Zalety:* Chłodzenie immersyjne eliminuje hałaśliwe wentylatory, chroni podzespoły przed kurzem i wilgocią, wydłuża żywotność wyeksploatowanego sprzętu oraz pozwala na bezpieczny overclocking (podkręcanie) starych procesorów w celu wyciśnięcia maksymalnej mocy obliczeniowej z darmowej energii. Dodatkowo, ciepło odpadowe odebrane z płynu dielektrycznego poprzez prosty wymiennik płytowy może być bezpośrednio kierowane do podgrzewania wody użytkowej (bufora CWU) w domu.
- **Rola Finansowa (Rezerwa Energetyczna):** Wygenerowane w ten sposób aktywa cyfrowe (coiny) nie są przeznaczone na bieżącą konsumpcję, lecz stanowią dedykowany fundusz rezerwowy. Środki te są upłynniane jesienią i zimą w celu sfinansowania zakupu paliwa (biomasy, zrębków, oleju) do reaktora na okres zimowy lub pokrycia kosztów ewentualnych konserwacji mechanicznych podsystemu zimowego, jak również do zasilania domu w okresach całkowitego braku słońca w nocy.

Algorytm Zarządzania Energią (EMS):

Regulator EMS stale monitoruje stan naładowania akumulatorów (SOC - State of Charge) oraz chwilową produkcję z PV (P_PV):

1. **Tryb Bytowy (SOC poniżej 90%):** Całość energii idzie na pokrycie zużycia domowego i ładowanie akumulatora. Koparka jest wyłączona.
2. **Tryb Dynamicznego Obciążenia (SOC równe lub wyższe niż 90% oraz P_PV większe niż P_byt):** Uruchamiane są sekcje koparki kryptowalut. Moc pobierana przez koparkę (P_mine) jest dynamicznie regulowana według równania:

$$P_{mine} = P_{PV} - (P_{byt} + P_{charge})$$

3. Podsystem Zimowy: Dwukomorowy Katalityczny Generator Gazu Półwodnego (Swing Reactor)

Zimą, przy drastycznym spadku nasłonecznienia, głównym źródłem energii staje się proces termochemicznego wytwarzania **gazu półwodnego** (mieszaniny bogatej w H₂ oraz CO). Proces ten opiera się na zaawansowanym, dwukomorowym układzie wahadłowym, który integruje zgazowanie, filtrowanie cyklonowo-zasypowe oraz regenerację paliwa w jednym zamkniętym cyklu termodynamicznym.

Szczegółowa specyfikacja techniczna, chemizm procesu, rury przepływowe, mechanizm automatycznego transportu pyłu oraz schematy przełączania faz znajdują się w osobnym dokumencie:

Podsystem Zimowy: Dwukomorowy Generator Gazu.

4. Szacunkowe Wyliczenia Masowo-Energetyczne na Zimę

Przyjmijmy dobowe zapotrzebowanie na ciepło domu 100 m² w mroźny dzień zimowy: $Q_{dob} = \text{ok. } 80 \text{ kWh}$.

Wydajność Energetyczna Procesu Katalitycznego

- **Paliwo:** Paliwem bazowym są zrębki drzewne, trociny oraz odpady z czystego drewna i biomasa. W systemie dopuszcza się również współgazowanie wyselekcjonowanych odpadów domowych (papier, tektura, czyste opakowania celulozowe), płyt wiórowych (zawierających lepiszczą żywiczną) oraz niewielkich ilości paliw kopalnych (węgiel) lub odpadów ciekłych (przepracowany olej mineralny /roślinny). Dzięki unikalnej, dwukomorowej konstrukcji swing-reactor oraz obecności katalizatorów tlenkowych i zasadowych, ciężkie frakcje węglowodorowe z olejów i żywic ulegają krakingowi termicznemu, a pyły są skutecznie wychwytywane.
- **Wartość opałowa paliwa (LHV):** ok. 4.0 kWh/kg.
- Poprzez dodatek pary wodnej i konwersję węgla stałego do H₂, uzyskujemy wysoką sprawność zimnego gazu (Cold Gas Efficiency) na poziomie $\eta_{CGE} = \text{ok. } 75\%$.
- **Uzysk gazu półwodnego:** Z 1 kg suchej biomasy otrzymujemy ok. 2.1 Nm³ gazu półwodnego o wartości opałowej $LHV_{gas} = \text{ok. } 1.8 \text{ kWh/Nm}^3$ (6.5 MJ/Nm³).

Zużycie Paliwa i Wody Reaktora:

Dla zaspokojenia potrzeb grzewczych domu (80 kWh/dobę) przy sprawności palnika/kotła gazowego $\eta_{kotel} = \text{ok. } 90\%$:

1. Wymagana energia w gazie:

$$E_{gas} = 80 \text{ kWh} / 0.90 = \text{ok. } 88.9 \text{ kWh/dobę}$$

2. Dobowe zużycie biomasy:

$$M_{dobowe} = 88.9 \text{ kWh} / (4.0 \text{ kWh/kg} * 0.75) = \text{ok. } 29.6 \text{ kg biomasy/dobę}$$

3. Zapotrzebowanie na parę wodną:

Dla optymalnego stosunku pary do węgla (Steam-to-Carbon ratio S/C = ok. 1.0), reaktor wymaga dostarczenia ok. 0.3 - 0.4 kg wody na każdy kilogram suchej biomasy.

$$V_{woda} = \text{ok. } 29.6 \text{ kg} * 0.35 = \text{ok. } 10.4 \text{ litra wody/dobę}$$

Woda ta jest odparowywana i przegrzewana przy użyciu ciepła odpadowego ze spalin reaktora lub ciepła jawnego gorącego gazu syntezowego, co nie obciąża bilansu energetycznego systemu.

5. Podsystem Zimowej Kogeneracji (CHP): Adaptacja Taniego Agregatu Prądotwórczego

W celu pełnego uautonomicznienia obiektu zimą, oczyszczony i schłodzony gaz półwodny kierowany jest do agregatu prądotwórczego pracującego w układzie skojarzonym (CHP - Combined Heat and Power). Urządzenie generuje jednocześnie prąd elektryczny do doładowywania magazynu energii LiFePO4 oraz ciepło odpadowe, które poprzez wymiennik ciepła zasila instalację centralnego ogrzewania (C.O.) i ciepłej wody użytkowej (CWU).

Szczegółowa specyfikacja techniczna dotycząca wyboru bazy sprzętowej, niezbędnych fizycznych modyfikacji silnika 188F/GX390 oraz szczegółowych bilansów mocy i ciepła znajduje się w osobnym dokumencie:

Specyfikacja Techniczna: Adaptacja Agregatu do Gazu Półwodnego.

6. Automatyka, Sensoryka i Cyfrowe Sterowanie Procesami

W tak złożonym, wielopoziomowym i hybrydowym schemacie energetycznym, kluczowym czynnikiem gwarantującym stabilność, bezpieczeństwo i całkowitą bezawaryjność jest zaawansowana automatyka oraz precyzyjne sterowanie procesami. Tradycyjne, sztywne algorytmy programowane ręcznie (np. oparte na klasycznych sterownikach PLC) ustępują miejsca nowoczesnemu, elastycznemu podejściu cyfrowemu:

- **Sterowanie oparte na Sieci Neuronowej:** Zamiast czasochłonnego i skomplikowanego pisania tysięcy linii kodu obsługujących każdą możliwą anomalię, system sterowania zostaje oparty na prostej sieci neuronowej. Układ automatyki jest "szkolony" na podstawie zebranych danych z pracy systemu w różnych warunkach (nasłonecznienie, temperatura zewnętrzna, wilgotność paliwa, obciążenie AGD). Sieć uczy się optymalnych nastaw dla przepływów gazu, przełączania faz reaktora czy dynamicznego obciążenia koparką w sposób adaptacyjny, co eliminuje potrzebę skomplikowanego programowania niskopoziomowego.
- **Rozproszona Sieć Czujników (Sensoryka):** Cała instalacja zostaje wyposażona w bogatą, cyfrową sieć sensorów stale monitorujących krytyczne punkty robocze systemu (temperatury w komorach, ciśnienia gazu syntezowego, natężenie przepływu powietrza i pary wodnej, a także stopień nasycenia wilgocią).
- **Bezpieczeństwo Chemiczne i Brak Problemów z Certyfikacją (Czujniki Spalin):** Aby uniknąć niezwykle skomplikowanych i kosztownych procedur certyfikacji laboratoryjnej całego systemu oraz zapewnić najwyższy poziom bezpieczeństwa chemicznego (ochrona przed nieszczelnościami, tlenkiem węgla czy niedopałem), instalacja zostaje wyposażona w dedykowane czujniki spalin i gazów (badające zawartość CO, CO2, O2 oraz niespalonych węglowodorów). Na rynku dostępna jest ogromna ilość tanich i powszechnie dostępnych chińskich czujników (np. z serii MQ czy detektorów elektrochemicznych), które doskonale sprawdzają się w ciągłym monitorowaniu parametrów pracy układu i natychmiastowym wykrywaniu wszelkich odchyłeń od normy.

Podsumowanie i Porównanie Subsystemów

Dzięki przejściu na katalityczne wytwarzanie gazu półwodnego w dwukomorowym układzie wahadłowym oraz wdrożeniu taniego agregatu prądotwórczego do kogeneracji, system zyskał na sprawności, bezawaryjności i czystości operacyjnej.

Parametr	Subsystem Letni (PV + Crypto)	Subsystem Zimowy (Katalityczny Gaz Półwodny + CHP)
----------	-------------------------------	--

Źródło energii pierwotnej	Promieniowanie słoneczne	Biomasa (drewno kawałkowe, zrębki) + woda
Nośnik energii końcowej	Prąd stały/zmienny (48V / 230V)	Gaz syntezowy ($H_2 + CO + N_2$) -> Prąd + Ciepło
Główne zastosowanie	Zasilanie AGD, generowanie zysku z krypto	Ogrzewanie budynku, ciepła woda, generowanie prądu zimą
Efekt ekologiczny	100% bezemisyjny	Neutralny pod kątem CO_2 , brak smoły dzięki katalizie i filtracji swing
Rola wody	Brak	Substrat reakcji (źródło wodoru)
Temperatura pracy	Temp. otoczenia	Reaktor: 650-750 stopni C / Silnik agregatu: ok. 90 stopni C

Zastosowanie wahadłowej filtracji zasypowej w połączeniu z katalitycznym gazem półwodnym eliminuje konieczność stosowania zewnętrznych, skomplikowanych i awaryjnych systemów oczyszczania gazu (scrubberów wodnych, filtrów papierowych/tkaninowych). Reaktor sam oczyszcza swój produkt, jednocześnie optymalizując gospodarkę termiczną i wilgotnościową całego procesu. Przekształcenie taniego silnika benzynowego 188F w jednostkę kogeneracyjną pozwala na bezpieczną i wysoce ekonomiczną produkcję prądu off-grid w okresie zimowym przy jednoczesnym odzysku darmowego ciepła.