

Specyfikacja Techniczna: Adaptacja Agregatu do Gazu Półwodnego

By V B

lip 16, 2026

Niniejszy dokument stanowi integralne, techniczne rozszerzenie projektu całorocznego systemu off-grid dla domu jednorodzinnego o powierzchni 100 m². Opisuje on szczegółowo procedurę modyfikacji, dobór komponentów oraz bilans energetyczny dla podsystemu zimowej kogeneracji (CHP).

1. Baza Sprzętowa: Tani Chiński Agregat

Jako bazę sprzętową stosujemy powszechnie dostępny, jednofazowy agregat prądotwórczy o nominalnej mocy benzynowej 5 kW - 5.5 kW (np. Kraft&Dele, Barracuda lub Loncin). Do tego celu najlepiej nadaje się **czterosuwowy silnik jednocylinrowy z oddzielnym układem smarowania** (oddzielna miska olejowa, brak konieczności mieszania oleju z paliwem) o pojemności skokowej ok. 389 - 420 cm³ (klon legendarnego silnika **Honda GX390**, oznaczenie fabryczne **188F** lub **190F**). Koszt takiego agregatu to ułamek ceny dedykowanych jednostek kogeneracyjnych.

2. Niezbędne Modyfikacje Silnika do Pracy na Gazie Półwodnym:

1. Układ Dolotowy, Mieszalnik (Air-to-Fuel Mixer) oraz System Dwupaliwowy (Dual-Fuel):

Gaz półwodny charakteryzuje się bardzo niską wartością opałową w porównaniu do LPG czy gazu ziemnego. Wymaga to drastycznego obniżenia ilości powietrza dostarczanego do spalania – optymalny stosunek objętościowy gazu do powietrza wynosi od 1:1 do 1:1.2.

- Układ dolotowy zostaje zmodyfikowany tak, aby umożliwiać **jednoczesne spalanie dwóch rodzajów paliw (co-firing / dual-fuel)**. Zamiast całkowitej rezygnacji z zasilania płynnego, klasyczny gaźnik benzynowy zostaje zachowany i wyposażony w precyzyjny zawór iglicowy (lub mały elektrozawór dozujący).
- Do dolotu montowany jest tani, dwupaliwowy gaźnik LPG/CNG z Aliexpress (koszt ok. 80-120 PLN), w którym fabryczny króciec gazowy zostaje rozwiercony, bądź bezpośrednio przed filtrem powietrza instaluje się prosty mieszalnik trójnikowy typu "Y" z zaworem kulowym na dolocie powietrza. Pozwala to na jednoczesne podawanie gazu półwodnego oraz precyzyjnie dawkowanej, minimalnej ilości benzyny (lub LPG) jako tzw. "paliwa pilotującego" (pilot fuel).
- Zawór kulowy na dolocie powietrza umożliwia precyzyjne "zdławienie" tlenu w celu uzyskania bogatej mieszanki stechiometrycznej gazu syntezowego z powietrzem.
- **Zalety jednoczesnego stosowania dwóch paliw:**
 - *Optymalizacja pracy i stabilizacja płomienia:* Dodatek minimalnej ilości benzyny (10-20% nominalnego zużycia) drastycznie przyspiesza propagację czoła płomienia wolno palącego się gazu półwodnego. Zapobiega to wypadaniu zapłonów i wyraźnie podnosi sprawność termodynamiczną silnika.

- *Kompensacja mocy:* Przy nagłych, wysokich skokach poboru mocy elektrycznej w domu, system sterowania może automatycznie zwiększyć dawkę paliwa ciekłego, błyskawicznie kompensując spadek mocy (derating) gazu półwodnego.
- *Tryb awaryjny i rozruch:* Układ pozwala na bezproblemowy rozruch zimnego silnika na czystej benzynie oraz automatyczne, płynne przejście w 100% na paliwo ciekłe/LPG w przypadku awarii reaktora, zablokowania filtrów lub wyczerpania wsadu biomasy, zapewniając ciągłość zasilania obiektu.

2. Modyfikacja Kąta Wyprzedzenia Zapłonu (Ignition Advance):

Gaz półwodny, ze względu na dużą zawartość azotu (40-48%) i dwutlenku węgla, spala się znacznie wolniej niż benzyna (prędkość laminarna płomienia $w_L = \text{ok. } 0.25 - 0.3 \text{ m/s}$). Bez modyfikacji zapłonu, gaz spalałby się jeszcze podczas suwu wydechu, powodując gwałtowny spadek sprawności silnika oraz wypalanie zaworów wydechowych.

- Kąt wyprzedzenia zapłonu należy zwiększyć o 10 - 15 stopni przed GMP (Górnym Martwym Punktem) w stosunku do nastawy fabrycznej (całkowity kąt wyprzedzenia powinien wynosić ok. 30-32 stopnie przed GMP).
- Modyfikację wykonuje się mechanicznie poprzez spiłowanie fabrycznego klina ustalającego na wale korbowym pod kołem zamachowym (tzw. offset flywheel key) i przesunięcie koła zamachowego z magnesem wyzwalającym cewkę zapłonową.

3. Chłodzenie i Filtracja Końcowa Gazów:

Silnik spalinowy jest niezwykle wrażliwy na zanieczyszczenia smolne oraz zbyt wysoką temperaturę gazu (ciepły gaz ma małą gęstość, co dodatkowo obniża moc silnika).

- Temperatura gazu na wejściu do miksera nie może przekraczać 40 stopni C. W tym celu gaz po wyjściu z komory filtracyjnej przechodzi przez prosty rurowy wymiennik ciepła chłodzony powietrzem lub wodą z powrotu C.O. (odzyskiwanie ciepła).
- Bezpośrednio przed silnikiem montowany jest **suchy filtr bezpieczeństwa** (np. puszka wypełniona gęstym filcem, wiórami metalowymi lub filtrem samochodowym papierowym), chroniący silnik przed ewentualną awarią uszczelnień w dwukomorowym reaktorze.

4. Modernizacja Układu Smarowania (Tribologia):

W celu radykalnego zwiększenia niezawodności całego układu mechanicznego, kompensacji mikro- zużycia oraz maksymalnego wydłużenia czasu bezawaryjnej pracy silnika w warunkach ciągłego obciążenia zimowego, do oleju silnikowego aplikowany jest specjalistyczny **dodatek tribologiczny typu Ceramizer**.

- Preparat ten pod wpływem wysokich temperatur i tarcia tworzy na metalowych powierzchniach roboczych (gładź cylindryczna, pierścienie tłokowe, panewki) bardzo twardą, gładką warstwę metalowo-ceramiczną o skrajnie niskim współczynniku tarcia.

- Dzięki temu silnik staje się odporniejszy na chwilowe spadki jakości smarowania i zanieczyszczenia chemiczne oleju.

5. **Hermetyzacja Silnika i Zaawansowana Elektrofiltracja:** Usunięto mylące sformułowanie „cienki elektrofiltr” (kalka z ang. „fine filter”). Zastąpiono je poprawnym określeniem „dokładny elektrofiltr”. W celu profesjonalnego zabezpieczenia mechanizmów silnika przed zanieczyszczeniami z otoczenia oraz samego procesu gazowego, wdraża się koncepcję **pełnej hermetyzacji silnika**. Wszystkie doprowadzane do jednostki media (gazy i ciecze) podlegają rygorystycznemu filtrowaniu w układzie zamkniętym:

- **Dokładny elektrofiltr gazu na bazie włókna węglowego:** Na dolocie gazu, za chłodnicą końcową, montuje się elektrofiltr. Wykorzystuje on wysokie napięcie stałe do jonizacji i wychwytywania najdrobniejszych aerozoli smolnych oraz cząstek popiołu na warstwie aktywnego, przewodzącego włókna węglowego. Włókno to wykazuje doskonałe właściwości sorpcyjne. Kiedy ulegnie nasyceniu zanieczyszczeniami, jest okresowo demontowane i **wykorzystywane bezpośrednio jako paliwo stałe** w reaktorze, co eliminuje problem odpadów filtracyjnych i zamyka obieg materii.
- **Elektrofiltr oleju:** W bocznikowym lub głównym obiegu smarowania silnika instaluje się dedykowany elektrofiltr olejowy. Urządzenie to stale usuwa z oleju submikronowe cząstki sadzy oraz drobiny metali powstałe ze ścierania mechanicznego, których klasyczny, papierowy filtr nie jest w stanie zatrzymać. Zapobiega to ściernemu niszczeniu gładzi i drastycznie wydłuża żywotność środka smarnego.

6. Recykulacja Spalin i Zaawansowane Przygotowanie Powietrza Dolotowego:

W celu maksymalizacji ogólnej sprawności termodynamicznej układu oraz optymalizacji procesu spalania w cylindrze, wdraża się zintegrowany mechanizm recykulacji i obróbki fizycznej spalin oraz powietrza dolotowego:

- **Recykling CO₂ i Odzysk Ciepła Spalin:** Spaliny wylotowe z generatora są kierowane bezpośrednio do komory generatora gazu, która w danej fazie pracy pełni funkcję filtra zasypowego. Spaliny te, będąc niezwykle bogate w dwutlenek węgla (CO₂) oraz ciepło jawne, mogą być w tej przestrzeni skutecznie oczyszczane z sadzy na świeżym złożu paliwowym. Następnie tak podgrzany i przygotowany gaz i tak trafia z filtra do generatora gazu (aktywnej komory zgazowania). W ten unikalny sposób w pełni wykorzystuje się ciepło spalin z generatora do podtrzymania endotermicznej reakcji redukcji, a zawarty w nich CO₂ ulega częściowej konwersji do palnego tlenku węgla (CO).
- **Elektrofiltracja i Jonizacja Powietrza Dolotowego:** W filtrze powietrza generatora montowany jest zaawansowany filtr elektrostatyczny z jonizacją powietrza (ozonator). Wytworzenie ozonu (O₃) oraz jonów tlenu w kanale dolotowym zwiększa aktywność chemiczną mieszanki, przyspieszając proces zapłonu i prędkość rozprzestrzeniania się płomienia wolno palącego się gazu półwodnego.
- **Membranowe Wzbogacanie w Tlen (Opcjonalnie):** W celu dalszego podniesienia sprawności i eliminacji balastu azotu (N₂), w układzie zasysania powietrza opcjonalnie może być zastosowany system membranowy do selektywnego wzbogacania powietrza w tlen.

7. Alternatywny Reaktor Tłumikowy (Zintegrowane Zgazowanie i Wyciszenie Spalin):

Jako alternatywne rozwiązanie konstrukcyjne dla podsystemu zimowego, generator może zostać wyposażony we własny, oddzielny reaktor zgazowania paliwa, zrealizowany w formie specjalnego typu tłumika spalin. Konstrukcja tłumika jest w pełni zoptymalizowana pod kątem dynamiki gazów, dzięki czemu nie wywołuje szkodliwego ciśnienia zwrotnego (backpressure) i nie obniża mocy użytkowej silnika.

- Innym rozwiązaniem jest umieszczenie w tłumiku-reaktorze paliwa stałego (np. drobnej biomasy) lub aktywnego włókna węglowego, a także katalizatora w postaci żużla pochodzącego z produkcji metali.
- Do wnętrza tłumika kontrolowanie doprowadzana jest woda (w postaci mikro-mgły lub pary).
- Wykorzystując bardzo wysoką temperaturę gazów wylotowych silnika (400-600 stopni C) oraz katalityczne właściwości tlenków metali zawartych w żużlu, wewnątrz tłumika zachodzi endotermiczne zgazowanie węgla stałego. Złoże porowate działa jednocześnie jako doskonały tłumik absorpcyjny, gwarantując cichą pracę agregatu i pełną utylizację energii termicznej spalin na cele chemiczne.

3. Bilans Kogeneracyjny (Spadek Mocy i Odzysk Ciepła)

Przejście z benzyny o wysokiej gęstości energii na gaz półwodny powoduje spadek mocy maksymalnej silnika (tzw. *derating*) o 40-50%.

- **Moc Elektryczna (P_{el}):** Nominalnie benzynowy agregat 5 kW generuje na gazie półwodnym stabilne 2.3 - 2.5 kW ciągłej mocy elektrycznej (sprawność elektryczna silnika η_{el} = ok. 20%).
- **Moc Termiczna (P_{th}):** Pozostałe 80% energii zawartej w gazie ulega zamianie na ciepło odpadowe. Za pomocą płaszcza wodnego na bloku silnika oraz prostego rura-w-rurze wymiennika ciepła na spalinach (tzw. ekonomizera), odzyskujemy ok. 5.5 - 6.0 kW energii termicznej (sprawność termiczna układu CHP η_{th} = ok. 60%).
- **Skojarzona sprawność całkowita:** Wynosi η_{CHP} = ok. 80%.

Dzięki temu, uruchamiając agregat na zaledwie **3-4 godziny na dobę**:

1. Doładujemy magazyn energii LiFePO4 o 8-10 kWh (pokrywając z zapasem dobowe zapotrzebowanie bytowe).
2. Generujemy bezpośrednio do bufora ciepła ok. 20-24 kWh energii termicznej, wspomagając ogrzewanie domu i produkując ciepłą wodę.