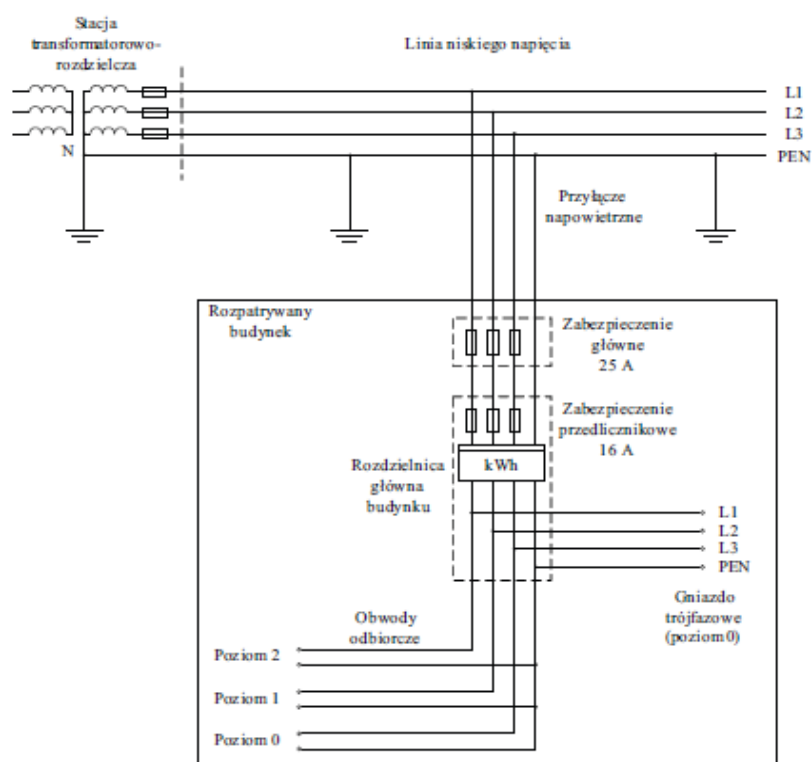


## SAMOCHÓD JAKO ŹRÓDŁO ZASILANIA AWARYJNEGO DLA DOMU JEDNORODZINNEGO

SETLAK Rafał

**Streszczenie.** W studium pokazano ideę zastosowania samochodu osobowego z silnikiem spalinowym, instalacją LPG oraz układem Smart Hybrid do awaryjnego zasilania energią elektryczną i ciepłem odpadowym silnika spalinowego domu jednorodzinnego oraz argumentowano jego większą przydatność nad agregatami spalinowymi

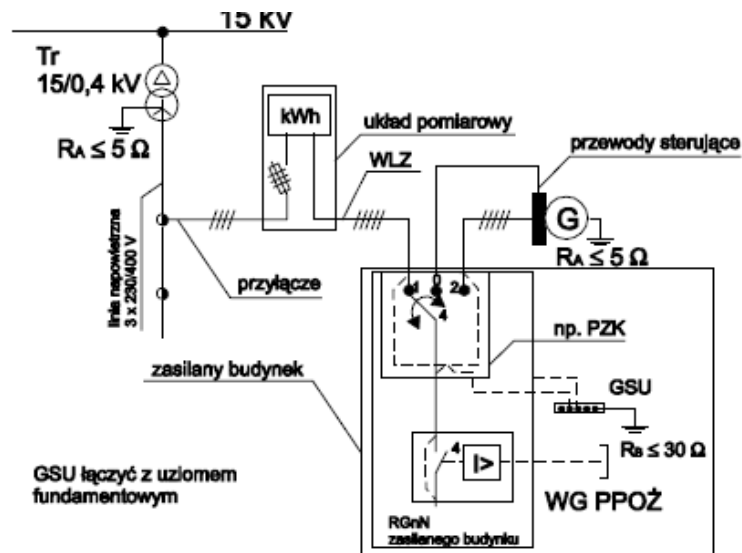
**Wprowadzenie.** Do zasilania awaryjnego domu można używa się obecnie najczęściej stacjonarnych agregatów prądotwórczych. Takie rozwiązanie nosi nazwę w energetyce Prosumenckiej zasilania wyspowego domu. Typowa struktura zasilania domu jednorodzinnego w Polsce (instalacje pracujące zazwyczaj w układzie TN-C) jest pokazana na rysunku 1.



Rys.1. Typowy schemat zasilania domu jednorodzinnego (wg. 2)

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 roku w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz.U. Nr 93/2007, poz. 623 z późn. zmianami) mówi o tym, że zespół prądotwórczy (ZP) pomimo, że znajduje się w majątku użytkownika oraz jest instalowany za układem pomiarowym uważa się za

urządzenie przyłączane do sieci. To powoduje, że niezmiernie ważne stają się aspekty zabezpieczania wyłączonej spod napięcia (np. na czas remontu) sieci elektroenergetycznej przed wstecznym podaniem napięcia z pracującego ZP. Dla większości domów akceptowalne cenowo są ZP z rozruchem ręcznym, dla których zaleca się stosować ręczne przełączniki zabezpieczające przez podaniem napięcia wtórnego (rys.2).



Rys. 2. Propozycja zabezpieczenia sieci energetycznej SN i NN od napięcia wstecznego z ZP przez ręczny przełącznik (wg. 1)

Dla uzyskania maksymalnych korzyści ze stosowania zespołów prądotwórczych należy poprawnie dopasowywać ich parametry do parametrów obiektu zasilanego. Podstawowym parametrem ZP jest zapotrzebowanie przez odbiorniki na moc czynną i moc bierną.

Zapotrzebowanie na moc czynną wynika ze wzoru:

$$P_z = \sum_{i=1}^n k_z * P_i \quad (1)$$

gdzie:

- $P_z$ - moc czynna zapotrzebowana, kW
- $k_z$ - współczynnik zapotrzebowania, bezwymiarowy
- $P_i$ - moc czynna  $i$ -tego odbiornika, który ma być zasilany, kW

Zapotrzebowanie na moc bierną wynika ze wzoru:

$$Q_z = \sum_{i=1}^n k_z * \operatorname{tg} \varphi_i * P_i = \sum_{i=1}^n k_z * \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_i} - 1} * P_i \quad (2)$$

Gdzie:

- $Q_z$ - moc bierna zapotrzebowana, kvar
- $\cos \varphi_i$ - współczynnik mocy  $i$ -tego odbiornika objętego systemem zasilania gwarantowanego.

Obliczone zapotrzebowanie na moc czynną oraz bierną pozwala obliczyć zapotrzebowany współczynnik mocy  $\cos \varphi_z$

$$\cos \varphi_z = \frac{P_z}{\sqrt{P_z^2 + Q_z^2}} \quad (3)$$

Ponieważ generator zespołu prądotwórczego musi pokryć zapotrzebowanie mocy czynnej  $P_z$  oraz mocy biernej  $Q_z$  w przypadku gdy generator wytwarza energię przy współczynniku mocy mniejszym niż znamionowy generatora ( $\cos \varphi_z < \cos \varphi_{nG}$ ) to wobec tego mniejsza jest zdolność do wykorzystania mocy czynnej generatora. Silnik spalinowy ZP jest natomiast dobierany przez projektantów do mocy czynnej generatora (więc pracy przy  $\cos \varphi_{nG}$ ). Względne obciążenie generatora mocą czynną nazywane jest współczynnikiem wykorzystania:

$$p = \frac{\cos \varphi_z}{\cos \varphi_{nG}} \quad (4)$$

Wymagana minimalna moc czynna zespołu prądotwórczego więc powinna spełniać nierówność:

$$P_{Gmin} \geq \frac{P_z}{p} \quad (5)$$

W przypadku gdy  $p > 1$  to wtedy wstawia się wartość 1. Wartość znamionowego współczynnika mocy  $\cos \varphi_{nG}$  należy odczytać z danych producenta ZP. Jeśli takich danych producent nie podaje to można przyjąć, że  $\cos \varphi_{nG} = 0,8$ . Moc pozorna poprawnie dobranego zespołu prądotwórczego musi spełniać nierówność:

$$S_{nG} \geq \frac{P_{Gmin}}{\cos \varphi_z} \quad (6)$$

Gdzie:

$P_{Gmin}$  - minimalna mocy czynna jaką musi pokryć generator ZP, kW

Wytwarzanie energii elektrycznej przez generator ZP przy współczynniku mocy  $\cos \varphi_z < \cos \varphi_{nG}$  wymusza na użytkownikach konieczność przewymiarowania mocy czynnej ZP aż do wartości pokrywającej pełne zapotrzebowanie na moc czynną i moc bierną.

Wygodną i bardzo uproszczoną metodą doboru mocy agregatu jest też metoda oparta na pomiarach dobowego zapotrzebowania na energię w domu. Do tego można wykorzystać także dostępne dla użytkowników roczne zapotrzebowanie na energię  $A_{roczne}$ . Po wykonaniu pomiarów wygodnie jest przyjąć, że moc szczytowa budynku jest około 3 razy większa niż średnie dobowe obciążenie mocą

$$P_s = a_1 A_{roczne} + a_2 \sqrt{A_{roczne}} \quad (7)$$

Tabela. 1. Wartości współczynników  $a_1$ ,  $a_2$  klas odbiorców w grupie taryfowej G11 [wg 2]

$A_r$ MWh	$a_1$	$a_2$
$A_r \leq 1,5$	0,32	0,48
$1,5 < A_r \leq 3,0$	0,23	0,58
$3,0 < A_r \leq 7,0$	0,18	0,66
$7,0 < A_r \leq 18,0$	0,16	0,72
$18 < A_r$	0,14	0,81

Oprócz oczywistych kryteriów mocy odbiorników stosowane są zróżnicowane wymagania pewności zasilania przejawiające się w klasyfikacji odbiorników energii elektrycznej na kategorie zasilania:

- odbiorniki III-ciej kategorii zasilania –dowolnie długa przerwa w dostawie energii elektrycznej nie spowoduje dla odbiorników żadnych negatywnych skutków,
- odbiorniki II-giej kategorii zasilania –przerwa do kilku minut w dostawie energii elektrycznej nie spowoduje negatywnych skutków,
- odbiorniki I-wszej kategorii zasilania –nawet krótka przerwa w dostawie energii elektrycznej powoduje zagrożenie życia ludzi lub znaczne straty materialne

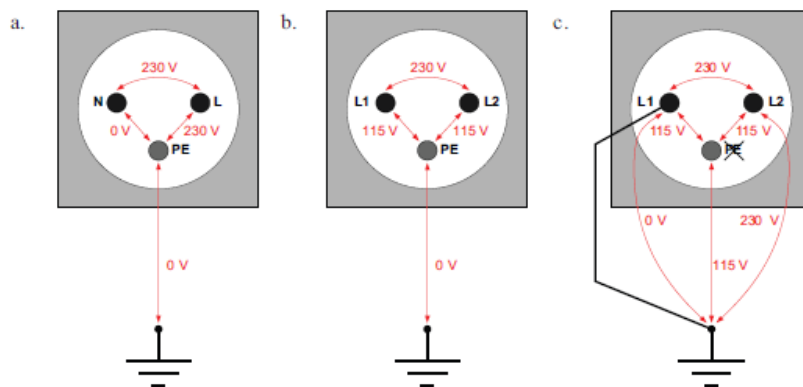
W domach, do których dobiera się zasilanie ZP można grupować zainstalowane odbiorniki (zgodnie z PN-ISO 8528–1) ze względu na klasy wymagań eksploatacyjnych:

- klasa G1 – odbiorniki mało wymagające, które wymagają spełnienia podstawowych parametrów w zakresie napięcia oraz częstotliwości (np. oświetlenie ogrzewanie elektryczne itp.)
- klasa G2 - odbiorniki wymagające jakości dostarczanej energii elektrycznej porównywalnej z publicznymi sieciami elektroenergetycznymi. Dopuszczalne są chwilowe odchylenia od znamionowych wartości napięcia i częstotliwości (np. oświetlenie, pompy, wentylatory, windy, itp.)
- klasa G3 - odbiorniki o zwiększonych wymaganiach co do jakości dostarczanej energii elektrycznej (np. zasilacze UPS, systemy telekomunikacyjne, sprzęt audio, TV, itp.)
- klasa G4 - odbiorniki o wysokich wymaganiach w zakresie dostarczanej energii elektrycznej

Najistotniejsze wymagane wartości graniczne parametrów zasilania dla ZP w poszczególnych klasach wymagań zostały opisane w pozycji [2] w Tabeli 1.

Chętnie stosowane w domach agregaty prądotwórcze małych mocy posiadają odmienne od sieciowego rozkłady napięcia między swoimi zaciskami w gniazdach dla odbiorników I klasy ochronności. W układach sieciowych w gniazdach napięcia skuteczne pomiędzy stykami fazowym L1 i neutralnym N oraz fazowym L1 i ochronnym PE wynoszą zawsze 230V. Pomiedzy stykami PE oraz N napięcie wynosi 0V. W agregatach natomiast występują często zaciski fazowe L1 i L2 (rysunek 3) pomiędzy którymi napięcie wynosi 230V. Napięcie pomiędzy parami L1-PE oraz L2-PE wynosi w takich przypadkach 115V.

Bezpośrednie wpięcie agregaty z takimi zaciskami do instalacji domu spowoduje, że na przewodzących obudowach odbiorników I klasy ochronności pojawi się napięcie 115V. Proste rozwiązanie tego problemu przez sprowadzenie potencjału do masy pokazano na rysunku 3c.

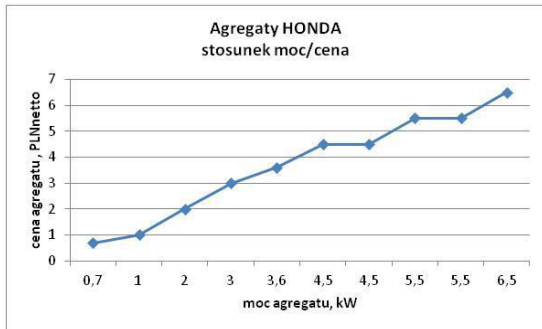


Rys. 3. Napięcia pomiędzy zaciskami a) sieci domowej, b) agregatu prądotwórczego, c) agregatu wpinanego bezpiecznie do instalacji domowej [wg 2]

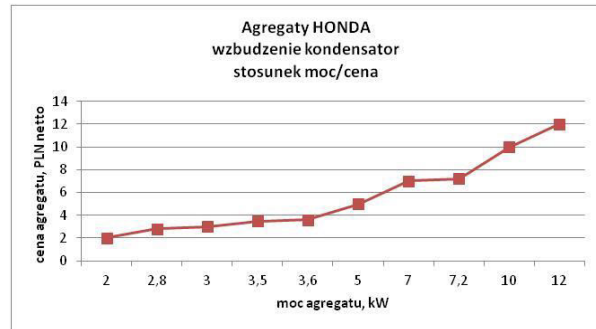
Dla celów opinii dokonano identyfikacji wad stosowanych agregatów prądotwórczych do awaryjnego zasilania domów. Są one następujące:

- Jakość wytwarzanej energii elektrycznej (kształt fali napięcia i prądu odbiegający znacznie od sinusoidy, słaba stabilizacja częstotliwości) przez układy stabilizacji napięcia agregatów dostępnych w sieciowych sklepach wielko powierzchniowych pozostawiają zazwyczaj wiele do życzenia. Wytwarzane napięcia mają często kształt prostokąta, trójkąta, a częstotliwość zależy silnie od prądu obciążenia. To powoduje, że wiele z domowych urządzeń nie może być zasilane z agregatów. Przebadano pod względem jakości napięcia pod obciążeniem kilkanaście modeli agregatów prądotwórczych o małej mocy (do 7kW) firm HONDA, YAMAHA, KIPOR, LEROY SOMER i procentów azjatyckich. Wyniki badań nie były optymistyczne. Konstrukcje azjatyckie nie osiągały nawet 70% deklarowanej mocy znamionowej, a odkształcenia napięcia większości agregatów (nawet renomowanych wytwórców) dyskwalifikowały je z użytku domowego nawet dla odbiorów grupy G2. Najlepsze parametry wykazywały zawsze agregaty firmy HONDA z inwerterami (energoelektronicznym formowaniem napięcia). Ale nawet one nie były w stanie zasilac w przykładowym domu energooszczędnym elektronicznych układów kontroli domowych pieców gazowych CO (problemy zanotowano dla trzech pieców firm VISSMAN, JUNKERS oraz BOSCH).

- Agregaty prądotwórcze stanowią dla właścicieli domu dodatkową inwestycję. Chęć utrzymania stosunkowo niskich kosztów inwestycji (wybór mniej renomowanego producenta) może powodować, że zakupiony agregat nie będzie osiągał nawet swoich parametrów znamionowych. Dla potrzeb analizy dokonano rozeznania ofertowego wielu typoszeręgów agregatów prądotwórczych firmy HONDA. Zdecydowano się w ostateczności oprzeć porównania finansowe wyłącznie na produktach firmy HONDA. Brano pod uwagę typoszeręgi jednostek jednofazowych o porównywalnych układach stabilizacji napięcia.

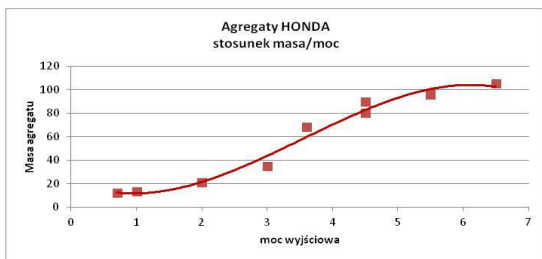


Rys. 4. Stosunek ceny jednofazowych agregatów prądowców do ich mocy znamionowej

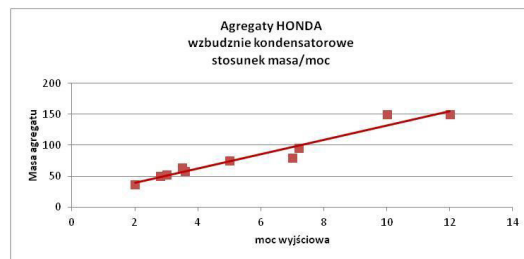


Rys. 5. Stosunek ceny jednofazowych agregatów prądowców ze wzbudzeniem kondensatorowym do ich mocy znamionowej

- Silniki spalinowe stosowane w agregatach prądowców małej mocy posiadają chłodzenie powietrzne. To powoduje że są głośnie oraz nie pozwalają produkować energii skojarzonej. Agregaty z prądnicowymi układami stabilizacji są dodatkowo duże i ciężkie

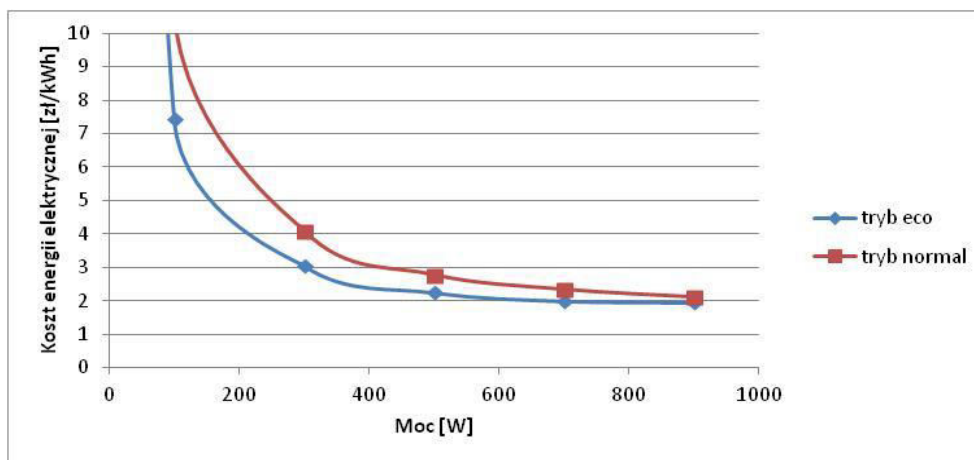


Rys. 6. Współczynniki masy do mocy agregatów jednofazowych



Rys. 7. Współczynniki masy do mocy agregatów jednofazowych ze wzbudzeniem kondensatorowym

- Na rynku małych mocy dominują agregaty zasilane benzyną (dla większych mocy stosuje się także ON i LPG) co powoduje, że koszt wytworzonej w ten sposób energii są wysokie. Przykładowe obliczenia kosztów wytwarzanej energii dla badanej HONDY EU10i (wzorcowe rynkowe rozwiązanie) pokazano na rysunku 8. Ceny energii elektrycznej innych rozwiązań pracujących w punkcie obciążenia znamionowego są wyższe o około 50% i wynoszą około 3 PLN/kWh.

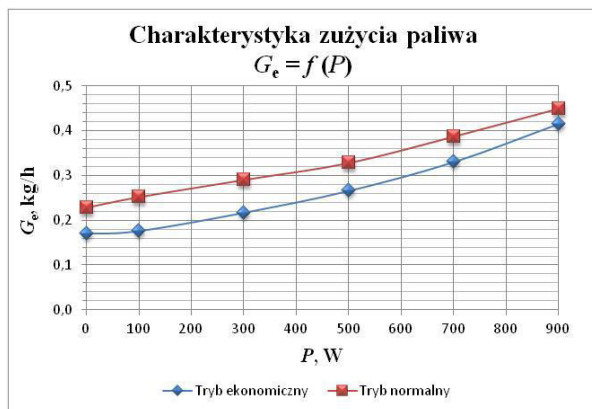


Rys. 8. Koszt brutto w PLN wytworzenia 1 kWh energii elektrycznej przez agregat HONDA EU10i

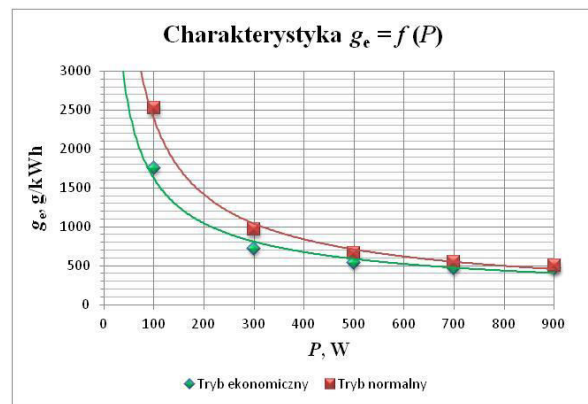
- Na rynku agregaty prądotwórcze małej mocy zasilane LPG lub gazem ziemnym są rzadkością (np. rozwiązanie GAP firmy POLDE Grupa). Wymiary tych urządzeń są bardzo duże (np. 2,1m x 2,2 m x 1,6 m) i podobnie jak dla standardowych rozwiązań nie oczyszcza się spalin.

- Sposoby zasilania silników agregatów prądotwórczych (gaźniki) odpowiadają rozwiązaniom samochodowym sprzed 40-50 lat. To powoduje, że misja zanieczyszczeń agregatów prądotwórczych małej mocy nie jest limitowana. W agregatach (ze względu na cenę) nie stosuje się ani wtrysku paliwa ani nawet katalizatorów.

Aby określić zużycie energii w rzeczywistym agregacie wysokiej klasy wykonano pomiary zużycia paliwa i emisji zanieczyszczeń agregatu HONDA EU10i (silnik spalinowy Honda GXH-50 i przekształtnik inwerterowy). Badania polegały na pomiarze zużycia paliwa za pomocą biurety podłączonej do silnika w miejsce zbiornika paliwa. Pomiary prowadzono zawsze dla stanu nagrzanego silnika. Wykonano pomiary podczas biegu jałowego oraz obciążania odbiornikami rezystancyjnymi o mocach: 100W, 300W, 500W, 700W, 900W (odpowiadało załączeniu kolejnych odbiorników w domu o zasilaniu wyspowym). W trakcie pomiarów rejestrowano emisję spalin przy użyciu analizatora spalin MAHA MGT5, odpowiednich sond i programu rejestrującego. Silnik Honda GXH-50 posiada dwa tryby pracy: n-normalny i e-ekonomiczny, więc pomiary zostały wykonane zarówno dla jednego jak i drugiego trybu pracy. Na rysunkach 9 i 10 pokazano zmierzone zależności  $G_e = f(P)$ ,  $g_e = f(P)$ .



Rys. 9. Charakterystyki godzinowego zużycia paliwa w kg/h w funkcji obciążenia dla trybów normalnego i ekonomicznego silnika Honda GXH-50



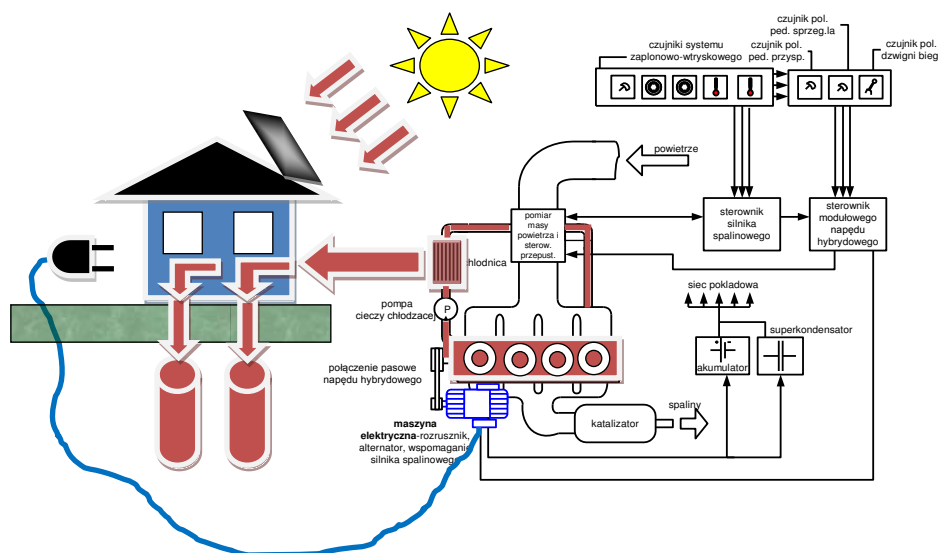
Rys. 10. Charakterystyki jednostkowego godzinowego zużycia paliwa w g/kWh w funkcji obciążenia dla trybów normalnego i ekonomicznego silnika Honda GXH-50

- Agregaty prądotwórcze zasilane benzyną i olejem napędowym są wrażliwe na pracę na biegu jałowym (lub bardzo małym obciążeniu), co jak pokazują doświadczenia skutkuje szybkim niszczeniem silników spalinowych na skutek działania agresywnych czynników chemicznych niedogrzanego silnika, zwłaszcza związków siarki na wewnętrzne powierzchnie trące silnika. Przy takim trybie pracy także zachodzi szybsza degradacja oleju silnikowego skutkująca szybkim niszczeniem powierzchni trących. Niektórzy producenci aby

zapobiec tym zjawiskom stosują w układach stabilizacji napięcia dodatkowe rezystory wewnętrzne włączane automatycznie jako obciążenie prądnicy przy wykryciu odłączenia odbiornika.

Ciekawą alternatywą dla zasilania awaryjnego domu jednorodzinnego jest zastosowanie samochodowego alternatora 12V. Regulatory napięcia w samochodach utrzymują na wyjściu napięcie w granicach 13,8-14,4V. Moc wyjściowa alternatorów 12V wynosi w samochodach klas A, B, C w granicach 600 W-1,2k W. Do tego niezbędne jest zabudowanie w samochodzie inwertera 12V/230V-sinus lub wydzielenie w domu obwodów 12V do bezpośredniego zasilania z samochodu (np. oświetlenie domu, zasilanie TV, radio, laptop, pompka pieca CO). Przykładowymi rozwiązaniami przetwornic są np.: NY1000E, PAB1000/12, VC2000/12, PL1200/12, MWS1500/12, PAM1000/12.

Opłacalność tego typu rozwiązania jest jeszcze większa jeśli samochód posiada instalację LPG. W ramach analizy przeprowadzono obliczenia opłacalności zastosowania samochodu z LPG do zasilania awaryjnego domu jednorodzinnego parterowego o powierzchni 100m<sup>2</sup>.



Rys. 11. Idea połączenia domu z samochodem ze Smart Hybrid LPG Plug Out

W chwilach braku energii wyjście z alternatora jest podłączane (przy zachowaniu analogicznych warunków bezpieczeństwa jak dla zespołu prądotwórczego) do domowej instalacji 220V za sieciowym rozłącznikiem ręcznym. Takie rozwiązanie nazwano SMART HYBRID LPG PLUG OUT. W takim przypadku moc rezerwowa dla domu ograniczona jest do 1kW. Dla zapewnienia pewnej autonomii domu przewidziano zainstalowanie na dachu ogniw PVT lub zasobnika rezerwowego baterii VRLA.

Analizowano wiele wariantów konfiguracji samochodowego układu rezerwowego zasilanego z LPG oraz systemów rezerwowych zainstalowanych w domu. Założono, że samochód z SMART HYBRID LPG PLUG OUT będzie eksploatowany przez 10 lat a następnie będzie



kupiony kolejnych pojazd, założona zostanie do niego nowa instalacja LPG oraz zamontowany będzie układ SMART HYBRID LPG PLUG OUT.

Jako wariant odniesienia przyjęto Wariant 1 czyli dom dla którego każda forma zużywanej energii jest kupowana a jej zużycie jest takie jak obliczono ze średniej dla okresu trzech lat eksploatacji domu rzeczywistego będącego inspiracją dla obliczeń:

Energia elektryczna kupiona: 2870 kWh, koszt: 1590 zł

Gaz- ogrzewanie wody + CO: 2140 kWh +6470 kWh, łączny koszt: 2456 zł

Benzyna- samochód 1: 4420 kWh, koszt: 2500 zł

Benzyna- samochód 2: 14110 kWh, koszt: 8200 zł

**Całkowite koszty roczne- Wariant 1: 14 746 zł**

Dla uproszczenia w obliczeniach nie uwzględniono zmian cen energii (elektrycznej, gazu, benzyny i LPG) w kolejnych latach eksploatacji (ceny nośników energii są z sobą skorelowane) więc ich zmiany wpłyną ostatecznie w taki sam sposób na efekt końcowy obliczeń. Założono, że zasilanie domu w sytuacjach awaryjnych przejmuje na siebie samochód 2 nazywany z SMART HYBRID LPG PLUG OUT.

	Wariant zasilania	Energia dla domu
Wariant 2	Samochód 2 z SMART HYBRID LPG PLUG OUT, możliwość zasilania domu w sytuacjach awaryjnych, akumulatory 6x100 Ah	Energia elektryczna kupiona: 2870 kWh, koszt: 1590 zł Gaz- ogrzewanie wody: 2140 kWh, koszt: 1056 zł Gaz- CO: 6470 kWh, koszt: 1400 zł Bateria akumulatorów (wymiana co 10 lat): 4200 zł Dodatkowe koszty (wymiana samochodu 2 co 10 lat i w tych interwałach ponoszony koszt LPG: 3000 zł oraz przegląd coroczny LPG: 250 zł) <b>Całkowite koszty roczne: 11596 zł</b>
Wariant 3	Samochód 2 z SMART HYBRID LPG PLUG OUT, możliwość zasilania domu w sytuacjach awaryjnych, zasilanie domu także z ogniw PVT 8,5 m2, podłączenie do sieci elektrycznej i gazowej	Instalacja PVT: 15000 zł Energia elektryczna PVT: 858 kWh Energia elektryczna kupiona: 2012 kWh, koszt: 1114 zł Gaz- ogrzewanie wody: 2140 kWh, koszt: 1056 zł Ciepło PVT: 2102 kWh Gaz- CO: 4367,9 kWh, koszt: 945,1 zł Dodatkowe koszty (wymiana samochodu 2 co 10 lat i w tych interwałach ponoszony koszt LPG: 3000 zł oraz przegląd coroczny LPG: 250 zł) <b>Całkowite koszty roczne: 10665 zł</b>
Wariant 4	Samochód 2 z SMART HYBRID LPG PLUG OUT, zasilanie domu z PVT (prąd + ciepło), reszta kupiona z sieci, instalacja PVT 8,5 m2, podłączenie do sieci elektrycznej i gazowej, silnik SMART HYBRID LPG PLUG OUT pracuje 1000 h/rok	Instalacja PVT: 15000 zł Energia elektryczna PVT: 858 kWh Energia elektryczna z alternatora: 1000 kWh Energia elektryczna kupiona: 1012 kWh, koszt: 560 zł Gaz- ogrzewanie wody: 2140 kWh, koszt: 1056 zł Ciepło PVT: 2102 kWh Gaz- CO: 4368 kWh, koszt: 945 zł Dodatkowe koszty (wymiana samochodu 2 co 10 lat i w tych interwałach ponoszony koszt LPG: 3000 zł oraz przegląd coroczny LPG: 250 zł) <b>Całkowite koszty roczne: 12911 zł</b>

Zastosowanie samochodu z układem Smart Hybrid LPG z alternatorem 12V oraz inwerterem pracujących w roli awaryjnego zasilania domu jednorodzinnego, jak pokazały obliczenia wydają się być rozwiązaniem zachęcającym ekonomicznie. Mała moc alternatora umożliwia jednak długookresowe zasilanie wydzielonych obwodów w domu bez ponoszenia dodatkowych kosztów zakupu agregatu. Aby uczynić układ bardziej uniwersalnym (np. przejście zasilania rezerwowego podczas nieobecności samochodu) proponuje się zastosowanie małej baterii akumulatorów i ogniw PVT. Ich koszty są w takim wariantcie dużo

niższe niżby projektować je na przejęcie pełnej mocy zapotrzebowania domu. Jako niewrażliwe odbiorniki zasilanie z Smart Hybrid LPG z alternatorem można traktować oświetlenie, pompę pieca CO, zasilanie laptopa. Jak pokazały analizy, samochód ze Smart Hybrid LPG Plug Out zasilający jedynie instalację elektryczną budynku pozwala na uzyskanie w okresie 30 lat eksploatacji domu oszczędności kosztów ok. 20% względem rozwiązania tradycyjnego.

## **Źródła**

- [1] Fice M., Setlak R. Smart Hybrid- Integracja rynku transportowego z energetyką odnawialną poprzez wykorzystywanie samochodów z układami Smart Hybrid LPG Plug Out do zasilania budynków-raport z projektu
- [2] Wiatr J.: Zastosowanie zespołów prądotwórczych do awaryjnego zasilania obiektów budowlanych, CKSI i UE SEP
- [3] Korab R.: Integracja agregatu prądotwórczego z instalacją odbiorczą budynku mieszkalnego-pierwsze doświadczenia praktyczne

*Datowanie (wersja oryginalna opracowana we współpracy z Parkiem Naukowo-Technologicznym Euro-Centrum) – 17.05.2014 r.*