

EV JAKO ZASOBNIK DLA EP – KOSZTY MAGAZYNOWANIA ENERGII W RZECZYWISTYCH ZASOBNIKACH

FICE Marcin

Streszczenie: *W raporcie przedstawiono możliwość zasilania mikroinstalacji prosumenckiej z baterii akumulatorów samochodu elektrycznego, wpływ mocy rozładowania na trwałość akumulatorów i koszty magazynowania energii. Analizę przeprowadzono dla wybranej mikroinstalacji prosumenckiej wyposażonej w różne urządzenia elektryczne załączane wg profilu zależnego od pory roku i wariantu instalacji.*

Wprowadzenie. Akumulatory samochodu elektrycznego w pewnych warunkach mogą pracować jako źródło energii elektrycznej dla gospodarstwa domowego. Natomiast najkorzystniejszy efekt ekologiczny i ekonomiczny uzyskany zostanie w przypadku ładowania akumulatorów samochodu elektrycznego bezpośrednio z odnawialnego źródła energii, np. ogniw fotowoltaicznych. [1]

Założono, że w gospodarstwie domowym będzie zastosowana tak zwana mikrosieć energetyczna. Przez pojęcie mikrosieci rozumie się układ połączeń źródeł i odbiorników w obrębie jednego budynku dla specyficznych zastosowań, np. zasilania wybranych odbiorników podczas losowych przerw w dostawach energii. Taka mikrosieć będzie także umożliwiała odłączanie w pewnych warunkach budynku mieszkalnego od zasilania sieciowego, a energia będzie zapewniona przez zasobnik energii umieszczony w pojeździe elektrycznym.

Budowa mikrosieci prosumenckiej możliwa jest w dwóch wariantach:

- On-grid - sieć mikrogeneracji połączona jest z lokalną siecią elektroenergetyczną. W tym przypadku konieczne jest zainstalowanie przekształtników dopasowujących napięcie i częstotliwość (interfejs sieciowy).
- Off-grid - sieć mikrogeneracji nie jest połączona z lokalną siecią elektroenergetyczną, energia produkowana zużywana jest na potrzeby chwilowe lub magazynowana w akumulatorze. Takie rozwiązanie będzie rozpatrywane w niniejszym opracowaniu.

W ramach opracowania wykonano pomiary:

- poboru energii elektrycznej przykładowego gospodarstwa domowego,
- prądu ładowania i rozładowywania zasobnika energii,
- napięcia na zasobniku energii w czasie ładowania oraz rozładowywania.

Wyznaczono:

- przebiegi dobowego zapotrzebowania na moc,
- maksymalną i minimalną wartość dobowego poboru mocy,
- przebiegi prądu i napięcia akumulatora w trakcie ładowania oraz rozładowywania,
- rozkład częstości występowania poszczególnych poziomów pobieranej mocy dla całego tygodnia,
- charakterystykę energetyczne zasobników energii elektrycznej,
- charakterystyki promieniowania słonecznego dla Śląska.

Obliczono:

- średni dobowy pobór mocy,

- pojemność akumulatorów dla różnych mocy wyładowania, trwałość zasobnika energii elektrycznej
- teoretyczne zapotrzebowanie na moc gospodarstwa domowego zasilanego z wydzielonej mikrosieci dla różnych zespołów odbiorników oraz pór roku,
- uzysk energetyczny z ogniw fotowoltaicznych na terenie Śląska.

Zapotrzebowanie na moc gospodarstwa domowego

W celu ustalenia dobowego zapotrzebowania na moc gospodarstwa domowego przeprowadzono ciągły pomiar mocy w rzeczywistym obiekcie - gospodarstwie domowym. Gospodarstwo domowe jest zamieszkałe przez czteroosobową rodzinę. Do wyposażenia elektrycznego należą duże odbiorniki energii elektrycznej takie jak piec i piekarnik elektryczny, żelazko, pralka, czajnik elektryczny, kuchenka mikrofalowa, odkurzacz, bojler, a także inne mniejsze, m.in. ładowarki, radia, czy lampki biurkowe. W tabeli 1 przedstawiono spis odbiorników elektrycznych zainstalowanych w badanym gospodarstwie domowym. Moc zainstalowana odbiorników energii elektrycznej dla badanego obiektu wynosi $P_{zainst} = 24870$ W.

Tabela 1.: Spis odbiorników energii elektrycznej znajdujących się w badanym gospodarstwie domowym.

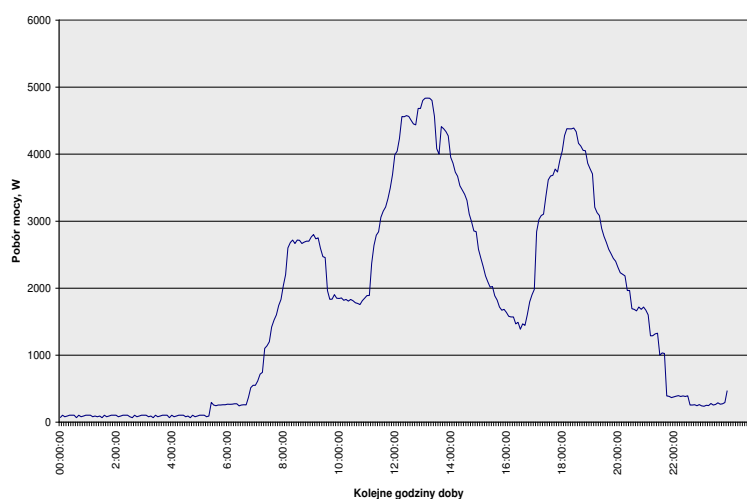
Rodzaj odbiornika energii elektrycznej	Ilość	Sumaryczny pobór mocy [W]
Blender	1	300
Bojler	1	1800
Czajnik bezprzewodowy	1	1900
Drukarka	1	60
Elektronarzędzia	5	3500
Gofrownica	1	650
Kino domowe	1	150
Kuchenka mikrofalowa	1	2000
Komputer stacjonarny	1	300
Lampa biurkowa	2	70
Laptop	2	80
Lodówka zamrażarka	1	350
Ładowarka	4	140
Maszyna do mielenia mięsa	1	650
Maszyna do szycia	1	100
Mikser	1	250
Mini wieża	1	100
Młynek do kawy	1	60
Monitor LCD	1	25
Odkurzacz	1	1800
Piec z piekarnikiem	1	4700
Pompa obiegowa CO	1	45
Pompa brudnej wody	1	400
Pralka	1	2200
Radio	1	5
Świetlówka	4	36
Radiomagnetofon	1	15

Telewizor LCD	1	164
Toster	1	650
Wentylator łazienkowy	1	20
Żarówka 25W	10	250
Żarówka 40W	4	160
Żarówka 60W	4	240
Żelazko	1	1700

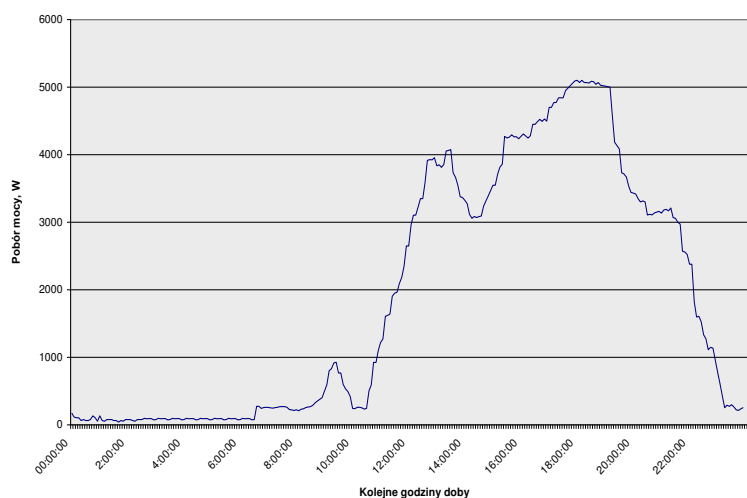
Pomiaru prądu i napięcia dokonywano w głównej rozdzielniczy mieszkania. Wykorzystano do tego układy przetworników napięcia typu LEM LV 25-P oraz prądu LEM LA 55-P. Na podstawie zarejestrowanych przebiegów wyznaczono chwilową moc czynną:

$$P = \sum_{i=1}^n U_i \cdot I_i \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

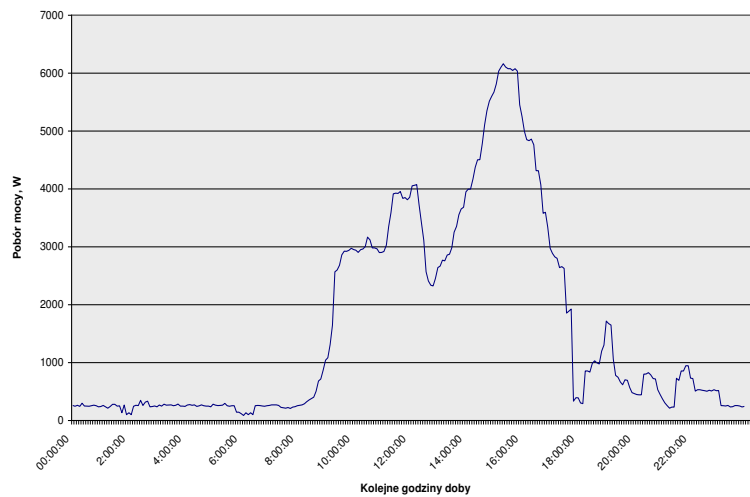
Na rysunkach od 1 do 7 przedstawiono przykładowe przebiegi zmian mocy czynnej w badanym gospodarstwie domowym dla okresu jednego tygodnia (od 10 grudnia do 16 grudnia). Do prezentacji wyników badań celowo wybrano okres zimowy ze względu na większe niż w pozostałych porach roku zapotrzebowanie na energię elektryczną.



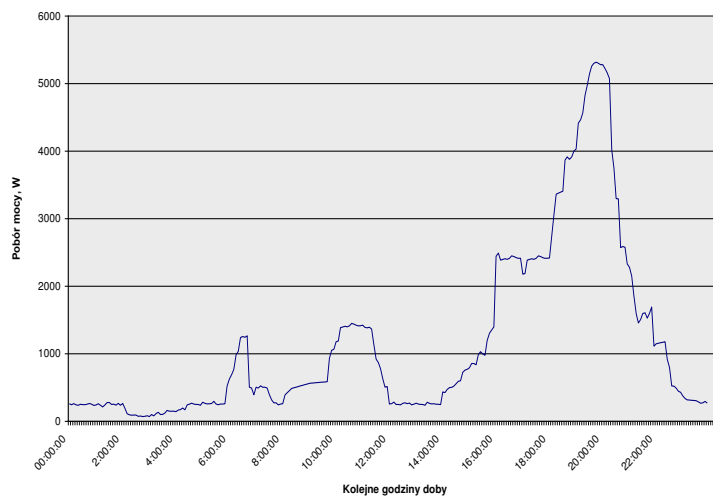
Rys.1.1. Pobór mocy dnia 10 grudnia (piątek)



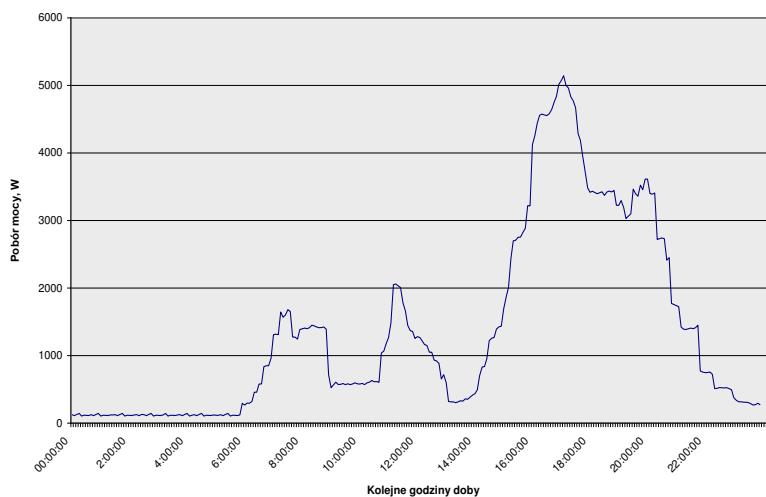
Rys.2. Pobór mocy dnia 11 grudnia (sobota)



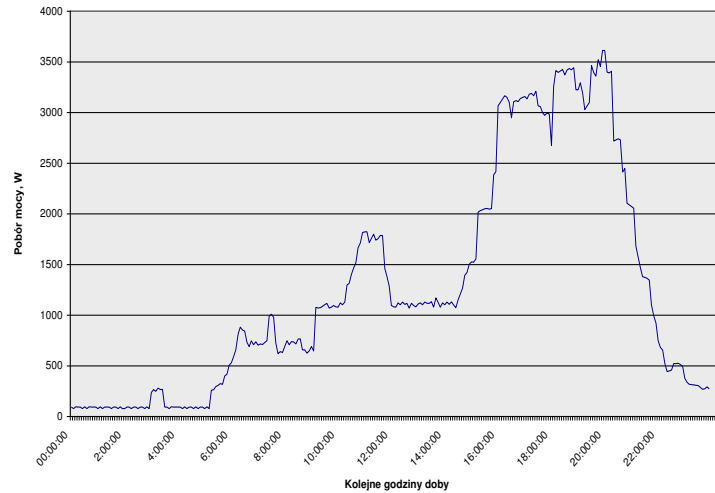
Rys.3. Pobór mocy dnia 12 grudnia (niedziela)



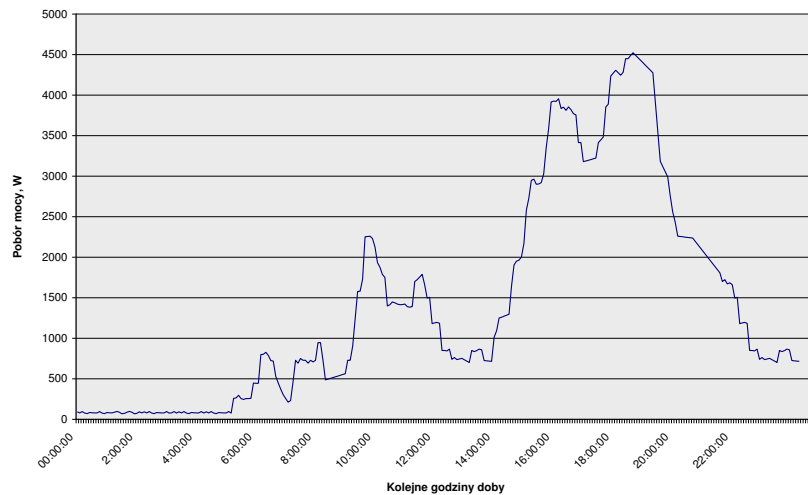
Rys.4. Pobór mocy dnia 13 grudnia (poniedziałek)



Rys. 5. Pobór mocy dnia 14 grudnia (wtorek)



Rys.6. Pobór mocy dnia 15 grudnia (środa)



Rys.7. Pobór mocy dnia 16 grudnia (czwartek)

W celu porównania wykorzystania mocy elektrycznej w gospodarstwie domowym wprowadzono wskaźniki: [3]

Wskaźnik instalacyjny zapotrzebowania na moc:

$$k_{zinst} = \frac{P_{sr}}{P_{zainst}} \quad (2)$$

gdzie: P_{sr} - moc średnia, $P_{zainst} = 24870W$ - moc zainstalowana (jest to sumaryczna moc wszystkich odbiorników energii elektrycznej w gospodarstwie domowym).

Wskaźnik użytkowy zapotrzebowania na moc:

gdzie: P_{max} - maksymalna zarejestrowana wartość mocy

Wskaźnik maksymalnego zapotrzebowania na moc:

$$k_{zmax} = \frac{P_{max}}{P_{zainst}} \quad (4)$$

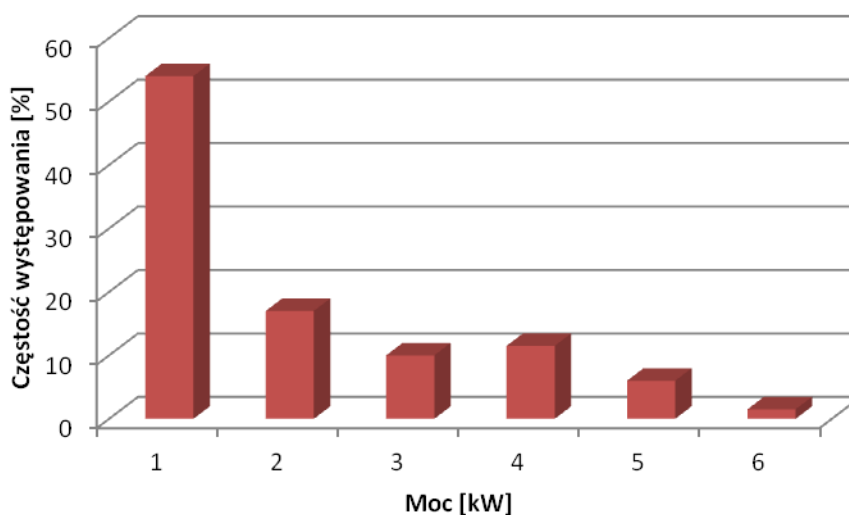
W tabeli 2 przedstawiono wartości wskaźników instalacyjnego i użytkowego zapotrzebowania na moc dla dni przedstawionych na rysunkach 1 - 7.

Tabela 2.: Wartość wskaźników instalacyjnego i użytkowego zapotrzebowania na moc.

Dzień	k_{zinst}	k_{zuz}	k_{zmax}
10 grudnia	0,07	0,36	0,19
11 grudnia	0,08	0,37	0,21
12 grudnia	0,06	0,26	0,25
13 grudnia	0,05	0,22	0,21
14 grudnia	0,05	0,27	0,21
15 grudnia	0,03	0,35	0,15
16 grudnia	0,06	0,32	0,18

Dla analizowanego okresu wartości średnie wskaźnika instalacyjnego zapotrzebowania na moc dla badanego gospodarstwa domowego wynosi $k_{zinst} = 0,05$ i wskaźnika użytkowego $k_{zuz} = 0,31$.

Na podstawie pomiarów chwilowego zapotrzebowania na moc w gospodarstwie domowym wyznaczono sumaryczną częstość występowania poszczególnych poziomów mocy (w przedziałach co 1 kW) i przedstawiono ją na rysunku 8.



Rys.8. Rozkład częstości występowania poszczególnych poziomów zapotrzebowania na moc badanego gospodarstwa domowego. [opracowanie własne]

Z przeprowadzonych badań poboru mocy w gospodarstwie domowym wynika, że średnio każdego dnia występują trzy szczyty zapotrzebowania, z czego największy w godzinach wczesno wieczornych. Średnia moc szczytu wieczornego wynosi ok. 4,5 kW. Maksymalny zaobserwowany pobór mocy dla badanego gospodarstwa domowego wynosi 6,5 kW, odpowiada to wartości wskaźnika maksymalnego zapotrzebowania na moc $k_{zmax} = 0,26$. Najwyższy zakres zapotrzebowania na moc występuje najkrócej, przez ok. 1,5% czasu rejestracji. Najczęściej występująca wartość poboru znajduje się w zakresie 1 kW i ma miejsce przez ponad połowę czasu trwania pomiarów. Wiąże się to z małym lub zerowym poborem mocy nocą i częstą pracą odbiorników małej mocy (zasilacze komputerów w trybie uśpienia, ładowarki telefonów, itp.). Wartości z zakresu 2 kW występują przez około 15%

czasu trwania tygodnia, ów trend malejącej częstości występowania coraz większych poborów mocy jest zachwiany dla wartości z zakresu 4 kW.

Parametry energetyczne akumulatorów kwasowo-ołowiowych wykonanych w technologii AGM VRLA oraz litowo-jonowych (litowo-polimerowych)

Akumulatory kwasowo-ołowiowe nadal posiadają najkorzystniejszy stosunek pojemności do ceny. Technologia akumulatorów szczelnych AGM VRLA jest bezpieczna (nie występuje emisja wodoru, w przypadku pęknięcia obudowy elektrolit nie wycieknie) i wygodna do stosowania (akumulatory mogą pracować w każdym ułożeniu) jako baterie stacjonarne oraz jako źródło energii dla samochodów elektrycznych. W celu wyznaczenia parametrów energetycznych akumulatorów AGM VRLA przeprowadzono serie badań wyładowania różnymi wartościami prądu akumulatora o parametrach (SSB SBL 100-12i): [7]

- pojemność znamionowa C₂₀ - 100 Ah,

- napięcie znamionowe - 12 V.

Pojęcia definiujące parametry akumulatorów:

Pojemność znamionowa C_n (lub C₂₀ w przypadku pojemności dla prądu znamionowego dwudziestogodzinnego) - wyrażona w Ah pojemność akumulatora dostępna dla szczególnych warunków wyładowania przy prądzie znamionowym. Dla akumulatorów kwasowo-ołowiowych SSB SBL jest to prąd dwudziestogodzinny.

Stopień naładowania akumulatora SOC (ang. state of charge) - stosunek pojemności pobranej

przez obciążenie do pojemności znamionowej $SOC = 1 - \frac{C_{\epsilon}}{C_n}$. Wartość wskaźnika SOC zawarta jest w przedziale <0,1>.

Głębokość naładowania akumulatora DOC (ang. depth of charge) - stosunek pojemności przy

określonym prądzie wyładowania do pojemności znamionowej $DOC = 1 - \frac{C_{\epsilon}}{C(U, t)}$. Wartość wskaźnika SOC zawarta jest w przedziale <0,1>.

Głębokość rozładowania akumulatora DOD (ang. depth of discharge) - stosunek pojemności

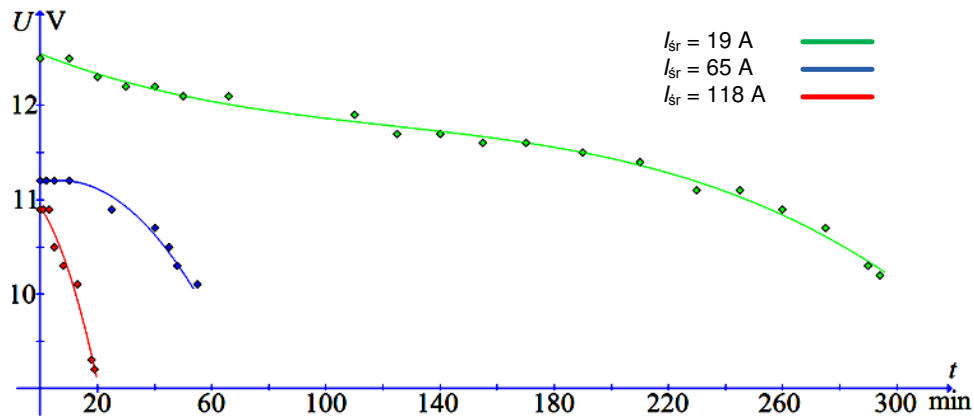
przy określonym prądzie wyładowania do pojemności znamionowej $DOD = \frac{C_{\epsilon}}{C(U, t)}$. Wartość wskaźnika SOC zawarta jest w przedziale <0,1>.

Czas ładowania lub wyładowania - zależność czasowa pomiędzy prądem ładowania lub wyładowania do pojemności znamionowej, np. dla akumulatora SSB SBL 100-12i o pojemności 100 Ah czas wyładowania 30 min odpowiada prądowi o wartości 100 A.

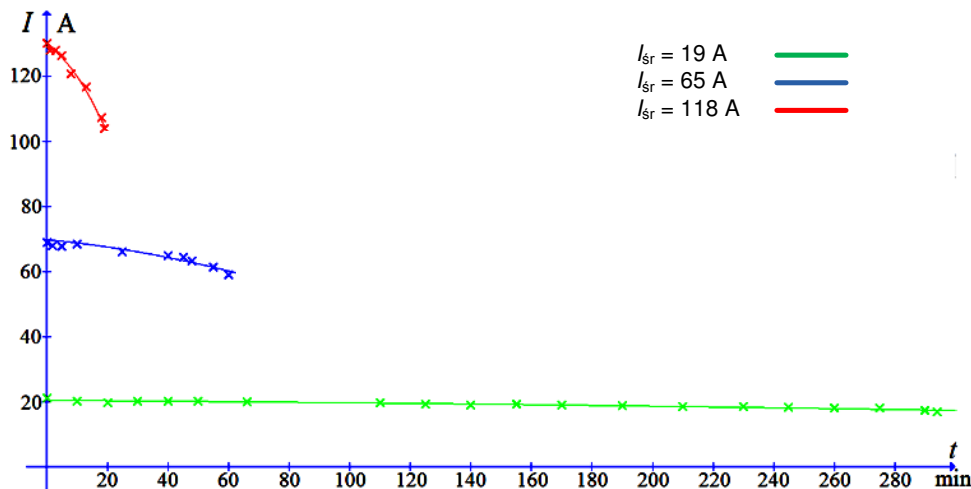
Sprawność - stosunek ładunku (w Ah lub Wh) pobranego z akumulatora do ładunku potrzebnego do uzyskania początkowego (przed rozpoczęciem cyklu wyładowania) stanu naładowania akumulatora. Sprawność akumulatora jest zależna od zakresu SOC w jakim akumulator pracuje oraz od prądu wyładowania i ładowania.

Trwałość - liczba cykli ładowania/wyładowania akumulatora po których pojemność akumulatora zmniejszy się trwale o 20%.

Przebieg napięcia za zaciskach akumulatora dla badanych prądów obciążenia przedstawiono na rysunku 9, a na rysunku 10 pokazano przebiegi zmian prądu wyładowania.



Rys. 9 Przebiegi napięć podczas wyładowania akumulatora SSB SBL 100-12i. [opracowanie własne]



Rys. 10 Przebiegi prądów podczas wyładowania akumulatora SB 100-12 przy obciążeniu $I = 20, 60, 120$ A. [opracowanie własne]

W tabeli 2.1 przedstawiono rzeczywiste parametry energetyczne ogniwa SSB SBL 100-12i zmierzone podczas badań.

Tabela 3.: Rzeczywiste zmierzone parametry akumulatora kwasowo-ołowiowego SSB SBL 100-12i.

	Średni prąd wyładowania [A]		
	19	65	118
Pojemność [Ah]	92	59	37
Dostępna energia [kWh]	1,04	0,63	0,38

Parametry energetyczne akumulatorów VRLA AGM wyznaczono, przy założeniu stałej temperatury elektrolitu 25°C , z zależności przedstawionych poniżej. Pojemność znamionową badanych ogniw kwasowo-ołowiowych AGM VRLA producent definiuje dla prądu wyładowania dwudziestogodzinnego. W celach porównawczych wprowadzono wskaźnik wykorzystania energii akumulatora:

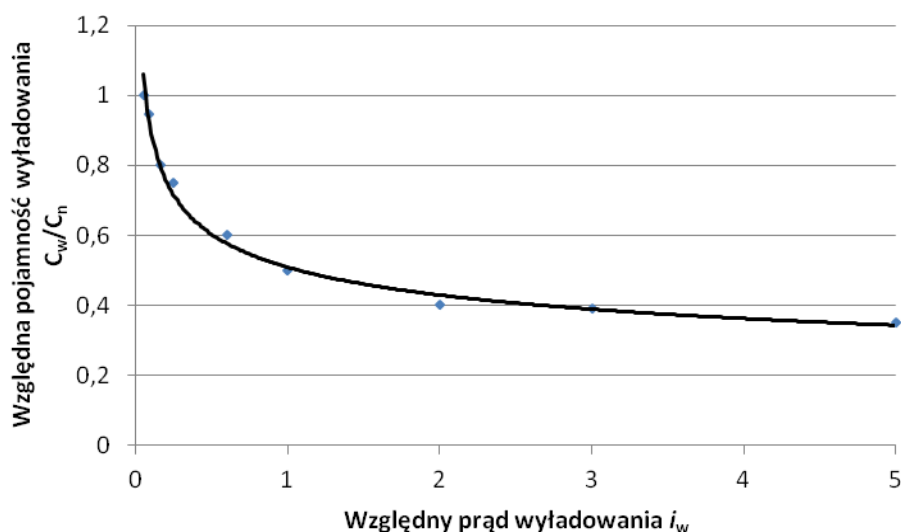
(5)

gdzie: E_w – dostępna energia zależna od prądu wyładowania, E_n – dostępna energia przy prądzie znamionowym.

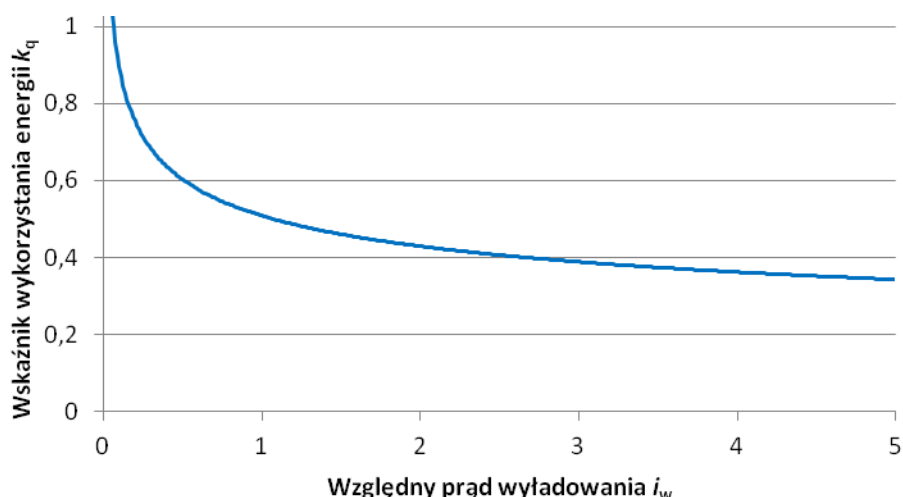
W tabeli 4 zamieszczono wyznaczone parametry ogniw kwasowo-ołowiowych AGM VRLA. Na rysunkach 11 - 13 przedstawiono wyznaczone charakterystyki energetyczne analizowanego typu akumulatorów.

Tabela 4. Obliczone parametry energetyczne ogniw kwasowo-ołowiowych AGM VRLA.

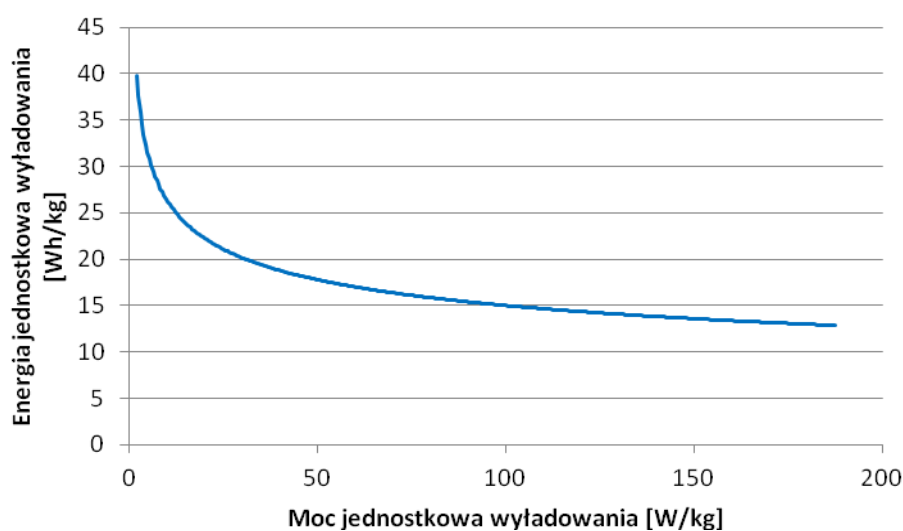
t_w	i_w	U_{wAV}	C_w/C_n	p_{wAV}	q_{en}	k_q	η_{en}
	-	V	-	W/kg	Wh/kg	-	-
20 h	0,05	11,85	1,00	1,9	37	1	0,697
10 h	0,09	11,84	0,95	3,33	35	0,94	0,697
5 h	0,16	11,76	0,80	5,88	29,4	0,79	0,692
3 h	0,24	11,51	0,75	9	27	0,73	0,677
1 h	0,62	11,46	0,60	21,5	21,5	0,58	0,675
30 min	1,00	11,22	0,5	35,1	17,5	0,47	0,661
12 min	2,00	11,19	0,4	70	14	0,38	0,659
8 min	3,00	11,05	0,39	103,6	13,5	0,36	0,652
4 min	5,00	10,9	0,35	170,3	11,9	0,32	0,64



Rys. 11. Charakterystyka względnej pojemności wyładowania akumulatorów SSB typu SBL wykonanych w technologii VRLA AGM w funkcji względnego prądu wyładowania. [opracowanie własne na podstawie danych producenta akumulatorów SSB]



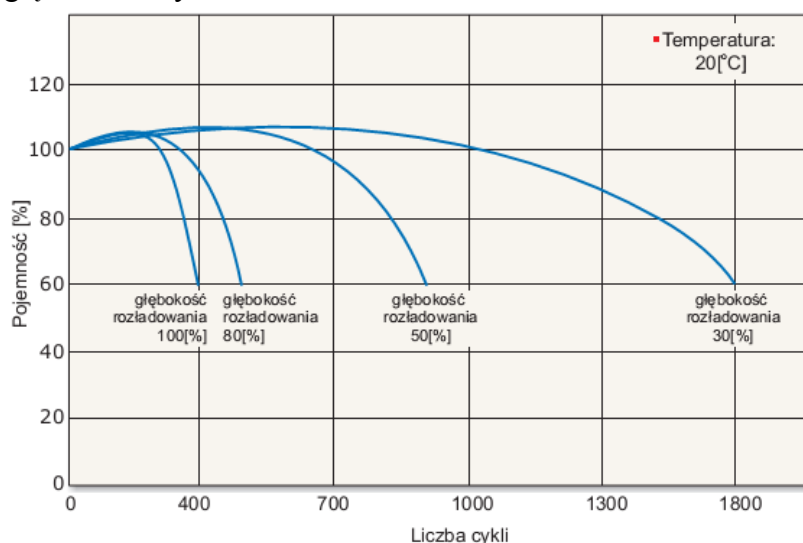
Rys. 12. Charakterystyka względnej energii wyładowania akumulatorów SSB typu SBL wykonanych w technologii VRLA AGM w funkcji względnego prądu wyładowania. [opracowanie własne na podstawie danych producenta akumulatorów SSB]



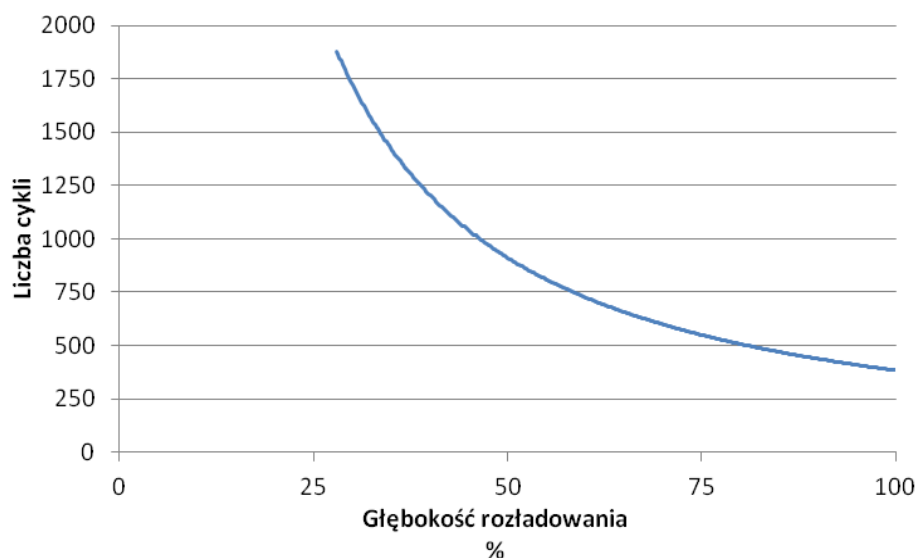
Rys. 13. Charakterystyka jednostkowej energii wyładowania akumulatorów SSB typu SBL wykonanych w technologii VRLA AGM w funkcji mocy jednostkowej wyładowania. [opracowanie własne na podstawie danych producenta akumulatorów SSB]

Akumulatory w systemie off-grid współpracujące z odnawialnymi źródłami energii choć są na stałe podłączone do źródła zasilania i odbiornika (tzw. praca buforowa) pracują w reżimie cyklicznym, czyli w cyklach rozładowywania mocą obciążenia i następnie ładowania, są narażone na szybką utratę trwałości. Trwałość akumulatorów kwasowo-ołowiowych, jak również innych typów, jest zależna od głębokości wyładowania. Na rysunku 14 pokazano charakterystyki trwałości przykładowego akumulatora kwasowo-ołowiowego o pojemności 100 Ah i napięciu 12 V wykonanego w technologii AGM z przeznaczeniem do pracy cyklicznej. Tego typu akumulatory są przystosowane do pracy cyklicznej i mają trwałość do 1800 cykli ładowania-rozładowania przy głębokości wyładowania do 30%. Standardowe akumulatory kwasowo-ołowiowe AGM przeznaczone do pracy buforowej charakteryzują się maksymalną trwałością 1200-1500 cykli przy głębokości rozładowania 30%, pojemność, przy głębokości rozładowania 100% trwałość spada do ok. 200 cykli (rysunki 16 i 17). Przyjmuje

się, że akumulator utraci swoją trwałość jeśli pojemność spadnie poniżej 60% pojemności znamionowej. Na rysunku 15 pokazano zależność trwałości akumulatora wykonanego w technologii AGM z przeznaczeniem do pracy cyklicznej liczoną w cyklach ładowanie-wyładowanie od głębokości wyładowania.



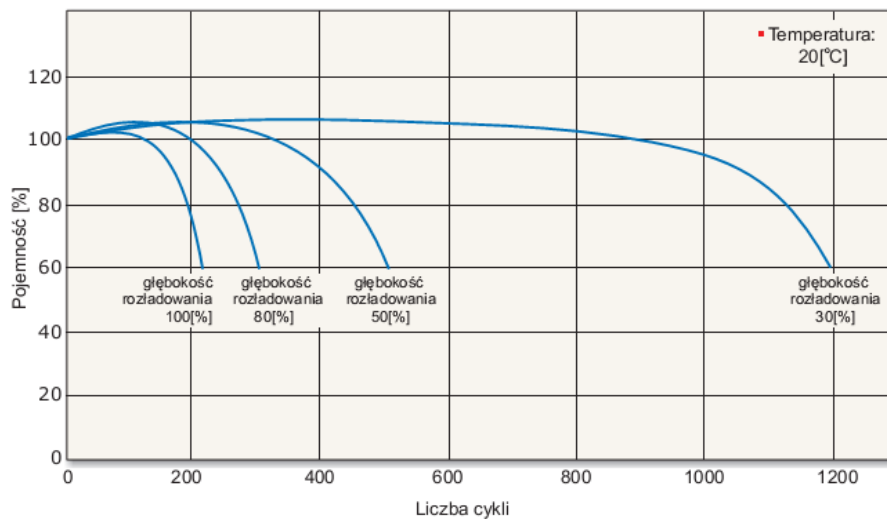
Rys. 14. Charakterystyki żywotności akumulatorów kwasowo-ołowiowych wykonanych w technologii AGM przeznaczonych do pracy cyklicznej. [7]



Rys. 15. Zależność trwałości akumulatora kwasowo-ołowiowego wykonanego w technologii AGM z przeznaczeniem do pracy cyklicznej (liczona w cyklach ładowanie-wyładowanie) od głębokości rozładowania. [opracowanie własne na podstawie danych producenta akumulatorów SSB]

Dobór pojemności akumulatorów współpracujących ze źródłem takim jak ogniwo fotowoltaiczne musi uwzględniać trwałość oraz charakterystyki energetyczne akumulatorów. Zwiększenie mocy odbiorników skutkować będzie zmniejszeniem dostępnej energii elektrycznej i przez to zwiększeniem głębokości wyładowania akumulatorów. Podawana przez producentów akumulatorów trwałość liczona w latach dotyczy pracy akumulatorów w trybie buforowym pracujących przy stałym napięciu doładowania i ciągłym przepływie niewielkiego prądu doładowania. Natomiast podawana trwałość w cyklach dotyczy pracy w cyklach płytkich ładowania-roładowania (do 70% stanu naładowania). Przy głębokim rozładowaniu akumulatorów, np. do 20% stanu naładowania trwałość akumulatorów

kwasowo-ołowiowych wykonanych w technologii AGM z przeznaczeniem do pracy cyklicznej spadnie do 400 cykli.



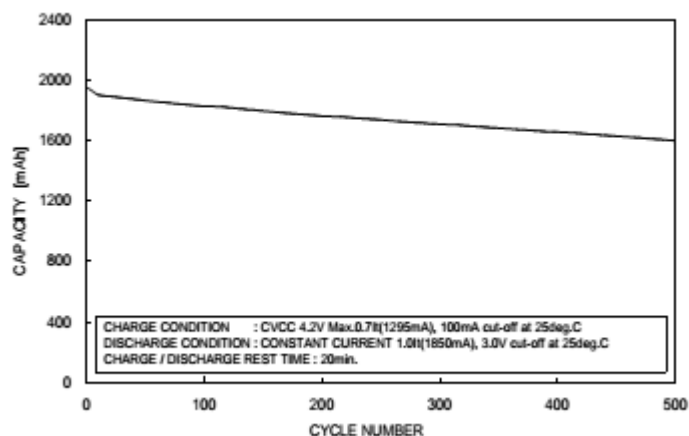
Rys. 16. Charakterystyki żywotności akumulatorów kwasowo-ołowiowych wykonanych w technologii AGM przeznaczonych do pracy buforowej. [7]



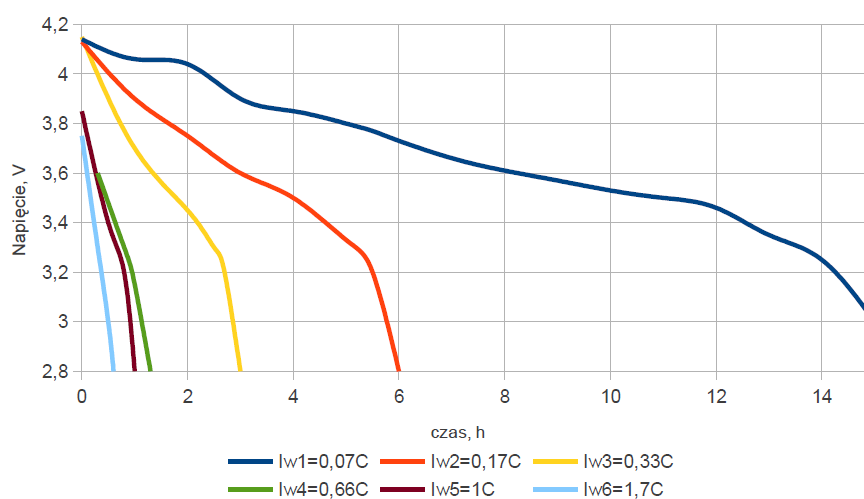
Rys. 17. Zależność trwałości akumulatora kwasowo-ołowiowego wykonanego w technologii AGM z przeznaczeniem do pracy buforowej (liczona w cyklach ładowanie-wyładowanie) od głębokości rozładowania [opracowanie własne na podstawie danych producenta akumulatorów SSB]

Akumulatory kwasowo-ołowiowe ze względu na dużą masę są mało popularne w rozwiązaniach mobilnych- jako zasobniki samochodów elektrycznych (w odróżnieniu do zastosowań stacjonarnych, gdzie głównie decyduje cena, a masa i objętość nie są najważniejsze). Najbardziej popularnymi akumulatorami do zastosowań w samochodach elektrycznych są obecnie akumulatory litowo-jonowe (litowo-polimerowe). Gęstość energii akumulatorów Li-Ion to 100 – 150 Wh/kg, a gęstość mocy dochodzi do 400 W/kg. Na rysunku 19 pokazano przebiegi napięcia podczas procesu wyładowania akumulatora Li-Ion Panasonic NCR-18650A (parametry znamionowe: $C_n = 3 \text{ Ah}$, $U_n = 3,7 \text{ V}$), a na rysunku 20 pokazano charakterystykę względnej pojemności wyładowania do względnego prądu wyładowania. Trwałość akumulatorów Li-Ion producenci najczęściej określają dla prądu wyładowania 1C i pełnego wyładowania akumulatora w cyklu na poziomie 300 do 500 cykli

(rys. 18). Najważniejszą zaletą, pod względem energetycznym, jest dostępność energii niezależnie od prądu wyładowania (rys. 19 i 20).



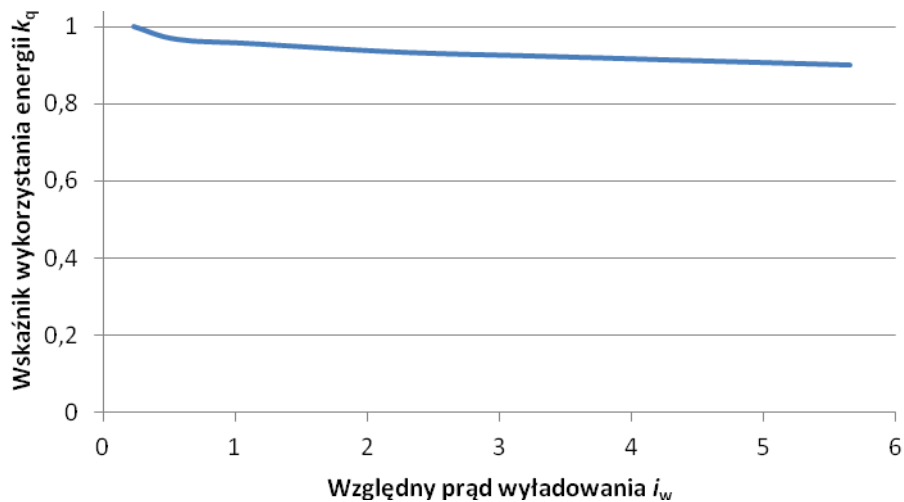
Rys. 18. Charakterystyka trwałości ogniwa Li-Ion CGA-103450A. [8]



Rys. 19. Przebieg napięcia ogniwa Li-Ion NCR-18650A dla różnych prądów wyładowania [opracowanie własne]

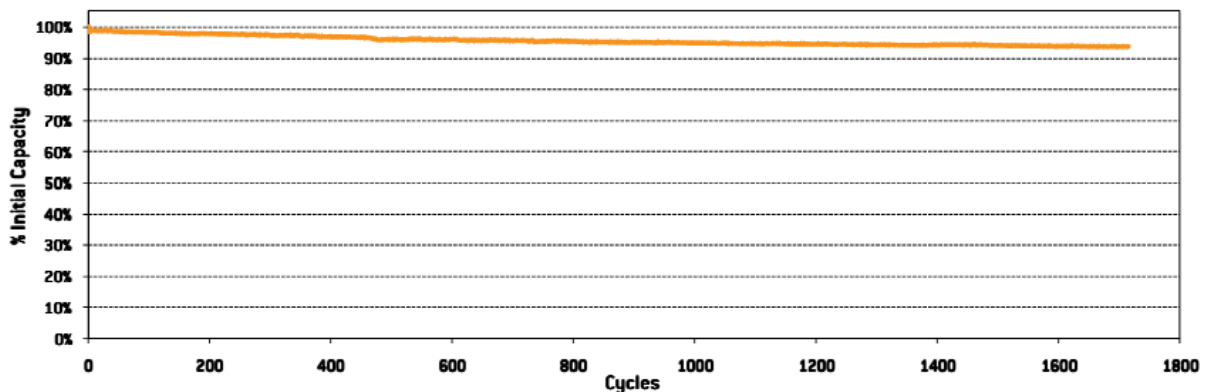
Tabela 5.: Wyznaczone parametry energetyczne ogniwa *Li-Ion NCR-18650A*.

I_w A	t_w min	i_w -	U_{wAV} V	p_{wAV} W/kg	q_{en} Wh/kg	k_q -
0,2	900	0,23	3,66	16	244	1,00
0,5	360	0,56	3,54	39	236	0,97
1	180	1,13	3,5	77	233	0,96
2	90	2,26	3,42	150	228	0,93
3	60	3,39	3,38	223	225	0,92
5	36	5,65	3,3	363	220	0,90



Rys. 20. Charakterystyka względnej energii wyładowania ogniwa Li-Ion NCR-18650A w funkcji względnego prądu wyładowania [opracowanie własne]

Obiecującą technologią zasobnikową są akumulatory litowo-żelazowo-fosfatowe. Parametry energetyczne są bardzo podobne do akumulatorów Li-Ion, natomiast trwałość ich jest znacznie wyższa, szacowana na 3000 pełnych cykli ładowanie-wyładowanie. Na rysunku 21 pokazano wykres trwałości akumulatorów APR18650M1A przy 100% DOD i prądzie wyładowania 1C.



Rys. 21. Projektowana trwałość akumulatorów litowo-żelazowo-fosfatowych APR18650M1A przy 100% DOD i prądzie wyładowania 1C [9]

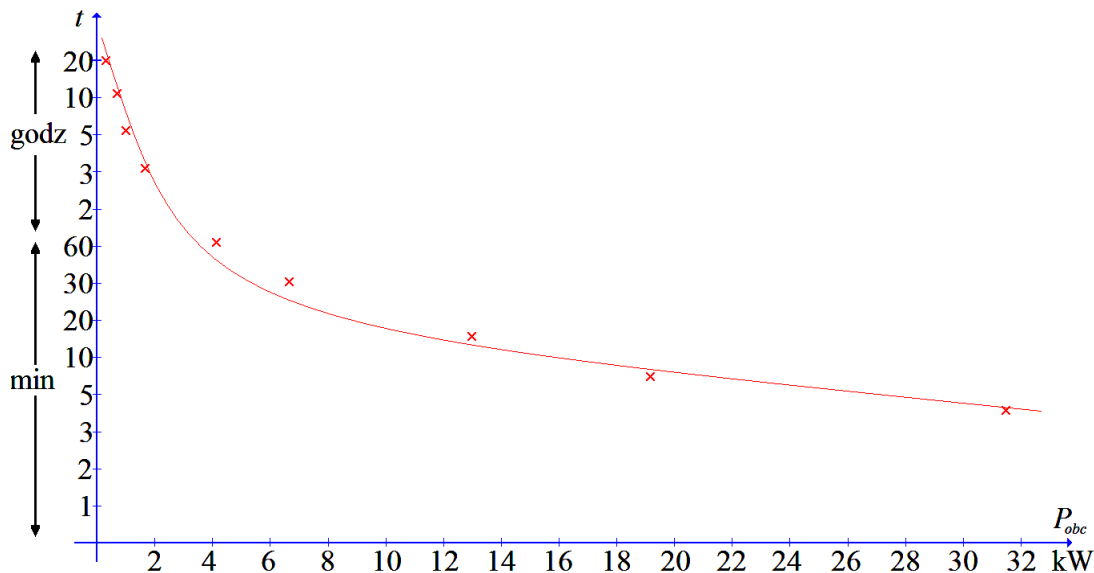
Zasilanie badanego gospodarstwa domowego z baterii samochodu elektrycznego

Szczytowy pobór mocy badanego gospodarstwa domowego nie przekraczał 6,5 kW, w porównaniu z możliwościami zasobnika energii nie pozwala to na komfortowe zasilanie wszystkich normalnie pracujących odbiorników podczas szczytu zapotrzebowania. Jednak istnieje możliwość ograniczenia poboru mocy. Podczas braku zasilania z sieci można zrezygnować z pracy wielu odbiorników energii elektrycznej i wyłączyć większość żarówek, zrezygnować z oglądania telewizora, pracy z komputerem, a zamiast używania płyty elektrycznej szybko podgrzać posiłki w kuchence mikrofalowej.

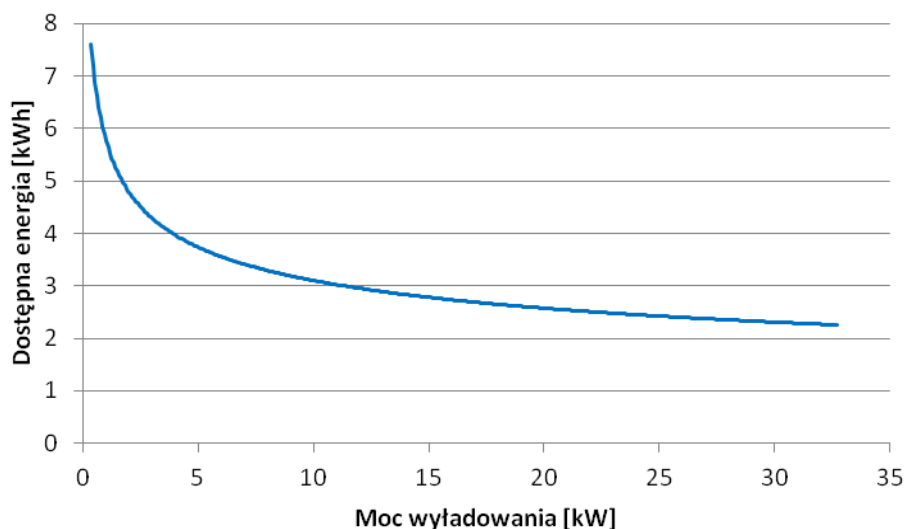
Konieczne staje się zasilanie jedynie kilku kluczowych odbiorników prądu elektrycznego. Jest to chłodziarko-zamrażarka, zimą pompa wymuszająca obieg gorącej wody w systemie centralnego ogrzewania oraz dla własnej wygody radio i oświetlenie w postaci 3 świetlówek

energooszczędnych, a także urządzenia wpięte na stałe do sieci i niewyłączalne jak dzwonek i wentylator łazienkowy. Sumując wartości poboru mocy wszystkich powyższych urządzeń i mnożąc ją przez współczynnik jednoczesności $k_j=0,2$ odwzorowujący w szczególności pracę dorywczą kuchenki mikrofalowej, otrzymano wartość zapotrzebowania na moc równą 689 W. Przyjęto średnie napięcie wyładowania zasobnika SSB SBL 100-12i $U_{sr}=11,4$ V i otrzymano wartość prądu obciążenia akumulatora $I=60$ A. Według uzyskanych charakterystyk ogniwa SSB SBL 100-12i pozwoli to na zasilanie przez blisko 70 minut.

Wyznaczono charakterystykę czasu pracy dla baterii składającej się z sześciu akumulatorów SSB SBL 100-12i w zależności od mocy obciążenia (rysunek 22). Nominalna pojemność energetyczna takiej baterii wynosi k. 7.2 kWh. W przypadku zapotrzebowania na moc na poziomie 6,5 kW bateria taka mogłaby pracować przez ok. 25 min, dostępna przy takiej mocy energia wynosi ok. 4 kWh. Jest to w większości przypadków awaryjnego odłączenia zasilania sieciowego czas wystarczający na dokończenie rozpoczętych prac domowych i ograniczenie mocy do niższego, ale niezbędnego poziomu. Energia zgromadzona w baterii pozwala na utrzymanie zasilania niezbędnych odbiorników (ok. 700 W) przez ok. 9 godzin - dostępna energia przy takim zapotrzebowaniu na moc wynosi ok. 6,4 kWh. Na rysunku 23 przedstawiono zależność dostępnej energii baterii sześciu akumulatorów SSB SBL 100-12i od mocy wyładowania.



Rys. 22. Zależność czasu pracy baterii sześciu akumulatorów SB 100-12 w funkcji mocy obciążenia.
[opracowanie własne]



Rys. 23. Zależność dostępnej energii zgromadzonej w baterii złożonej z sześciu akumulatorów SSB SBL 100-12i od mocy wyładowania. [opracowanie własne na podstawie pomiarów własnych i danych producenta akumulatorów SSB]

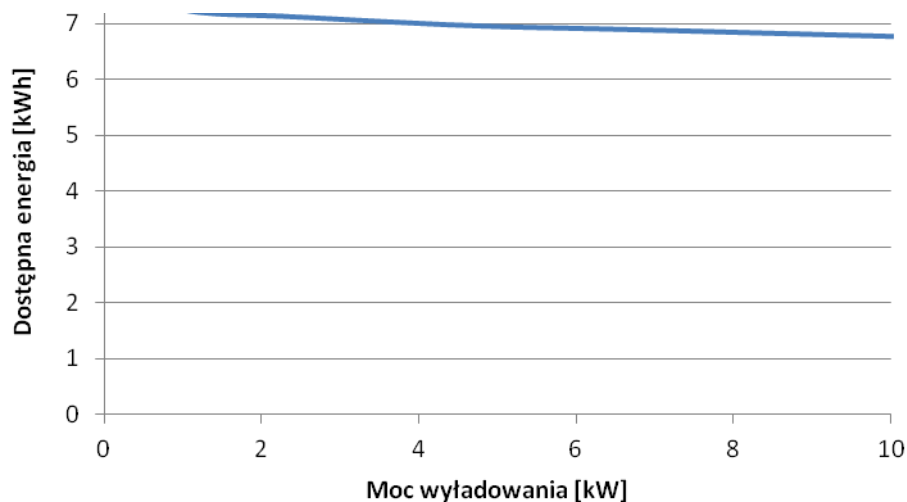
Z przeprowadzonych pomiarów zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym w okresie zimowym można przyjąć średnie dzienne zapotrzebowanie na moc na poziomie 1,2 kW. Dla określonej mocy średniej wyładowania w baterii akumulatorów złożonej z sześciu modułów SSB SBL 100-12i dostępna jest ok. 5,5 kWh energii elektrycznej, czyli ok. 75% energii dostępnej przy prądzie znamionowym wyładowania. Z tego wynika, że odbiorniki elektryczne mogą być zasilane z takiej baterii przez prawie 5 godzin. Rozważania te są prawdziwe jedynie w przypadku, kiedy moc wyładowania akumulatora jest stała, lub zmienia się w niewielkim zakresie. Zapotrzebowanie na moc w gospodarstwie domowym nigdy nie jest na stałym poziomie (rysunki z zarejestrowanymi przebiegami mocy) i rzeczywistą pojemność akumulatora należy obliczyć przy założeniu zmiennego poboru mocy.

$$C_{w\max} = \frac{C_{\max(I_w)}}{C_n} C_w \quad (6)$$

gdzie: C_n - pojemność znamionowa akumulatora, $C_{\max(I_w)}$ - pojemność akumulatora odpowiadająca określonemu prądowi wyładowania, C_w - pojemność wyładowania

akumulatora $C_w = \int I_w dt$

Wyznaczono charakterystykę dostępnej energii w zależności od mocy wyładowania dla baterii akumulatorów złożonej z 680 ogniw Li-Ion NCR-18650A (rysunek 24). Teoretyczna dostępna energia nominalna takiej baterii wynosi ok. 7,5 kWh. W przypadku zapotrzebowania na moc na poziomie 6,5 kW bateria taka mogłaby pracować przez ok. 70 min, dostępna przy takiej mocy energia wynosi ok. 6,9 kWh. Jest to w większości przypadków awaryjnego odłączenia zasilania sieciowego czas wystarczający na dokończenie rozpoczętych prac domowych i ograniczenie mocy do niższego, ale niezbędnego poziomu. Energia zgromadzona w baterii pozwala na utrzymanie zasilania niezbędnych odbiorników (ok. 700 W) przez ok. 10,5 godzin - dostępna energia przy takim zapotrzebowaniu na moc wynosi ok. 7,3 kWh.



Rys. 24. Zależność dostępnej energii zgromadzonej w baterii złożonej z 680 ogniw Li-Ion NCR-18650A od mocy wyładowania. [opracowanie własne na podstawie pomiarów i danych producenta akumulatorów Panasonic]

Analiza możliwości wykorzystania baterii samochodu elektrycznego do zasilania domu z wydzieloną mikrosiecią

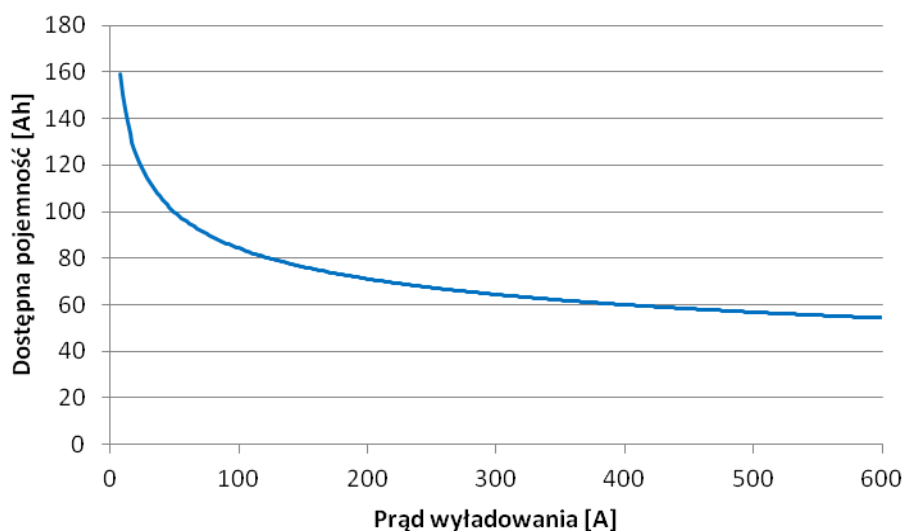
Rozważono możliwość zasilania domu jednorodzinnego z akumulatorów samochodu elektrycznego. W celu dostosowania instalacji elektrycznej oraz odbiorników do zasilania z akumulatorów (czyli źródła o ograniczonej zgromadzonej energii elektrycznej) zmodernizowano zestaw urządzeń elektrycznych oraz wyeliminowano niektóre urządzenia zasilane podczas pracy z akumulatorów. W tym celu konieczna jest modernizacja instalacji elektrycznej z rozdzielonymi obwodami dla zasilania tylko z sieci energetycznej oraz zasilanych z dwóch źródeł – sieci energetycznej oraz akumulatorów. Wykaz dobranych odbiorników energii elektrycznej przedstawiono w tabeli 6. Moc zainstalowana odbiorników energii elektrycznej to 21 kW.

Tabela 6.: Wykaz odbiorników elektrycznych gospodarstwa domowego przystosowanego do zasilania z akumulatorów.

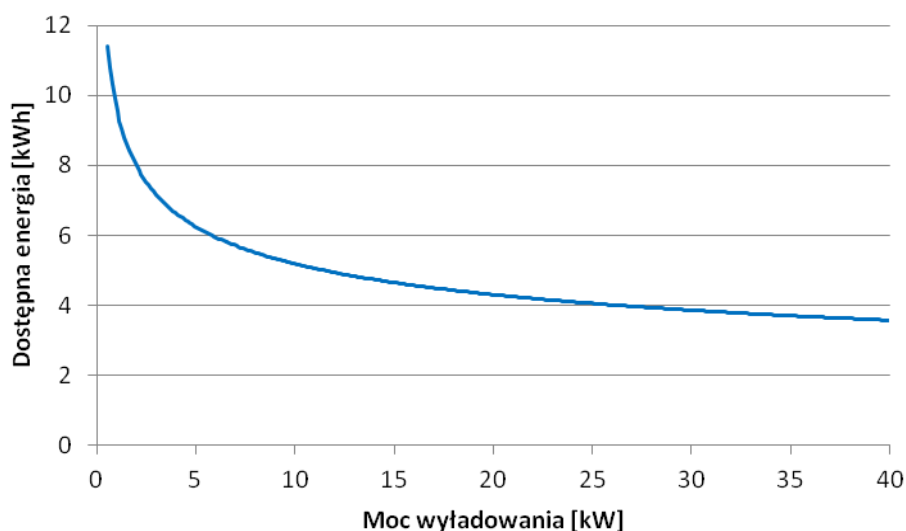
Odbiornik	Moc maksymalna [W]
Oświetlenie - led	20
Oświetlenie - świetlówki energooszczędne	160
Lodówka	200 (0,7 kWh/doba)
Zmywarka	2400 (0,67 kWh/cykl)
Czajnik bezprzewodowy	1900 (0,11 kWh/cykl/litr)
Kuchenka mikrofalowa	900
Radio	30
Telewizor LCD	120
Komputer laptop	100

Blender/mikser	250
Płyta elektryczna indukcyjna	7200
Odkurzacz	1800
Pompa co	45
Bojler 120l	2000
Pralka	2200 (0,65 kWh/cykl)
Żelazko	1700
Wentylator łazienkowy	20
inne	40

Założono, że bateria akumulatorów będzie miała pojemność 150 Ah i napięcie znamionowe 72 V, bateria składa się z sześciu ogniw SSB SBL 150-12i (jest to bateria z projektowanego samochodu Skoda Fabia EV, opracowanie "Obliczenia opłacalności stosowania pojazdów EV w gminach województwa Śląskiego"). Założono $\cos\varphi = 1$, ze względu na powszechne stosowanie przekształtników przy odbiornikach (zasilacze impulsowe). Na rysunkach 25 i 26 pokazano charakterystyki energetyczne dla baterii akumulatorów SSB SBL 150-12i.



Rys. 25. Charakterystyka pojemności akumulatora SSB SBL 150-12i w funkcji prądu wyładowania. [opracowanie własne]



Rys. 26. Charakterystyka dostępnej energii baterii akumulatorów złożonej z sześciu modułów SSB SBL 150-12i w funkcji mocy wyładowania. [opracowanie własne]

Rozważono kilka wariantów wyposażenia elektrycznego gospodarstwa domowego zasilanego z akumulatorów samochodu EV oraz trybów pracy i pór roku:

1. Praca autonomiczna w lecie:

- Wariant 1- uwzględnia wszystkie wymienione w tabeli 6 urządzenia łącznie z elektrycznym grzaniem ciepłej wody użytkowej w bojlerze oraz przyrządzaniem posiłków na płycie elektrycznej, w kuchence mikrofalowej i czajniku elektrycznym.
- Wariant 2- uwzględnia urządzenia wymienione w tabeli 6 z wyłączeniem bojlera.
- Wariant 3- uwzględnia urządzenia wymienione w tabeli 6z wyłączeniem bojlera i płyty elektrycznej, kuchenki mikrofalowej i czajnika elektrycznego.

2. Praca autonomiczna w zimie (nie uwzględniono energii potrzebnej na ogrzewanie):

- Wariant 4- uwzględnia wszystkie wymienione w tabeli 6 urządzenia łącznie z elektrycznym grzaniem ciepłej wody użytkowej w bojlerze oraz przyrządzaniem posiłków na płycie elektrycznej, w kuchence mikrofalowej i czajniku elektrycznym.
- Wariant 5- uwzględnia urządzenia wymienione w tabeli 6 z wyłączeniem bojlera.
- Wariant 6- uwzględnia urządzenia wymienione w tabeli 6 z wyłączeniem bojlera i płyty

3. Praca awaryjna w lecie. Wybrano niezbędne urządzenia elektryczne pozostawiając oświetlenie, lodówkę, czajnik elektryczny, kuchenkę mikrofalową, radio, laptop i bojler w celu nagrzania ilości ciepłej wody użytkowej:

- Wariant 7- uwzględnia wszystkie wymienione urządzenia elektryczne.
- Wariant 8- uwzględnia wymienione urządzenia z wyłączeniem bojlera

4. Praca awaryjna w zimie. Wybrano niezbędne urządzenia elektryczne pozostawiając oświetlenie, lodówkę, czajnik elektryczny, kuchenkę mikrofalową, radio, laptop i bojler w celu nagrzania ilości ciepłej wody użytkowej:

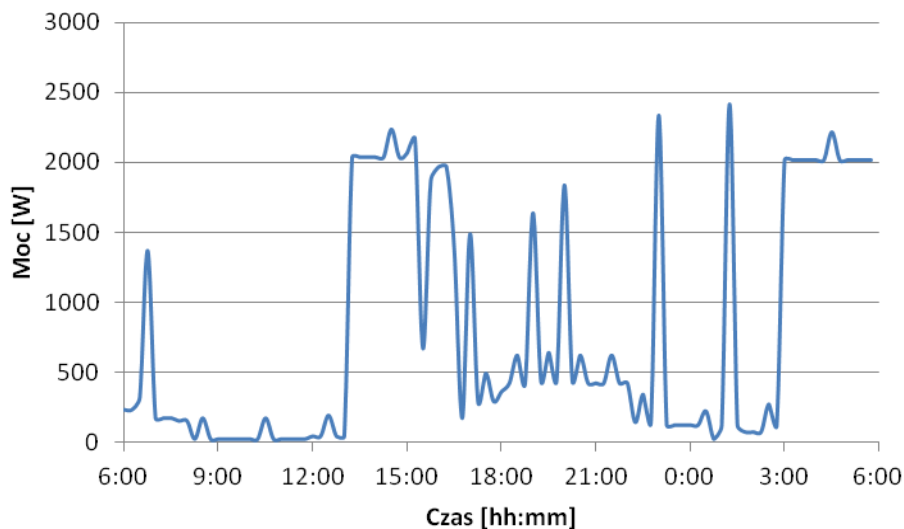
- Wariant 9- uwzględnia wszystkie wymienione urządzenia elektryczne.
- Wariant 10- uwzględnia wymienione urządzenia z wyłączeniem bojlera

Praca autonomiczna charakteryzuje się możliwością podłączenia wszystkich urządzeń elektrycznych dostępnych w gospodarstwie domowym do sieci zasilanej z akumulatorów samochodu elektrycznego. Natomiast przyjęto pewne założenia oszczędnościowe, czyli instalację energooszczędnych odbiorników energii elektrycznej (np. oświetlenie LED, lodówka najwyższej klasy energetycznej, itp.). Dodatkowo w domowej sieci zasilanej z akumulatorów konieczne jest zainstalowanie przełączników priorytetowych w celu ograniczenia mocy chwilowej, czyli niedopuszczenie do jednoczesnego załączenia się

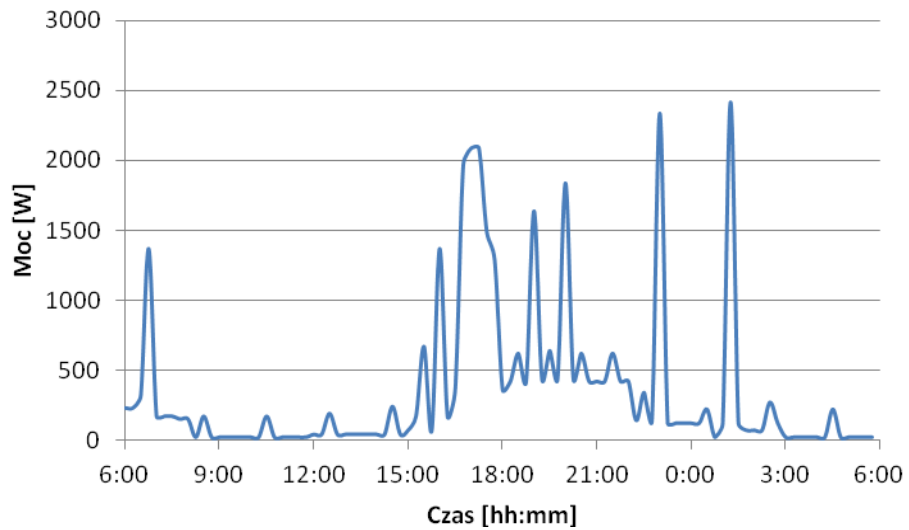
urządzeń o dużym poborze mocy takich jak np. bojler i pralka. Działanie to jest konieczne ze względu na ograniczenie mocy pobieranej z akumulatorów, duża moc spowoduje obniżenie możliwej do wyładowania energii i głębsze wyładowanie zasobnika - co niekorzystnie wpłynie na jego trwałość.

Praca awaryjna charakteryzuje się przełączeniem, w przypadku zaniku zasilania sieciowego, niektórych niezbędnych odbiorników energii elektrycznej z zasilania z sieci energetycznej na baterię akumulatorów samochodu elektrycznego. W tym przypadku niezbędna jest dodatkowa instalacja elektryczna dla wybranych urządzeń elektrycznych i przełącznik w przypadku zaniku zasilania sieciowego.

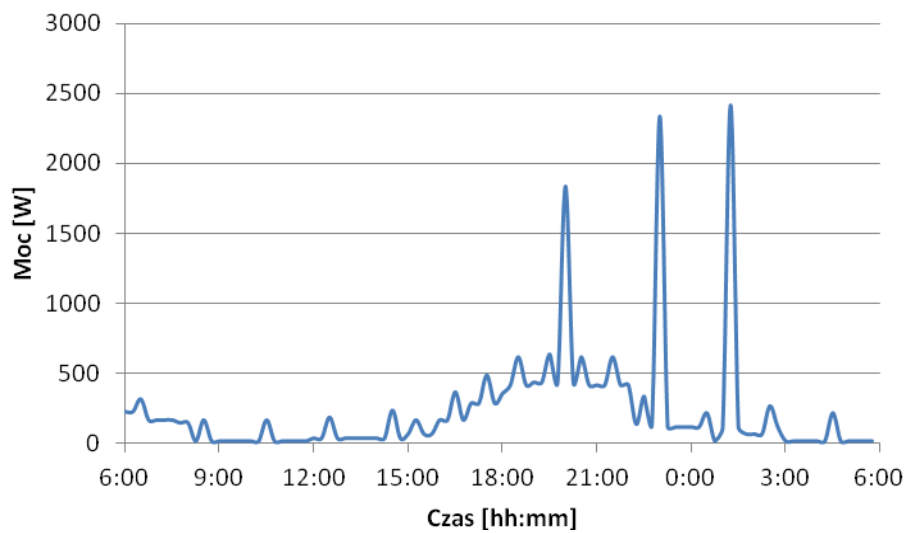
Na rysunkach 27 do 31 pokazano przebiegi zmian mocy elektrycznej w analizowanym domu dla różnych wariantów zasilanych urządzeń w porze zimowej. Od pory letniej warianty te różnią się głównie czasem pracy źródeł światła i grzaniem ciepłej wody użytkowej. Na rysunkach 32 do 36 pokazano uporządkowany przebieg mocy z naniesionymi wartościami dziennej mocy średniej P_{sr} i mocy znamionowej zasobnika P_n . Ustalając plan załączania poszczególnych urządzeń elektrycznych kierowano się minimalizacją szczytowych wartości zapotrzebowania na moc, ze względu na ograniczoną moc zasobnika akumulatorowego.



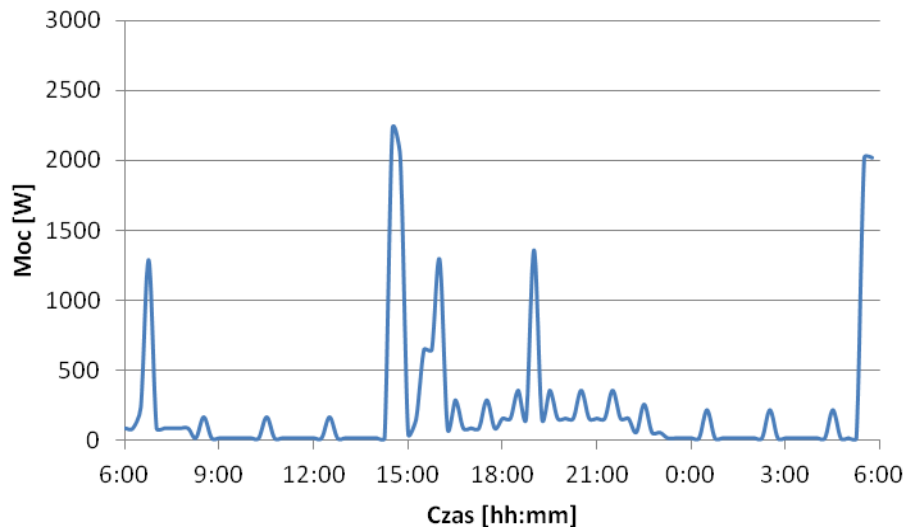
Rys. 27 Przebieg zmian mocy elektrycznej w porze zimowej z grzaniem wody w bojlerze.
[opracowanie własne]



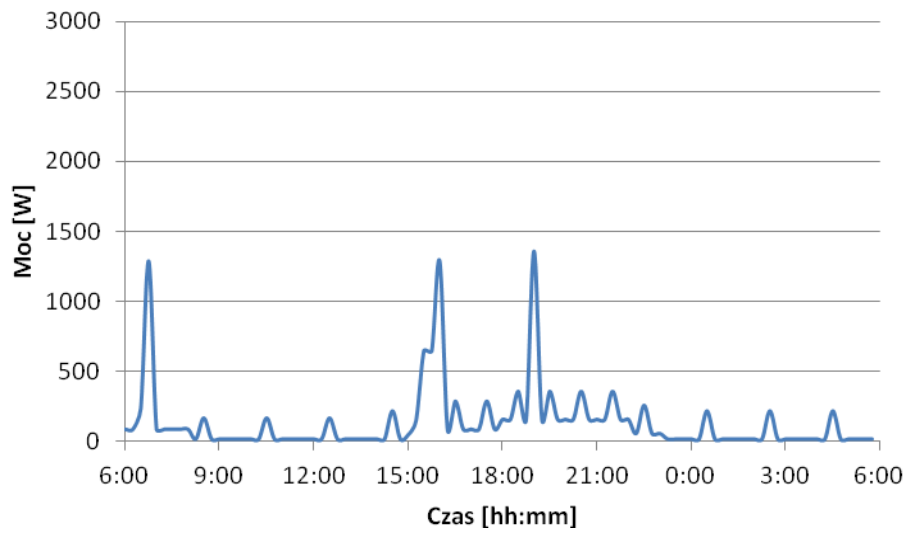
Rys. 28. Przebieg zmian mocy elektrycznej w porze zimowej bez bojlera. [opracowanie własne]



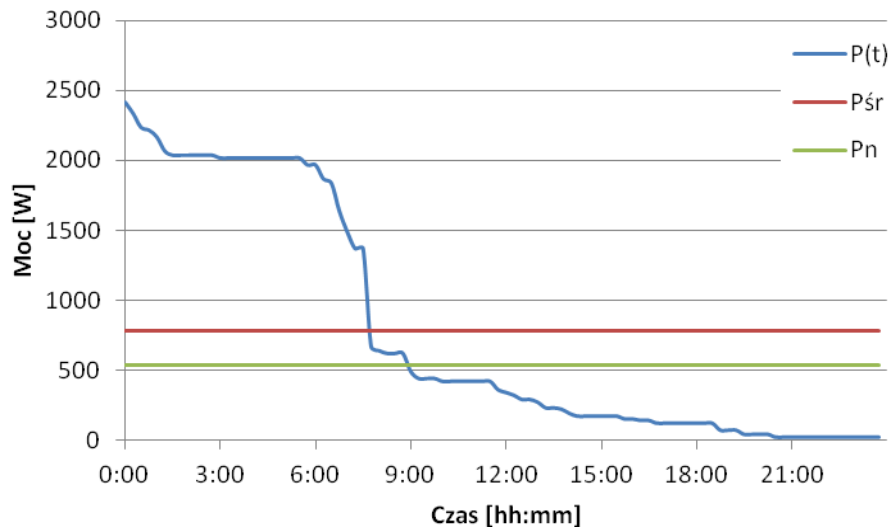
Rys. 29. Przebieg zmian mocy elektrycznej w porze zimowej bez bojlera i urządzeń kuchennych. [opracowanie własne]



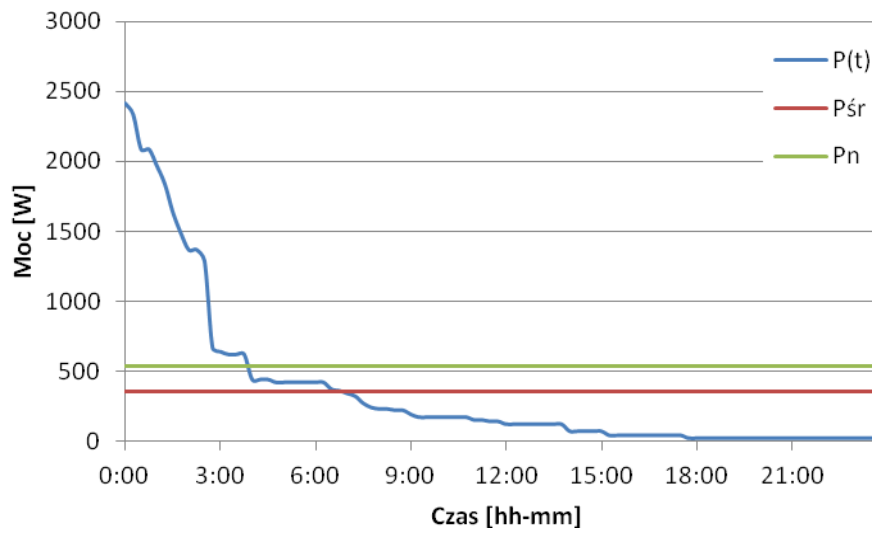
Rys. 30. Przebieg zmian mocy elektrycznej z grzaniem wody w bojlerze- tryb awaryjny w zimie. [opracowanie własne]



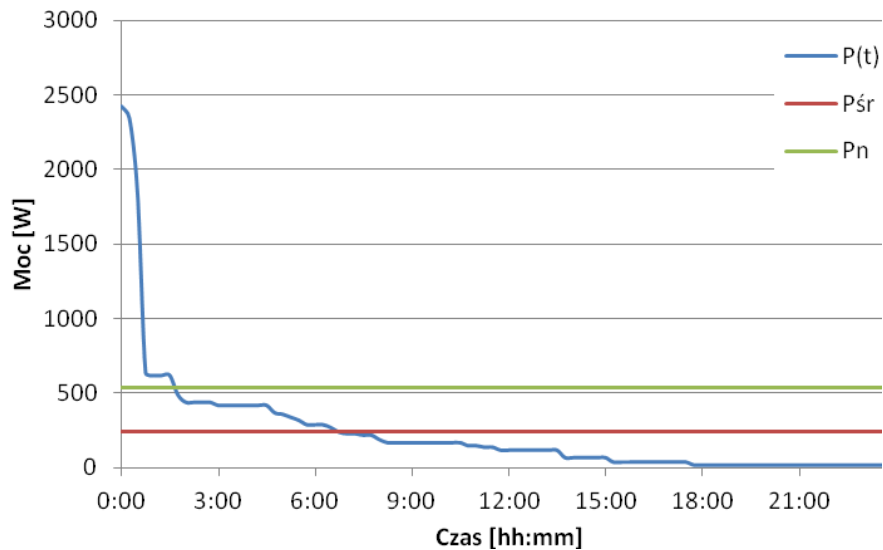
Rys. 31. Przebieg zmian mocy elektrycznej bez bojlera- tryb awaryjny w zimie. [opracowanie własne]



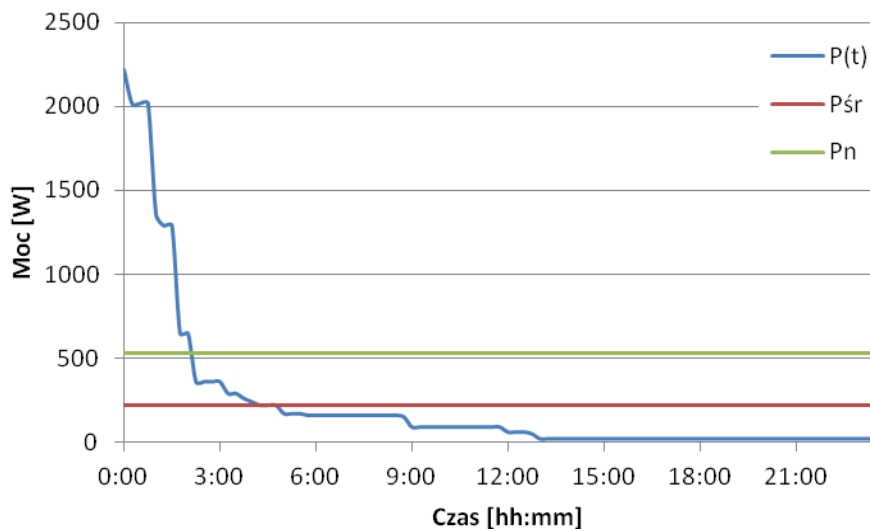
Rys. 32. Uporządkowany przebieg mocy elektrycznej w porze zimowej z grzaniem wody w bojlerze. [opracowanie własne]



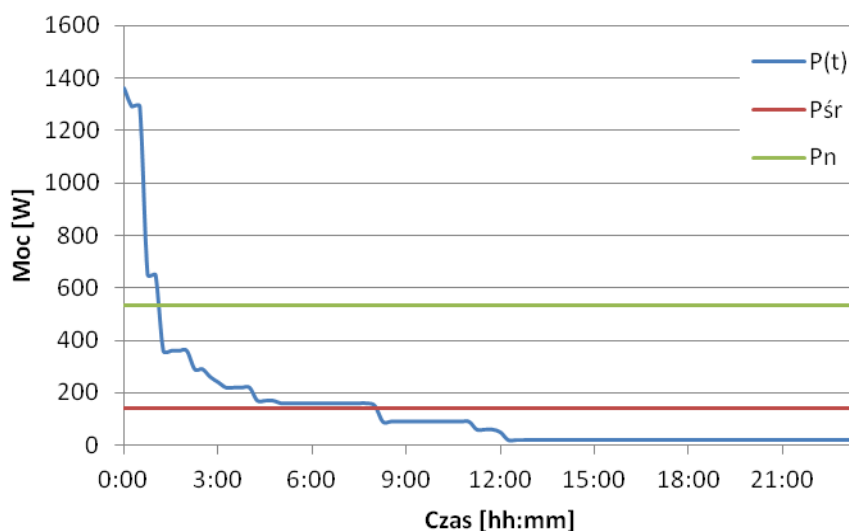
Rys. 33 Uporządkowany przebieg mocy elektrycznej w porze zimowej bez bojlera. [opracowanie własne]



Rys. 34 Uporządkowany przebieg mocy elektrycznej w porze zimowej bez bojlera i urządzeń kuchennych. [opracowanie własne]



Rys. 35 Uporządkowany przebieg mocy elektrycznej z grzaniem wody w bojlerze- tryb awaryjny w zimie. [opracowanie własne]



Rys. 36. Uporządkowany przebieg mocy elektrycznej bez bojlera- tryb awaryjny w zimie.
[opracowanie własne]

W tabeli 7 przedstawiono zestawienie wyników zużycia energii elektrycznej dla wszystkich analizowanych wariantów. Dla każdego z wariantów policzono dzienną moc średnią i dla mocy średniej wyliczono dostępną energię w baterii akumulatorów. Prąd znamionowy baterii akumulatorów wynosi $I_n = 7,5$ A, jest to prąd dwudziestogodzinny. Prąd ten odpowiada mocy ok. 540 W, moc tą nazwano mocą znamionową P_n . Obliczona dzienna moc średnia tylko dla wariantów 1 i 4 przekracza moc znamionową zasobnika, co oznacza, że tylko dla tych wariantów rzeczywista pojemność akumulatora jest mniejsza od znamionowej. Obliczono także dzienną głębokość rozładowania zasobnika. W wariantach 1 i 4 akumulator zostanie całkowicie rozładowany w ciągu jednego dnia.

Wyniki przedstawione w tabeli 7 odnoszą się do mocy średniej i dla tej mocy określano pojemność zasobnika. W rzeczywistości zapotrzebowanie na moc zmienia się w zależności od uruchomionych urządzeń. Obliczono więc rzeczywistą pojemność zasobnika akumulatorowego dla rzeczywistych zmian mocy. Wyniki przedstawiono w tabeli 8. Rzeczywista pojemność zasobnika jest w każdym z wariantów mniejsza od pojemności znamionowej, co przekłada się także na głębokość rozładowania akumulatorów w każdym cyklu. Trwałość akumulatorów oczywiście jest także mniejsza ze względu na głębsze wyładowanie.

Z przeprowadzonej analizy można zaobserwować, że planowanie załączania urządzeń elektrycznych zasilanych z baterii akumulatorów ma zasadnicze znaczenie na głębokość rozładowania oraz trwałość zasobnika. Im rzeczywiste zmiany mocy chwilowej są bliższe mocy średniej tym uzyskamy lepsze wykorzystanie energii zasobnika, moce chwilowe o dużych wartościach pogarszają efektywne wykorzystanie energii. Natomiast ważne jest także dobranie pojemności zasobnika tak, aby uzyskać jak najlepszy stosunek trwałości do kosztów.

Tabela 7.: Porównanie parametrów energetycznych wariantów zasilania z akumulatorów samochodu EV dla dziennej mocy średniej.

Wariant	Dzienna moc średnia [W]	Dzienna moc maksymalna [W]	Energia dzienna [kWh]	Czas pracy baterii akumulatorów dla mocy średniej [h]/ Ilość dostępnej energii dla mocy średniej [kWh]	24-ro godzinna głębokość rozładowania [%]/ Trwałość baterii [cykle]
1	757,4	2420	18,18	13/10,1	100/ 400

2	319,9	2420	7,68	34/10,9	71/ 600
3	207,4	2420	4,98	53/11,1	45/ 1000
4	784,5	2420	18,83	13/10,0	100/ 400
5	357,4	2420	8,58	30/10,8	79/ 500
6	236,6	2420	5,68	47/11,0	52/ 900
7	217,4	2220	5,22	51/11,1	47/ 1000
8	134,1	1360	2,52	107/11,2	22/ >1800
9	223,6	2220	5,37	49/11,0	49/ 900
10	140,3	1360	3,37	80/11,2	30/ 1800

Tabela 8.: Porównanie parametrów energetycznych wariantów zasilania z akumulatorów samochodu EV dla rzeczywistych zmian mocy.

Wariant	Dzienna moc średnia [W]	Pojemność rzeczywista [Ah]/ Ilość dostępnej energii [kWh]/ Czas pracy [h]	24-ro godzinna głębokość rozładowania [%]/ Trwałość baterii [cykle]
1	757,4	122/8,7/10	100/ 400
2	319,9	133/9,4/29	82/ 500
3	207,4	139/10/43	50/ 900
4	784,5	120/8,6/9	100/ 400
5	357,4	131/9,3/26	94/ 400
6	236,6	137/9,9/41	58/ 750
7	217,4	131/9,4/37	55/ 800
8	134,1	146/10,4/76	31/ 1800
9	223,6	132/9,4/37	57/ 750
10	140,3	146/10,4/76	33/ 1800

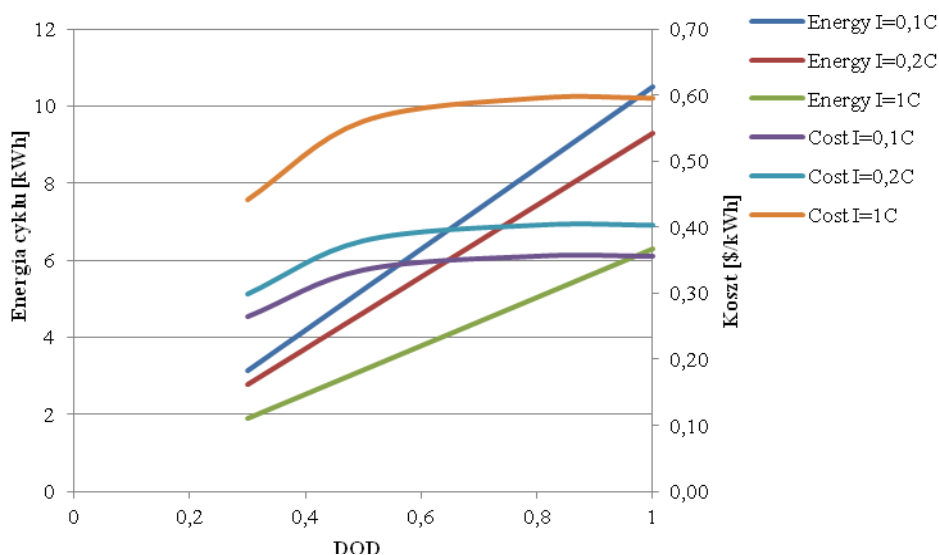
Koszty magazynowania energii w zasobnikach mobilnych

Koszt magazynowania energii zależy od ceny akumulatorów oraz ich trwałości. Trwałość akumulatorów litowo-jonowych (również litowo-polimerowych) nie jest znacznie lepsza od akumulatorów kwasowych biorąc wpływ głębokości rozładowania na trwałość akumulatorów. Nie brano pod uwagę sposobu ładowania akumulatorów, od którego także zależy trwałość ogniw. Trwałość akumulatorów podana w tabeli 9 dotyczy niewielkiej głębokości wyładowania, zwykle nie więcej niż do 80%. Dotyczy to także akumulatorów Li-Ion, których trwałość przy głębokim rozładowaniu jest jedynie dwukrotnie wyższa od akumulatorów kwasowych. Trwałość nowoczesnych akumulatorów litowo-żelazowo-fosfatowych jest znacznie wyższa niż omawianych wcześniej kwasowych i Li-Ion. Dla prądu wyładowania 1C trwałość akumulatorów (utrata 20% pojemności) jest nie mniejsza niż 3000 cykli. Największą zaletą tych akumulatorów jest brak utraty pojemności przy dużych gęstościach mocy obciążenia.

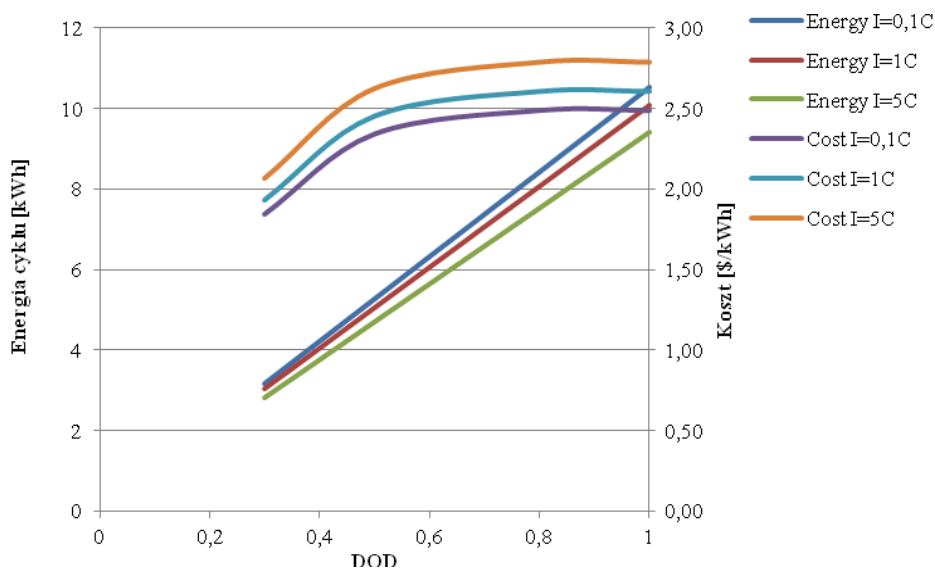
Tabela 9.: Podstawowe parametry energetyczne akumulatorów oraz trwałość.

	Li-Ion	Lead-acid
Gęstość energetyczna [Wh/kg]	150	40
Koszt jednostkowy [\$/kWh]	1000	135
Trwałość dla prądu nominalnego [cykle]	do 2000	do 1800

Porównano dwa zestawy baterii akumulatorów 1) lead-acid (wykonanych w technologii AGM VRLA), 2) Li-Ion o podobnej pojemności energetycznej 10,5 kWh dla prądu znamionowego. Na rysunkach 37 i 38 pokazano, odpowiednio, koszty energii dla obu typów baterii z uwzględnieniem prądu wyładowania oraz głębokości wyładowania. W analizie kosztów nie uwzględniono możliwości odsprzedaży zużytych akumulatorów (utrata 20% pojemności nominalnej)



Rys. 37. Porównanie kosztów magazynowania energii dla akumulatora kwasowo-ołowiowego (pojemność znamionowa 10,8 kWh) w zależności od głębokości wyładowania i prądu wyładowania. [opracowanie własne]



Rys. 38. Porównanie kosztów magazynowania energii dla akumulatora Li-Ion (pojemność znamionowa 10,5 kWh) w zależności od głębokości wyładowania i prądu wyładowania. [opracowanie własne]

Podsumowanie

Współczesne gospodarstwo domowe charakteryzuje się znacznym szczytowym poborem mocy. Zasilanie akumulatorowe wszystkich urządzeń normalnie pracujących podczas szczytu, jak i okresach o mniejszym zapotrzebowaniu na moc, wystarczyłoby na około 10 minut w warunkach awaryjnych. Chcąc użytkować sprawną i spełniającą swe zadania mikrościeć prądu stałego opartą na zasobniku VRLA z samochodu elektrycznego jako źródła prądu należy uwzględnić kilka kwestii:

- podczas zasilania odbiorników domowych z akumulatora należy wyłączyć wszystkie zbędne odbiorniki i odłączyć je od sieci, dotyczy to także ładowarek oraz telewizorów i innych odbiorników pozostawionych w trybie stand-by,
- wydzielenie w instalacji domowej sieci zasilanej z zasobnika akumulatorowego,
- zasilanie jedynie kluczowych odbiorów pozwoli zwiększyć ich całkowity czas pracy,
- należy kontrolować napięcie na akumulatorze podczas jego pracy, aby nie spadło poniżej zalecanego przez producenta minimum, pomoże to zachować początkową pojemność zasobnika.

Stworzenie mikro sieci opartej na akumulatorze VRLA typu AGM ma swoje zalety, do których należy zaliczyć możliwość zasilania gospodarstwa domowego w przypadku awarii głównej sieci zasilającej. Dokonując racjonalnego i oszczędnego dysponowania energią zasobnika można zasilac domowe odbiorniki przez czas niezbędny do dokończenia rozpoczętych prac, co w większości wypadków pozwoli przetrwać okres braku zasilania z sieci lub też można w pełni funkcjonować wykorzystując odbiorniki specjalnie dobrane do zasilania z takiego źródła. W celu wydłużenia czasu zasilania w zasobnikowym trybie pracy, należy zainstalować dodatkowo inne źródło energii, takie jak ogniwo fotowoltaiczne lub małą prądnicę wiatrową. Wówczas znacznie zwiększa się efektywność wykorzystania energii akumulatora. Można także rozbudowywać zasobnik o kolejne akumulatory, np. zainstalować baterię stacjonarną. Zaletą rozwiązania z baterią stacjonarną jest również możliwość ładowania akumulatora nocą, gdy energia z sieci energetycznej jest tańsza i używania jej podczas dnia, gdy kosztuje więcej.

Akumulatory kwasowe mają najniższy koszt jednostkowy (w odniesieniu do energii). Jednak ich zastosowanie w samochodach elektrycznych jest niepopularne ze względu na

wysoką masę baterii pozwalającej pokonać dystans 100 km. W ich miejsce stosuje się powszechnie akumulatory Li-Ion oraz coraz częściej litowo-żelazowo-fosfatowe. Dla technologii litowej nie są znane obecnie sposoby ich regeneracji (co nie oznacza, że takowe nie powstaną). Dla akumulatorów kwasowo-ołowiowych (powstały 150 lat temu) znane są i powszechnie stosowane procesy regeneracyjne (bez konieczności wymiany elektrolitu) pozwalające odzyskać utraconą w czasie normalnej eksploatacji pojemność. Cena takiej regeneracji nie jest wyższa niż 70% ceny nowej baterii (przy uzyskaniu efektu nowej baterii). Nowoczesne systemy zarządzania energią w akumulatorach oraz stanem ich naładowania pozwalają wydłużyć ich trwałość, dotyczy to głównie akumulatorów Li-Ion i litowo-żelazowo-fosfatowych, bardzo wrażliwych na parametry ładowania. Wady mikro sieci, wynikające w głównej mierze z dostępnej technologii magazynowania energii, rekompensowane są zatem nowoczesnymi technologiami BMS (battery management system). Akumulatory w sieci off-grid współpracujące z elektrownią wiatrową oraz ogniwami fotowoltaicznymi narażone są na głębokie rozładowanie ze względu na nieprzewidywalne warunki atmosferyczne w okresie nawet kilku dni. Dotyczy to głównie akumulatorów kwasowych wrażliwych na głębokie wyładowania, przechowywanie rozładowanych akumulatorów skutkuje szybką utratą trwałości. Akumulatory w samochodach elektrycznych także narażone są na głębokie rozładowania, przez co zmniejsza się ich trwałość (problem ten w najmniejszym stopniu dotyczy nowoczesnych akumulatorów litowo-żelazowo-fosfatowych). Dlatego też producenci samochodów elektrycznych zalecają, żeby akumulatory były doładowywane w każdej możliwej sytuacji i pracowały w płytkich cyklach ładowanie-rozładowanie. Niezbędne jest zatem określenie pojemności do której można bezpiecznie rozładować akumulator bez negatywnych skutków, lub inaczej - określenie funkcji utraty trwałości do kosztów magazynowania energii elektrycznej.

W przypadku zasilania z akumulatorów wykorzystanie pojemności akumulatora można optymalizować stosując energooszczędne odbiorniki lub racjonalizować załączanie tych odbiorników w czasie, tak aby maksymalne zapotrzebowanie na moc w ciągu okresu pracy z akumulatorów było zbliżone do średniego zapotrzebowania na moc. Praca akumulatorów podłączonych do SEE jako zasobnik dla energetyki prosumenckiej W małych systemach off-grid (nie podłączonych z siecią publiczną) należy unikać sytuacji gdy przetwornica jest włączona 24h/7. Przetwornica włączona nawet bez aktywnych odbiorników zawsze pobiera energię. W miarę możliwości należy korzystać z odbiorników prądu stałego na napięcie systemu zasilania, takie działanie zwiększa efektywność eliminując kolejny układ dopasowujący.

Źródła

- [1] Fice M., Setlak R. *Współpraca fotowoltaicznej mikroinstalacji prosumenckiej z domem inteligentnym i samochodem elektrycznym*. XV PPEEm 2012, Gliwice 2013
- [2] Fice M., Setlak R. *Electric vehicle batteries as mobile energy storage for renewable energy sources*. XI Konferencja Naukowa WZEE, Myczkowice 2013
- [3] Markiewicz H. *Instalacje elektryczne*. WNT, Warszawa 2008
- [4] Biczal P. *Power plants in DC microgrid*. PPEEm 2007, Wisła 2007
- [5] Biczal P., Koniak M. *Urządzenia do magazynowania energii*. PPEEm 2007, Wisła 2007
- [6] Biczal P., Molik Ł.: *Systemy sterowania Systemy sterowania mikrościeciami*. PPEEm 2007, Wisła 2007
- [7] Dane techniczne akumulatorów <http://www.ssb-battery-service.de>
- [8] Dane techniczne akumulatorów www.industrial.panasonic.com
- [9] Dane techniczne akumulatorów <http://www.a123systems.com/>

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