



---

## **Kable i przewody (nn, SN, WN)**

### Baterie akumulatorów stosowanych w zasilaczach UPS oraz warunki ich bezpiecznej eksploatacji

mgr inż. Julian Wiatr

# Wstęp

Wysokie wymagania dotyczące pewności dostaw energii elektrycznej do odbiorników o znaczeniu krytycznym, zmuszają projektantów do projektowania układów zasilania wyposażonych w zasilacze UPS. W zasilaczach tych ważnym elementem są baterie akumulatorów, które eksploatowane w niewłaściwy sposób stwarzają zagrożenie wybuchowe. Od poprawności ich doboru zależy czas eksploatacji oraz poprawne funkcjonowanie systemu zasilania gwarantowanego.

W referacie zostały przedstawione podstawowe wymagania eksploatacyjne dla baterii akumulatorów stosowanych w zasilaczach UPS jako magazyny energii, których spełnienie gwarantuje utrzymanie sprawności przez zakładany okres eksploatacji.

Akumulatory stosowane w zasilaczach UPS stanowią magazyn energii i w zależności od typu zasilacza przeznaczone są do pracy cyklicznej (zasilacze typu VFD) lub do pracy buforowej (zasilacze typu VFI). W przypadku pracy cyklicznej akumulator najpierw jest ładowany a następnie odłączony od prostownika i przyłączony do zasilanych odbiorników. W przypadku pracy buforowej zasilanie odbiornika realizowane jest z przekształtnika, który jednocześnie ładuje baterie akumulatorów. W tych warunkach akumulator pozostaje w gotowości do przejścia obciążenia na wypadek zaniku napięcia w obwodzie zasilającym prostownik, pozostając w stanie pełnego naładowania. Uproszczone układy współpracy baterii akumulatorów z prostownikiem zasilacza UPS przedstawia rysunek 1.



Rysunek 1. Układy współpracy akumulatorów z prostownikiem zasilacza UPS [1]: a) praca cykliczna b) praca buforowa.

W zasilaczach UPS stosowane są akumulatory klasyczne o gęstości elektrolitu 1,24 kg/l lub akumulatory wykonane w technologii VRLA (Vavle Regulated Lead Acid), czyli akumulatory regulowane z zaworem jednokierunkowym umożliwiającym usuwanie nadmiaru wodoru, o gęstości elektrolitu (1,25 – 1,3) kg/l. Akumulatory VRLA produkowane są w dwóch podtechnologiach:

- AGM, w której elektrolit jest umieszczony w separatorze między płytowym wykonanym z włókna szklanego o dużej porowatości, które eliminuje niebezpieczeństwo wycieku elektrolitu oraz zabezpiecza przez możliwością powstania zwarcia pomiędzy płytami dodatnią i ujemną,
- SLA, w której elektrolit jest zestalony w postaci żelu, stanowiącego tiksotropową odmianę dwutlenku krzemu (SiO<sub>2</sub>).

Porównanie wybranych cech akumulatorów VRLA odmiany AGM oraz żelowej (SLA) przedstawia tabela 1.

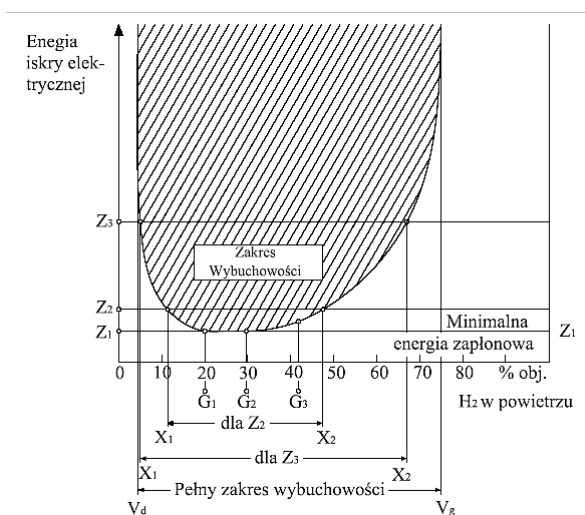
Tabela 1: Zestawienie porównawcze wybranych cech akumulatorów VRLA odmiany AGM oraz SLA [5].

Doświadczenia produkcyjne	VRLA - SLA	VRLA-AGM
Dostępność rynkowa	duża	duża
Bezpieczeństwo pracy w podwyższonych temperaturach	wysokie	niskie
Pojemność cieplna	duża	mała
Ilość elektrolitu	wiesza	mniejsza
Poziom rekombinacji gazów	do 97%	do 99 %
Korozja płyt i wyprowadzeń	niższa	wyższa
Rezystancja wewnętrzna	wyższa	niższa
Rozwarstwienie elektrolitu	nie	tak
Głębokie rozładowanie	tak	dyskusyjne
Odporność na przeładowanie	tak	nie
Wymagania w zakresie wentylacji	tak	tak

W akumulatorach klasycznych wodoru oraz tlen stanowiące produkt elektrochemicznego rozkładu wody są usuwane na zewnątrz przez otwory technologiczne wykonane w korkach.

Natomiast w akumulatorach VRLA, które często błędnie nazywane są „uszczelnionymi” lub „hermetycznymi”, reakcje elektrolitycznego rozkładu wody występują znacznie mniej intensywnie ze względu na wtórne reakcje powstających gazów prowadzące do znacznej ich redukcji przez ponowne powstanie wody i powrót do elektrolitu. Mogą jednak pojawić się ze zwiększoną intensywnością wskutek zjawiska starzenia powstającego wraz z upływem czasu eksploatacji lub błędnego jej prowadzenia. Ich nadmiar jest usuwany przez jednokierunkowe zawory. Zarówno przy eksploatacji akumulatorów klasycznych jak też akumulatorów VRLA, konieczna jest wentylacja przedziału baterijnego z uwagi na to, że wodor (H<sub>2</sub>) w mieszaninie z powietrzem przy stężeniu w zakresie (4 – 75) % staje się wybuchowy.

Zakres wybuchowości wodoru został przedstawiony na rysunku 2.



Rysunek 2. Zależność energii zapłonowej od składu mieszanin wodoru z powietrzem [4], Z<sub>1</sub>- minimalna energia zapłonu  $E_{min}=0,019$  mJ, V<sub>d</sub> – dolna granica wybuchowości (DGW), V<sub>g</sub> – górna granica wybuchowości (GGW).

Przy stężeniu stechiometrycznym, wynoszącym około 29 % wodoru (H<sub>2</sub>) w powietrzu, do wybuchu wystarczy energia o wartości 0,019 mJ.

Sterowanie wentylacja przedziału baterijnego należy realizować z wykorzystaniem układów detekcji stężenia wodoru. Układy automatyki powinny mieć ustawione dwa progi wykrywania stężenia wodoru:

- 10% DGW, przekroczenie którego zostanie zasygnalizowane oraz zostanie uruchomiona wentylacja powodująca zwiększenie szybkości wymian powietrza o 100% w stosunku do warunków normalnych,
- 30% DGW, przekroczenie którego spowoduje oprócz dalszego działania sygnalizacji akustyczno-dźwiękowej, wyłączenie ładowania baterii akumulatorów do chwili ustania zagrożenia.

Podstawowe wymagania w zakresie wentylacji przedziału baterijnego wynikają bezpośrednio z normy PN-EN 62040-1:2009 „Systemy bezprzerwowego zasilania (UPS). Część 1. Wymagania ogólne i wymagania dotyczące bezpieczeństwa UPS. Aneks M (normatywny). Wentylacja przedziałów bateryjnych” [6]. Przybliżoną wartość przepływu zapotrzebowanego powietrza w ciągu godziny w [m<sup>3</sup>/h] można obliczyć z poniższego wzoru[6]:

$$Q_p = v \cdot q \cdot s \cdot n \cdot I_g \cdot C_B \quad (1)$$

gdzie:

- v – wymagane rozcieńczenie wodoru  $(100 - 4)/4 = 24$ ,
- q – wytworzony wodor:  $0,45 \cdot 10^{-3}$  [m<sup>3</sup>/Ah],
- s – współczynnik bezpieczeństwa,
- I<sub>g</sub> – prąd gazowania o wartości:

- 1 mA – dla baterii „zamkniętych” (z zaworem VRLA) przy zmiennym napięciu,
- 5 mA – dla baterii otwartych przy zmiennym napięciu,
- 8 mA – dla baterii „zamkniętych” (z zaworem VRLA) przy stałym napięciu ładowania,
- 20 mA – dla baterii otwartych przy stałym napięciu ładowania.

$n$  – liczba ogniw baterii [-],

$C_B$  – pojemność baterii, w [Ah],

$Q_p$  – ilość wymaganego powietrza, w [ $m^3/h$ ],

Przyjmując współczynnik bezpieczeństwa  $s = 5$ , wzór na obliczenie  $Q_p$  może być uproszczony:

- dla baterii akumulatorów klasycznych

$$Q_p = 0,054 * n * I_g * C_B \quad (2)$$

- dla baterii akumulatorów VRLA

$$Q_{VRLA} = 0,25 \cdot Q \quad (3)$$

Jeżeli w pomieszczeniu z akumulatorami wolna przestrzeń  $V$  spełnia następujący warunek

$$V = V_p - V_u \begin{cases} \geq 2,5 \cdot Q_p \\ \geq 2,5 \cdot Q_{VRLA} \end{cases} \quad (4)$$

gdzie:

$V_p$  – objętość pomieszczenia z akumulatorami, w [ $m^3$ ],

$V_u$  – objętość, jaką zajmują akumulatory ze stojakami oraz inne wyposażenie pomieszczenia, w [ $m^3$ ].

to wystarczające jest zastosowanie wentylacji grawitacyjnej, z umieszczonymi po przeciwnych stronach pomieszczenia z otworami: dolotowym i wylotowym.

Każdy z tych otworów musi posiadać powierzchnie nie mniejszą od określonej poniższym wzorem [6]:

$$A_p = 28 * Q_p \quad (5)$$

gdzie:

$A_p$  – suma przekrojów otworów zewnętrznych i wewnętrznych, w [ $cm^2$ ].

W takim przypadku otwory wentylacyjne należy umieścić na przeciwległych ścianach (jeżeli jest to niemożliwe i otwory wentylacyjne muszą zostać wykonane na tych samych ścianach to odległość pomiędzy nimi nie może być mniejsza niż 2 m). Ten sam wymóg dotyczy instalowania wentylatorów wyciągowych, których odległość nie może być mniejsza niż 2 m. Podane wymagania mają charakter orientacyjny. Opracowanie projektu wentylacji pomieszczenia baterijnego jest zagadnieniem wymagającym specjalistycznej wiedzy i powinno być opracowane przez uprawnionego projektanta branży sanitarnej. Rola projektanta elektryka ogranicza się do zaprojektowania układu sterowania i zasilania wentylatorów.

Wentylacja pomieszczenia baterijnego spełniająca przedstawione wymagania, zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Sprawy Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 roku w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [Dz. U. Nr 109/2010 poz. 719]<sup>1</sup> [8].

W pomieszczeniach bateryjnych ważna jest również klimatyzacja z uwagi na znaczne ilości ciepła wydzielanego przez ładowane lub rozładowywane akumulatory.

Wzrost lub zmniejszenie temperatury pomieszczenia od wartości 20°C skutkuje odpowiednio zwiększeniem lub zmniejszeniem pojemności baterii.

<sup>1</sup> pomieszczenie zagrożone wybuchem to pomieszczenie, w którym spodziewany przyrost ciśnienia przekracza wartość 5 kPa.

Dla celów praktycznych ilość ciepła wydzielanego podczas rozładowywania akumulatorów można oszacować z następującego wzoru [6]:

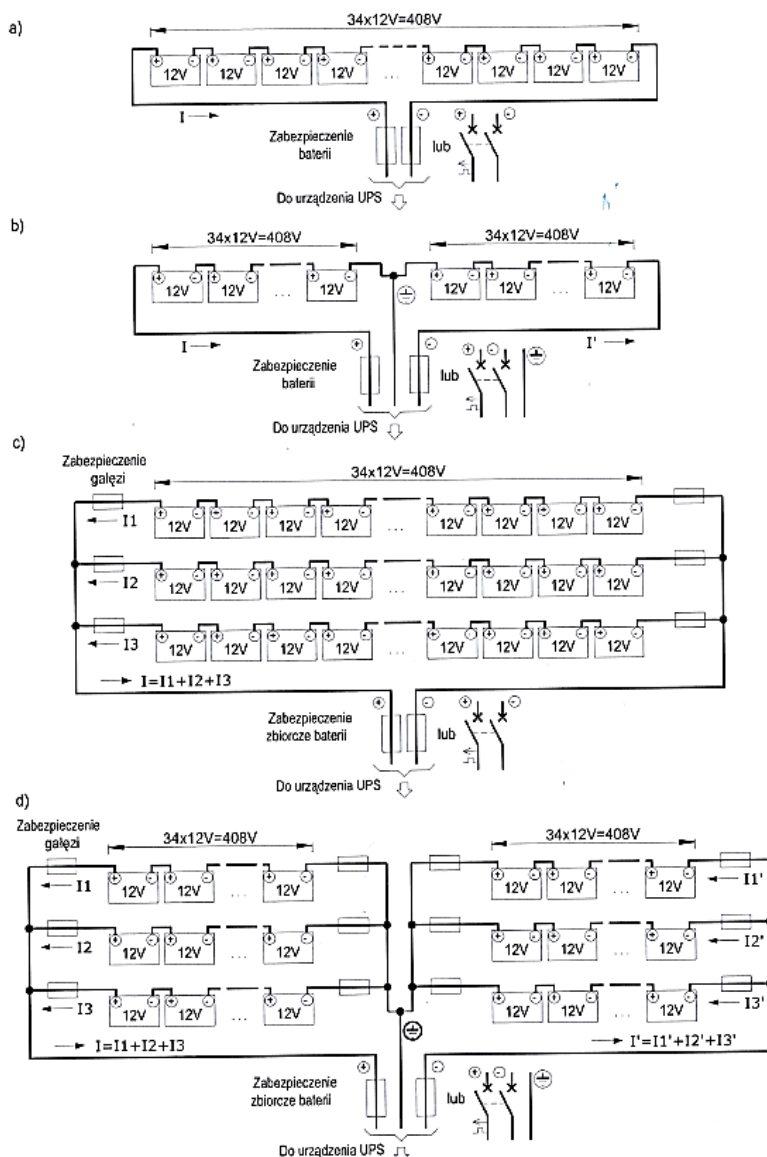
$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \cdot n \quad (7)$$

gdzie:

- I – przewidywany maksymalny prąd rozładowania, w [A],
- n – liczba gałęzi równoległych pracujących w czasie rozładowania, w [-],
- Q – ilość ciepła wydzielanego w czasie t, w [J],
- R – rezystancja jednej gałęzi szeregowej akumulatorów (rezystancję dla pojedynczego ogniwa podają producenci baterii w swoich katalogach) , w [ $\Omega$ ],
- T – przewidywany czas rozładowania, w [s].

Akumulatory stosowane w zasilaczach UPS posiadają napięcie znamionowe 12 V (rzadziej stosuje się akumulatory o napięciu 6 V) Są one zbudowane z pojedynczych cel o napięciu znamionowym 2V.

W razie potrzeby akumulatory te łączy się równolegle w celu zwiększenia ich pojemności lub szeregowo w celu zwiększenia napięcia. Przykładowe warianty układu baterii akumulatorów przedstawia rysunek 3.



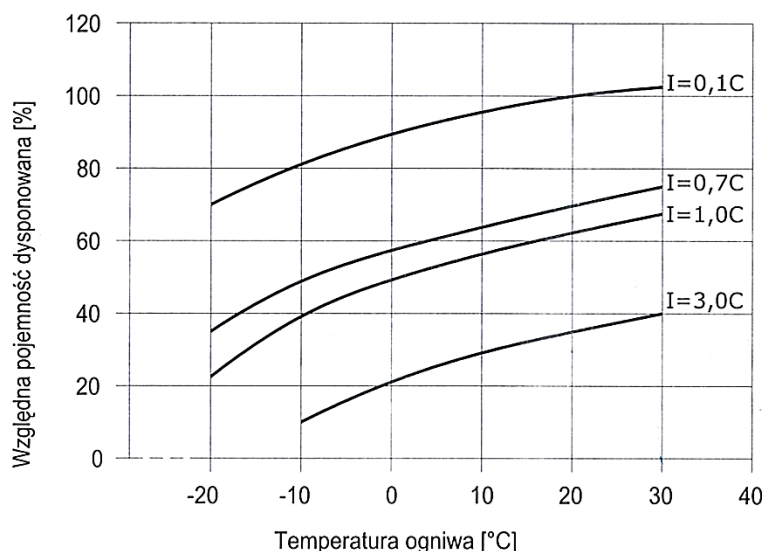
Rysunek 3. Przykładowe warianty łączenia baterii akumulatorów oraz ich zabezpieczeń [1], a) jedna gałąź szeregowo; b) jedna gałąź dwuczęściowa z punktem środkowym, c) trzy gałęzie równoległe; d) trzy gałęzie równoległe 2-częściowe z punktem środkowym

Baterie akumulatorów powinny być budowane z ogniw tego samego typu, pochodzących z tej samej serii produkcyjnej ze względu na rezystancję wewnętrzną, która decyduje o równomierności rozptywu prądów w poszczególnych gałęziach. Zaleca się instalowanie zabezpieczenia zwarcowego w każdym biegunie każdej gałęzi, możliwie blisko akumulatorów. Ponadto należy instalować zabezpieczenia centralne w każdym biegunie, zgodnie z zasadami przedstawionymi na rysunku 3. Dobór zabezpieczeń należy wykonać na podstawie spodziewanego prądu obciążenia znamionowego oraz spodziewanych prądów zwarcowych. Ponieważ rezystancja wewnętrzna akumulatorów stosowanych w zasilaczach UPS jest uzależniona od typu akumulatora i wynosi (0,5 – 3) mΩ/100 Ah, zwarcie skutkowało będzie przepływem prądów o dużej wartości, co należy uwzględnić przy doborze zabezpieczeń oraz doborze oprzewodowania. Szczegółowe wymagania w zakresie metodyki pomiarów oraz obliczania rezystancji wewnętrznej akumulatorów można znaleźć w normie PN-EN 60896-21: 2005 „Akumulatory ołowiowe. Część 21.: Typy z zaworami – Metody badań” [7]. Zgodnie z zaleceniami EUROBAT (zrzeszenie europejskich producentów akumulatorów) dotyczącymi akumulatorów VRLA, liczba równolegle połączonych gałęzi akumulatorów, ze względu na prądy gałęziowe, nie może przekraczać czterech gałęzi.

Pojemność akumulatora podawana jest w Ah lub przez prąd rozładowania w czasie 20-stu godzin w temperaturze 20<sup>0</sup> C, do osiągnięcia napięcia końcowego pojedynczej celi  $U_k = 1,7$  V (oznaczenie C20). Oznacza to, że akumulator o pojemności np.  $Q = 100$  Ah będzie rozładowywany prądem o wartości

$$I = \frac{Q}{20} = \frac{100}{20} = 5 \text{ A}$$

przez 20 godzin. Dla ułatwienia posługiwania się tymi wartościami wprowadzono jednostkę krotności pojemności znamionowej C, która wyraża prąd jednogodzinnego rozładowania określony jako 1C. Oznacza to, że akumulator o pojemności np.  $Q = 100$  Ah rozładowywany będzie przez jedną godzinę prądem o wartości 100 A, ale prąd rozładowania oznaczony jako 0,1C oznacza wartość prądu 10 A i czas rozładowania akumulatora wynoszący 10 godzin. Cechą charakterystyczną akumulatorów jest to, że im prąd rozładowania większy to pojemność dysponowana mniejsza podobnie, im temperatura niższa tym pojemność dysponowana mniejsza. Wpływ temperatury i prądu rozładowania na pojemność akumulatora przedstawia rysunek 4.

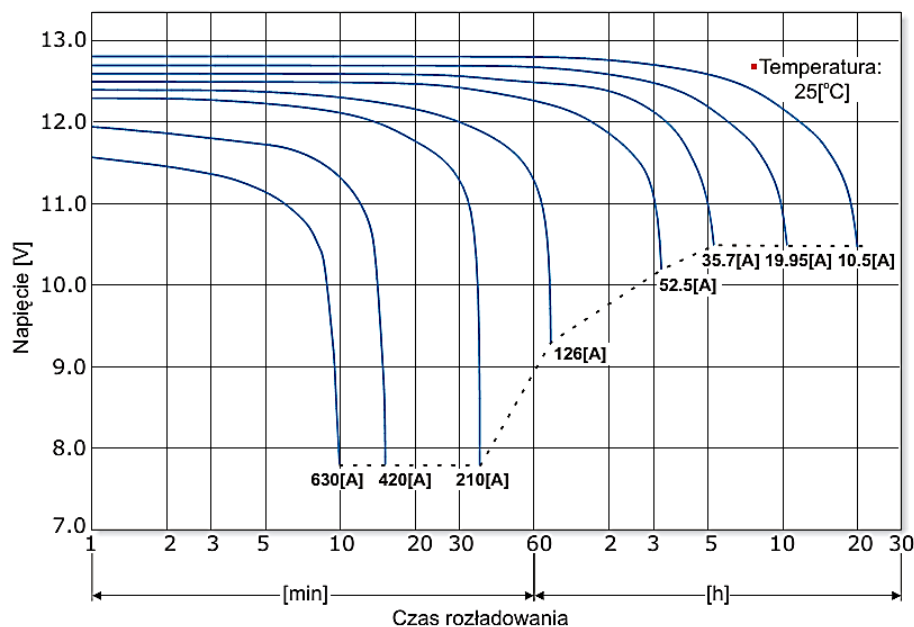


Rysunek 4: Wpływ temperatury i prądu rozładowania na pojemność akumulatora [1].

Analizując rysunek 4 należy zauważyć, że dla prądu rozładowania wynoszącego 0,1C czas rozładowania 10-godzinnego w temperaturze -10<sup>0</sup> C zostanie skrócony do około 80%. Czyli dysponowana pojemność akumulatora wyniesie 80% jego znamionowej pojemności. Natomiast przy prądzie rozładowania wynoszącym 1C w temperaturze 20<sup>0</sup> C pojemność akumulatora wyniesie około 60% jego pojemności znamionowej, przez co czas rozładowania do uzyskania napięcia odcięcia  $U_k$ , wyniesie około 36 minut (rysunek 5). Przy doborze akumulatora należy pamiętać, że przy pracy w temperaturze niższej od określonej przez producenta pojemność akumulatora będzie niższa od pojemności znamionowej co spowoduje skrócenie czasu pracy przy

zasilaniu urządzeń. Jeżeli wymagana jest praca akumulatora w niskich temperaturach należy dobrać akumulator o większej pojemności znamionowej.

Podczas eksploatacji akumulatorów bardzo istotne znaczenie ma niedopuszczenie do rozładowania poniżej napięcia końcowego  $U_k$  zwanego powszechnie „napięciem odcięcia” tj. wartości przy której po rozładowaniu akumulator zachowuje znamionową pojemność oraz znamionową żywotność. Napięcie te zależy od wartości prądu rozładowania i nie jest wartością stałą w odniesieniu do pojedynczego akumulatora. Przykładowe krzywe rozładowania akumulatora o pojemności 210 Ah w temperaturze 25<sup>0</sup> C przy różnych wartościach prądu rozładowania przedstawia rysunek 5.



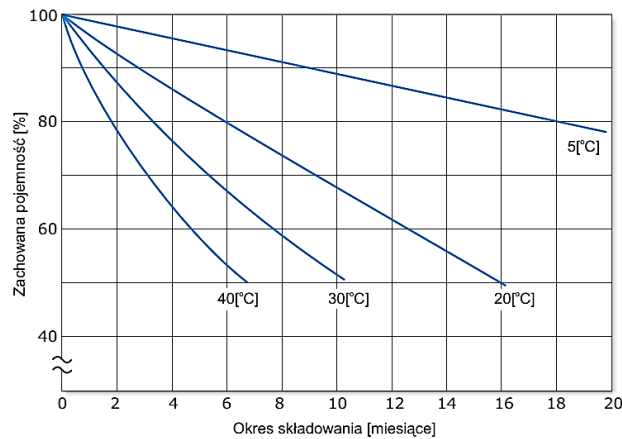
Rysunek 5. Przykładowe krzywe rozładowania akumulatora w temperaturze 25<sup>0</sup> C przy różnych wartościach prądów rozładowania [9].

Jeżeli akumulator zostanie rozładowany do napięcia o wartości poniżej krzywej odcięcia to jego pojemność zmniejszy się oraz zmniejszy się jego żywotność. Napięcie odcięcia dla określonych prądów rozładowania podają producenci akumulatorów. Rozładowanie akumulatora poniżej wartości napięcia odcięcia grozi jego trwałym uszkodzeniem. Każdy akumulator, którego pojemność spadła do wartości 80% jego pojemności znamionowej należy wycofać z eksploatacji.

Akumulatory SLA naładowane do pojemności znamionowej, przechowywane w temperaturze 20<sup>0</sup> C tracą średnio 3% pojemności w ciągu miesiąca [3]. Przechowywanie akumulatorów SLA w stanie nienaładowanym może prowadzić do zmiany polaryzacji co skutkowało będzie tym, że staną się one izolatorami. Czas przechowywania naładowanych akumulatorów SLA jest uzależniony od temperatury i wynosi:

- 12 miesięcy w temperaturze ( 0 – 20)<sup>0</sup> C,
- 9 miesięcy w temperaturze ( 21 – 30)<sup>0</sup> C,
- 5 miesięcy w temperaturze ( 31 – 40)<sup>0</sup> C,
- 2,5 miesiąca w temperaturze ( 41 – 50)<sup>0</sup> C.

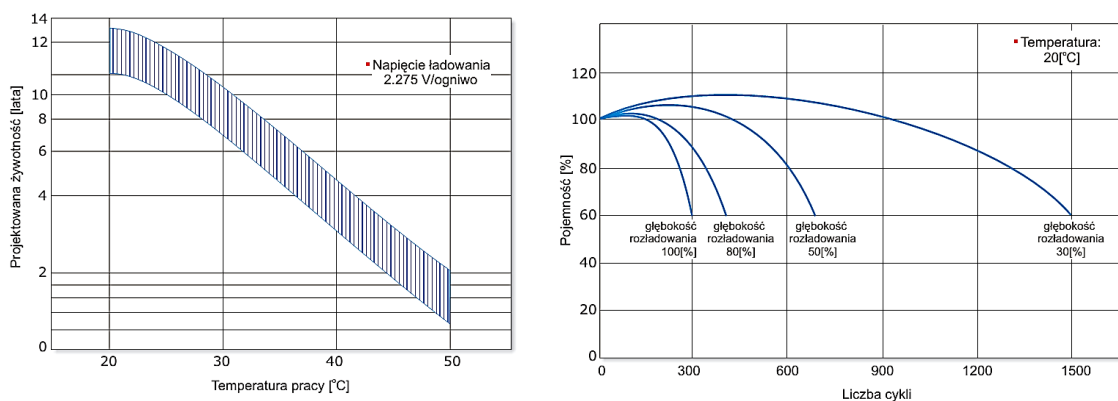
Graniczną temperaturą pracy lub przechowywania akumulatorów SLA jest temperatura +55<sup>0</sup> C. Należy jednak pamiętać, że w warunkach eksploatacji temperatura +55<sup>0</sup> C jest dopuszczona przejściowo. Ciągłe jej utrzymywanie powoduje skrócenie projektowanego okresu żywotności baterii do około 15% okresu projektowanego czasu eksploatacji. Charakterystyki samorozładowania akumulatorów SLA w funkcji czasu dla różnych temperatur składowania przedstawia rysunek 6.



Rysunek 6. Przykładowe charakterystyki samorozładowania akumulatorów SLA w funkcji czasu, dla różnych temperatur składowania [9].

Każde podwyższenie temperatury pracy akumulatora o  $(8-10)^{\circ}\text{C}$  ponad temperaturę optymalną powoduje skrócenie czasu eksploatacji o połowę. Podobnie na długość eksploatacji akumulatorów ma wpływ głębokość rozładowania lub liczba cykli ładowania i rozładowania.

Przykładowe charakterystyki żywotności akumulatorów przy pracy w układzie buforowym lub pracy cyklicznej przedstawia rysunek 7.



Rysunek 7. Przykładowe charakterystyki żywotności akumulatora a) przy pracy buforowej b) przy pracy cyklicznej.

Producenci akumulatorów w kartach katalogowych podają charakterystyki stałoprądowego oraz stałomocowego rozładowania. Charakterystyki te są analogiczne i podawane w postaci tabel, których przykłady dla akumulatora o pojemności 210 Ah przedstawiają poniższe tabele.

Tabela 2. Przykład stałoprądowej charakterystyki rozładowania akumulatora o pojemności 210 Ah w temperaturze  $25^{\circ}\text{C}$ , prąd w [A] [9].

$U_k$ [V/ogn.]	5 [min.]	10 [min.]	15 [min.]	30 [min.]	50 [min.]	1 [h]	2 [h]	4 [h]	6 [h]	8 [h]	10 [h]
1,80	506,0	414,0	340,0	226,0	146,0	128,0	70,0	41,10	30,30	23,69	19,65
1,75	596,0	448,0	356,0	234,0	151,0	132,0	71,80	41,80	30,80	24,04	19,95
1,70	633,0	465,0	367,0	240,0	154,0	135,0	72,80	42,10	31,00	24,17	20,05
1,65	662,0	476,0	375,0	243,0	156,0	136,0	73,40	42,30	31,10	24,23	20,10
1,60	684,0	485,0	383,0	246,0	157,0	138,0	74,00	42,50	31,10	24,26	20,10
1,50	711,0	495,0	390,0	248,0	159,0	139,0	74,60	42,70	31,20	24,26	20,11



Tabela 3. Przykładowa charakterystyka stałomocowego rozładowania akumulatora o pojemności 210 Ah, w temperaturze 25<sup>o</sup> C, moc w [W/ogniwo] [9].

U <sub>k</sub> [V/ogn.]	5 [min.]	10 [min.]	15 [min.]	30 [min.]	50 [min.]	1 [h]	2 [h]	4 [h]	6 [h]	8 [h]	10 [h]
1,80	935,3	783,7	651,7	444,0	289,3	254,8	140,0	82,2	60,7	47,4	39,3
1,75	1082,5	848,8	681,8	461,0	262,3	262,3	143,7	83,7	61,7	48,1	39,9
1,70	1150,0	879,5	702,8	471,5	267,2	267,2	145,5	84,2	62,0	48,3	40,1
1,65	1201,8	900,5	719,0	478,0	270,3	270,3	146,8	84,7	62,2	48,5	40,2
1,60	1241,7	918,7	733,3	483,0	273,0	273,0	148,0	85,0	62,3	48,5	40,2
1,50	1291,3	936,8	748,2	487,8	275,7	275,7	149,2	85,3	62,3	48,5	40,2

Baterie akumulatorów stosowanych w zasilaczach UPS powinny być dobierane do mocy znamionowej zasilacza. Za podstawę doboru należy przyjąć wymaganą moc czynną/ ogniwo, którą należy wyznaczyć z poniższego wzoru:

$$P_{ogn} = \frac{S \cdot \cos \varphi_z}{\eta \cdot n \cdot k_x}$$

gdzie:

$P_{ogn}$  – wymaga moc czynna pojedynczego ogniwa przy stałomocowym rozładowaniu akumulatora do określonego napięcia odciążenia  $U_k$ , w [W/ogniwo],

$S$  – znamionowa moc pozorna zasilacza UPS, w [VA],

$\cos \varphi_z$  – współczynnik mocy, przy którym pracuje zasilacz UPS (współczynnik mocy zasilanych odbiorników, w [-],

$\eta$  – sprawność zasilacza UPS, w [-],

$n$  – liczba ogniw w akumulatorze (przy napięciu akumulatora 12 V – 6 ogniw; przy napięciu akumulatora 6 V – 3 ogniwa),

$U_{nUPS}$  – napięcie znamionowe zasilacza UPS, w [V],

$U_{nakum.}$  – napięcie znamionowe akumulatora, w [V],

$k_x = \frac{U_{nUPS}}{U_{nakum}}$  – wymagana liczba akumulatorów w pojedynczej gałęzi szeregowej, w [-].

## Przykład

Dobrać akumulatory oraz ich zabezpieczenia do zasilacza UPS o mocy 400 kVA, zasilającego odbiorniki przy współczynniku mocy  $\cos \varphi_z = 0,8$  oraz sprawności zasilacza  $\eta=0,9$ . Napięcie odciążenia  $U_k = 1,7$  V/ogniwo. Wymagany czas pracy zasilanych odbiorników wynosi 30 minut.

Rezystancja wewnętrzna akumulatora  $R_w = 2,5$  mΩ.

$$k_x = \frac{U_{nUPS}}{U_{nakum}} = \frac{400}{12} = 34$$

$$P_{ognwym} = \frac{S \cdot \cos \varphi_z}{\eta \cdot n \cdot k_x} = \frac{400 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{0,9 \cdot 6 \cdot 34} = 1777,78 \text{ V / ogniwo}$$

Wymagana liczba gałęzi równoległych:

na podstawie tabeli 3,  $P_{ogdysp} = 471,5$  W/ogniwo/ $U_k = 1,7$  V oraz  $t = 30$  minut

$$x = \frac{P_{ogwym}}{P_{ogdysp}} = \frac{1777,78}{471,5} \approx 3,78 = 4 \text{ gałęzie}$$

$$P_{1g} = P_{og\ dyisp} \cdot k_x \cdot n = 471,5 \cdot 34 \cdot 6 = 96186 W / \text{gałaź}$$

$$I_{1g} = \frac{P_{1g}}{U_{nUPS}} = \frac{96186}{400} = 240,5 A$$

$$I_c = 4 \cdot I_{1g} = 4 \cdot 240,5 = 962 A$$

Spodziewane prądy zwarciove:

- zwarcie w pojedynczej gałęzi

$$I_{kg1} = \frac{U_n}{k_x \cdot R_w} = \frac{408}{34 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}} = 4800 A$$

- zwarcie obejmujące cała baterie akumulatorów

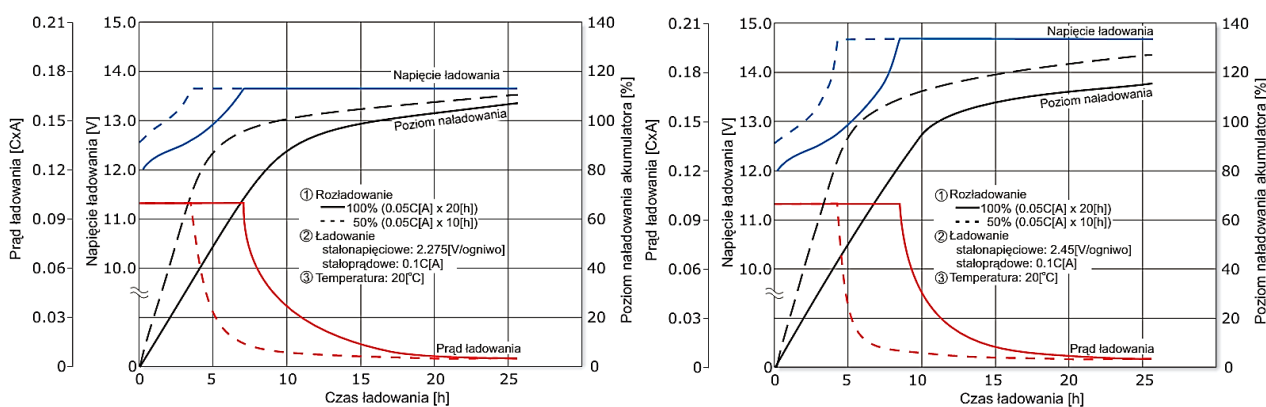
$$I_{kgc} = \frac{U_n}{(k_x \cdot R_w) / 4} = \frac{408}{(34 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}) / 4} = 19200 A$$

Do zabezpieczenia poszczególnych gałęzi należy przyjąć bezpieczniki topikowe WT1gG250, natomiast do zabezpieczenia głównego bezpiecznik topikowy WTN3gG1000.

W obydwu przypadkach odporność zwarciova dobieranych bezpieczników jest wystarczająca.

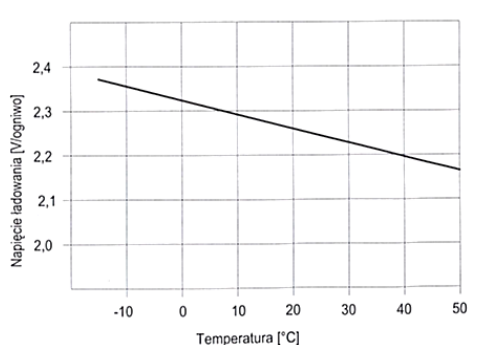
Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe charakterystyki ładowania akumulatorów pracujących w układzie buforowym oraz cyklicznym. Z rysunku wynika, że całkowicie rozładowany akumulator do napięcia odcięcia  $U_k$  zostanie naładowany po 24 godzinach.

Przedstawione charakterystyki dotyczą temperatury 20<sup>0</sup> C. W przypadku innej temperatury należy wprowadzić poprawkę wynosząca przeciętnie  $\pm 3mV/^\circ C$ /odniwo. Znak ujemny dotyczy temperatur wyższych od optymalnych, a znak plus temperatur niższych od optymalnych.



Rysunek 8. Przykładowe charakterystyki ładowania akumulatora a) przy pracy buforowej, b) przy pracy cyklicznej.

Przykładową zależność napięcia ładowania od temperatury przedstawia rysunek 9.



Rysunek 9. Przykładowa zależność napięcia ładowania od temperatury [1].

## Literatura

- [1] T. Sutkowski – Rezerwowe i bezprzerwowe zasilanie w energię elektryczną – Urządzenia i układy – COS i W SEP 2007
- [2] A. Czerwiński – Akumulatory, baterie, ogniwa – WKŁ 2013
- [3] Podręcznik projektanta systemów sygnalizacji pożarowej – SITP, ITB – Warszawa, marzec 2009
- [4] J. Wiatr, M. Orzechowski, M. Miegoń, A. Przasnyski – Poradnik projektanta systemów zasilania awaryjnego i gwarantowanego – EATON 2008, wydanie II
- [5] Z. Łęgosz – Stacjonarne baterie kwasowo-ołowiowe w systemach zasilania potrzeb własnych- Wiadomości energetyczne Nr 7-8/2004.
- [6] PN-EN 62040-1:2009 Systemy bezprzerwowego zasilania (UPS). Część 1. Wymagania ogólne i wymagania dotyczące bezpieczeństwa UPS. Aneks M (normatywny). Wentylacja przedziałów bateryjnych.
- [7] PN-EN 60896-21: 2005 Akumulatory ołowiowe. Część 21.: Typy z zaworami – Metody badań.
- [8] Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 roku w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [Dz. U. Nr 109/2010 poz. 719].
- [9] Karta katalogowa akumulatora EPL 210-12 – [www.aval.com.pl](http://www.aval.com.pl) - 28.07.2015