



Raport z prac wykonanych w drugim etapie projektu: „Opracowanie innowacyjnego i nowatorskiego systemu nadzorującego pracę baterii akumulatorów BMS (Battery Management System) przeznaczonego do pojazdów z napędem elektrycznym” z okresu
01.09.2017r. – 31.05.2018r.
o nr *UDA-RPSL.01.02.00-24-0695/16-00*

Kaczyce, wrzesień 2017r.



Spis treści

1	WPROWADZENIE	5
2	BUDOWANIE STANOWISK BADAWCZYCH	8
2.1	STANOWISKO DO BADANIA PROCESU ŁADOWANIA I ROZŁADOWANIA ORAZ POMIARU ILOŚCI CYKLI ŁADOWANIA	8
2.2	STANOWISKO DO BADANIA ODZYSKU ENERGII	9
2.3	STANOWISKO DO BADANIA WPŁYWU OBCIĄŻENIA	11
2.4	STANOWISKO DO BADANIA SPOSOBÓW MECHANICZNEGO ŁĄCZENIA AKUMULATORÓW	12
2.4.1	LUTOWANIE OŁOWIEM	13
2.4.2	ŁĄCZENIE ZA POMOCĄ KLEM DO AKUMULATORÓW (ZACISKI POWSZECHNIE STOSOWANE DO ŁĄCZENIA NP. W MOTORYZACJI)	14
2.4.3	MOCOWANIE ZACISKAMI SPRĘŻYSTYMI POSZCZEGÓLNYCH KONEKTORÓW	14
2.5	STANOWISKO DO POMIARU PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH ZESTAWÓW ZASILAJĄCYCH ZBUDOWANE DO AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH	15
3	PRZEDMIOT BADAŃ	16
3.1	SYSTEM ZARZĄDZANIA BATERIĄ (BMS - BATTERY MANAGEMENT SYSTEM)	18
3.1.1	BALANSOWANIE OGNIW	21
3.1.2	FUNKCJE SYSTEMU BMS	22
3.2	AKUMULATORY OŁOWIOWE (Kwasowe)	25
3.3	AKUMULATORY OŁOWIOWE Z ELEKTROLITEM ŻELOWYM	27
3.4	AKUMULATORY LITOWO-JONOWE	30
3.5	AKUMULATORY LITOWO-ŻELAZOWO-FOSFORANOWE	32
3.6	AKUMULATORY GRAFENOWO-LITOWO-POLIMEROWE	34
4	CHARAKTERYSTYKA PARAMETRÓW STOSOWANYCH W TEMATYCE OGNIW	35
5	SCHEMATY POŁĄCZEŃ ELEKTRYCZNYCH, RYSUNKI I ZDJĘCIA BADANYCH OGNIW	39
6	AKUMULATORY OŁOWIOWE Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM	45
6.1	BADANIE CYKLI ŁADOWANIA INDYWIDUALNEGO – CYKL ROZRUCHOWY	48
6.1.1	ŁADOWANIE INDYWIDUALNE AKUMULATORÓW	49
6.1.2	TABELE I WYKRESY ŁADOWANIA INDYWIDUALNEGO AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM	53
6.2	BADANIE CYKLI ROZŁADOWANIA INDYWIDUALNEGO – CYKL ROZRUCHOWY	64
6.2.1	ROZŁADOWANIE INDYWIDUALNE AKUMULATORÓW	65
6.2.2	TABELE I WYKRESY ROZŁADOWANIA INDYWIDUALNEGO DLA AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM	70
6.3	ŁĄCZENIE PAKIETU AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM	81



6.3.1	LUTOWANIE ZACISKÓW AKUMULATORA DO ELEMENTÓW ŁĄCZENIOWYCH BIEGUNÓW AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH	82
6.3.2	MOCOWANIE ZACISKAMI SPRĘŻYSTYMI POSZCZEGÓLNYCH KONEKTORÓW	86
6.3.3	POŁĄCZENIE AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM ZA POMOCĄ KLEM (ZACISKÓW MECHANICZNYCH)	89
6.4	ŁADOWANIE PAKIETU AKUMULATORÓW (OŁOWIOWY Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM) BEZ SYSTEMU BMS	91
6.5	ROZŁADOWANIE PAKIETU AKUMULATORÓW (OŁOWIOWY Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM) BEZ SYSTEMU BMS	112
6.6	INSTALACJA LABORATORYJNA ZŁOŻONA Z AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU BMS – PROCES ŁADOWANIA.....	133
6.7	INSTALACJA LABORATORYJNA ZŁOŻONA Z AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM CIEKŁYM Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU BMS – PROCES ROZŁADOWANIA	150
7	AKUMULATORY OŁOWIOWE Z ELEKTROLITEM ŻELOWYM.....	166
7.1	BADANIE CYKLI ŁADOWANIA INDYWIDUALNEGO – CYKL ROZRUCHOWY	167
7.1.1	TABELE I WYKRESY ŁADOWANIA INDYWIDUALNEGO AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM ŻELOWYM ..	171
7.2	BADANIE CYKLI ROZŁADOWANIA INDYWIDUALNEGO – CYKL ROZRUCHOWY.....	184
7.2.1	TABELE I WYKRESY ROZŁADOWANIA DLA AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM ŻELOWYM	185
7.3	ŁĄCZENIE PAKIETU AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM ŻELOWYM	196
7.3.1	POŁĄCZENIE ZACISKAMI ŚRUBOWYMI.....	196
7.3.2	POŁĄCZENIE ZACISKAMI SPRĘŻYSTYMI	199
7.4	ŁADOWANIE PAKIETU AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM ŻELOWYM BEZ UŻYCIA BMS.....	201
7.5	ROZŁADOWANIE PAKIETU AKUMULATORÓW OŁOWIOWYCH Z ELEKTROLITEM ŻELOWYM BEZ UŻYCIA BMS	219
7.6	INSTALACJA LABORATORYJNA ZŁOŻONA Z AKUMULATORÓW ŻELOWYCH Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU BMS – PROCES ŁADOWANIA	235
7.7	INSTALACJA LABORATORYJNA ZŁOŻONA Z AKUMULATORÓW ŻELOWYCH Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU BMS – PROCES ROZŁADOWANIA	256
8	OGNIWA LITOWO-JONOWE	272
8.1	PRACE BADAWCZO-POMIAROWE	275
8.2	ŁĄCZENIE INSTALACJI LABORATORYJNEJ SKŁADAJĄCEJ SIĘ Z OGNIW LI-ION.....	276
8.2.1	POŁĄCZENIA ŚRUBOWE	277
8.2.2	ZACISKI SPRĘŻYSTE.....	278
8.3	PROCES ŁADOWANIA CEL LITOWO-JONOWYCH	280
8.4	PROCES ROZŁADOWANIA CEL LITOWO-JONOWYCH	301
9	CELE LIFEPO4 - LITOWO – ŻELAZOWO – FOSFORANOWE	322
9.1	PRACE BADAWCZO-POMIAROWE	323
9.2	ŁĄCZENIE INSTALACJI LABORATORYJNEJ SKŁADAJĄCEJ SIĘ Z CEL LITOWO-ŻELAZOWO-FOSFORANOWYCH	324
9.2.1	POŁĄCZENIE POPRZEC ZACISKI ŚRUBOWE	324
9.2.2	POŁĄCZENIE POPRZEC ZACISKI SPRĘŻYSTE.....	326



9.3	PROCES ŁADOWANIA CEL LiFePO₄	326
9.4	PROCES ROZŁADOWANIA CEL LITOWO-ŻELAZOWO-FOSFORANOWYCH	347
10	<u>OGNIWA GRAFENOWO - LITOWO – POLIMEROWE</u>	368
10.1	PRACE BADAWCZO-POMIAROWE	370
10.2	ŁĄCZENIE INSTALACJI LABORATORYJNEJ ZŁOŻONEJ Z AKUMULATORÓW GRAFENOWO-LITOWO-POLIMEROWYCH ...	370
10.2.1	POŁĄCZENIE POPRZECZ ZACISKI ŚRUBOWE	370
10.3	PROCES ŁADOWANIA AKUMULATORÓW GRAFENOWO-LITOWO-POLIMEROWYCH SKŁADAJĄCYCH SIĘ NA INSTALACJĘ LABORATORYJNĄ	372
10.4	PROCES ROZŁADOWANIA AKUMULATORÓW GRAFENOWO-LITOWO-POLIMEROWYCH	386
11	<u>PODSUMOWANIE</u>	399

1 Wprowadzenie

Realizacja I etapu projektu „Opracowanie innowacyjnego i nowatorskiego systemu nadzorującego pracę baterii akumulatorów BMS (Battery Management System) przeznaczonego do pojazdów z napędem elektrycznym” umożliwiła zgromadzenie niezbędnej wiedzy do prowadzenia dalszych prac w kolejnych etapach. Dokonanie wnikliwej analizy dokumentacji zainicjowało utworzenie kluczowych założeń dotyczących opracowania algorytmów pracy dla pięciu rodzajów akumulatorów (ołowiowych z ciekłym elektrolitem, ołowiowych z elektrolitem żelowym, litowo-jonowych, litowo-żelazowo-fosforanowych oraz grafenowo-litowo-polimerowych). Zebrano bazę wiedzy umożliwiającą:

1. Stworzenie założeń dotyczących opracowania algorytmów pracy, parametrów krytycznych, przebiegu procesów ładowania i optymalnego rozładowania akumulatorów,
2. Opracowanie założeń dotyczących budowy układów sterowników,
3. Opracowanie wymagań dotyczących przeprowadzenia badań symulacyjnych.

Sformułowane algorytmy stały się podstawą utworzenia specjalnego oprogramowania dla sterowników, które w niniejszej fazie projektu zostaną zaimplementowane w przygotowanych obwodach sterowników. Wytyczając założenia mające zastosowanie w algorytmach uzyskano informację na temat parametrów, jakie należy odczytywać z systemu oraz charakterystykę parametrów wymuszonych przez system dla ich optymalnej pracy i odwzorowania algorytmów. Według właściwości akumulatorów uskutecznił wybór dwóch stworzonych typów układów PCB dla jednostek Slave przynależne dla akumulatorów ołowiowych oraz dla akumulatorów litowo-jonowych, litowo-żelazowo-fosforanowych, grafenowo-litowo-polimerowych. Opracowany zostanie jeden typ układu PCB dla jednostki Master dla wszystkich typów akumulatorów. Dzięki zastosowaniu pięciu typów oprogramowania dla jednostki Slave i Master otrzymane zostanie pięć typów systemów BMS.

W trakcie wykonywania badań w II etapie projektu nastąpią ponowne testy oraz optymalizacja oprogramowania. Testom zostanie poddany system zespolony z akumulatorami na skutek, czego uzyskane zostaną wyniki laboratoryjne a nie symulacyjne. Wychwycone zostaną parametry rzeczywiste, które w trakcie badań symulacyjnych mogły być pominięte. W kolejnym etapie projektu może pojawić się ryzyko związane z wykonaniem kolejnej wersji sterowników. Taka perspektywa może wynikać z badań, które zostaną przeprowadzone.

Na tym etapie ważne jest opracowanie projektu technicznego oraz wytworzenie pięciu prototypów instalacji laboratoryjnej (zespołów zasilających), złożonej z różnego rodzaju ogniw. Do celów badawczych została wybrana grupa reprezentatywna pięciu zestawów zasilających do przeprowadzenia koniecznych badań przemysłowych nad innowacyjnymi systemami BMS. Grupa składa się z pięciu rodzajów najbardziej popularnych ogniw, stosowanych do zasilania pojazdów elektrycznych o pojemności łącznej całego zespołu rzędu 100-115Ah oraz napięciu rzędu 70-80 Volt. Łączenie oraz zespalandanie ogniw odbywać się będzie poprzez zdywersyfikowane metody łączenia w pakiety w odniesieniu do optymalizacji gabarytów. Na wstępie powstaną pakiety ogniw/baterii akumulatorowych, a następnie połączone one zostaną w zespoły zasilania.

Powstanie pięć prototypowych zespołów zasilających w skali laboratoryjnej z wykorzystaniem akumulatorów głębokiego rozładowania ołowiowych z elektrolitem płynnym; akumulatorów głębokiego rozładowania ołowiowych z elektrolitem stałym (żelowym); akumulatorów litowo-jonowych; akumulatorów litowo-żelazowo-fosforanowych, grafenowo-litowo-polimerowych. Zintegrowany system w skali laboratoryjnej będzie składał się z zespołów zasilania z zintegrowanymi sterownikami nadzoru i zabezpieczeń akumulatorów BMS (łącznie pięć modeli zintegrowanych na bazie poprzednich komponentów).

Wykonanie badań laboratoryjnych nad zintegrowanym systemem będzie miało następujący przebieg:

- W obrębie prac badawczych przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych, zostanie sprecyzowane działanie zaprojektowanych w I etapie sterowników na istotne dla projektu cechy: zdolność magazynowania energii, żywotność, zwiększenie pojemności oraz czas ładowania w zestawieniu z nowymi zintegrowanymi elementami technologii

W ramach badań na tym etapie projektu zostaną przeprowadzone następujące badania przemysłowe:

- Badanie cykli rozładowania (U , I , Q , t),
- Na podstawie wielokrotnych prób rozładowania oraz ładowania zostanie przeprowadzona optymalizacja algorytmu pracy układów BMS. Dla układów BMS będą zmieniane wartości graniczne parametrów akumulatora $U_{rozł.}$ i $U_{ład.}$ oraz zostaną ustalone informacje o optymalnych wartościach,
- Badanie cykli ładowania (U , I , Q , t),

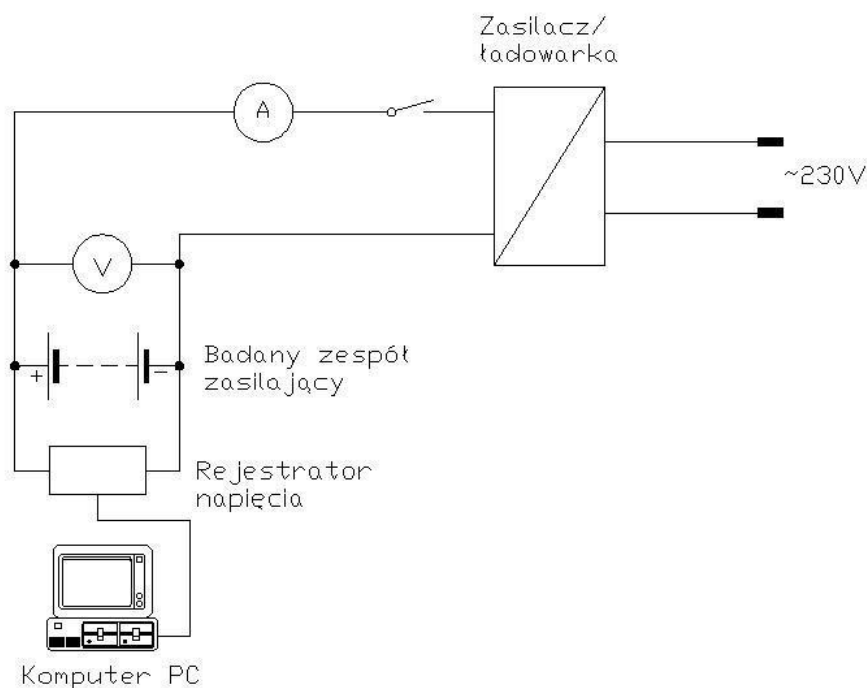
- Ilość cykli ładowania będzie określona matematycznie z serii wykonanych pomiarów,
- Badanie trzech sposobów łączenia mechanicznego: lutowanie zacisków, skręcenie/zacisk mechaniczny (sprężysty), łączenie za pomocą klem (zaciski stosowane w motoryzacji) - weryfikacja bezpieczeństwa pod względem mechanicznym (zdjęcia termograficzne dla wszystkich połączeń),
- Badanie wpływu obciążenia o skrajnych akceptowanych wartościach na pojemność , trwałość (żywoćność, ilość cykli), na temperaturę pracy,
- Badanie odzysku energii.

W ramach niniejszego etapu uzyskane zostanie ogólne odwzorowanie reprezentatywnego systemu BMS w warunkach laboratoryjnych. Wyniki badań optymalizacyjnych systemu BMS wpływających na zdolność magazynowania, energii zostaną zawarte w raporcie, jak również parametry uzyskane podczas badań. Procesy badawcze pozwolą uzyskać odpowiedź na pytanie: „czy zintegrowane systemy zarządzania akumulatorami BMS z zestawami zasilającymi dają oczekiwane rezultaty tj. zwiększenie zdolności magazynowania energii, wydłużenie żywotności, zwiększenia pojemności, a także skrócenia czasu ładowania”. Raport będzie stanowił bazę do przejścia do kolejnego etapu badawczego projektu.

2 Budowanie stanowisk badawczych

W celu osiągnięcia należytej jakości działań badawczych oraz rzetelnych wyników końcowych zaistniała potrzeba utworzenia specjalnych stanowisk badawczych. W dalszej części raportu zostały przedstawione schematy stworzonych stanowisk.

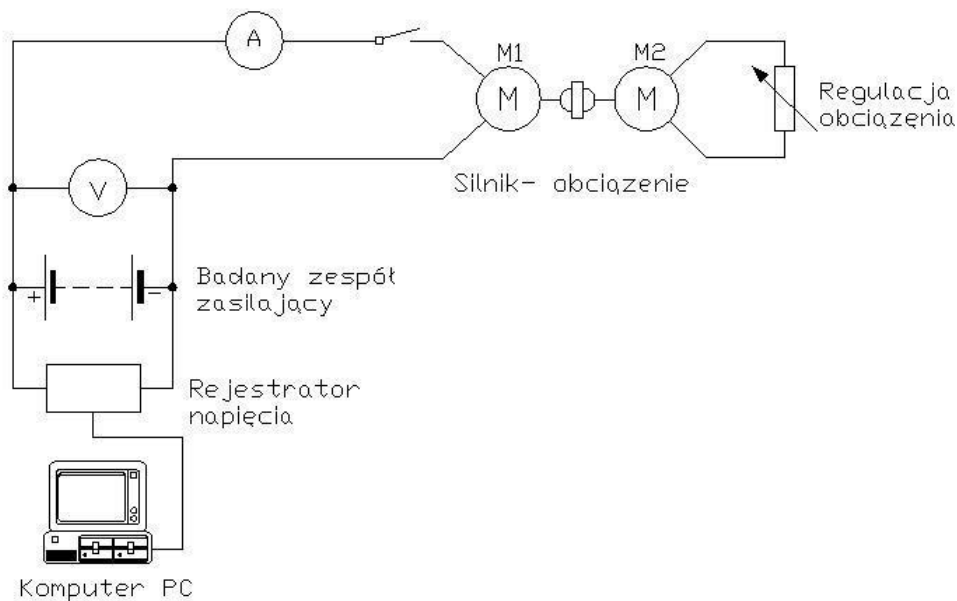
2.1 Stanowisko do badania procesu ładowania i rozładowania oraz pomiaru ilości cykli ładowania



Rysunek 1. Stanowisko do badania cykli ładowania akumulatorów

Stanowisko składa się z:

- badanego zespołu zasilającego,
- rejestratora napięcia,
- zasilacza/ładowarki.



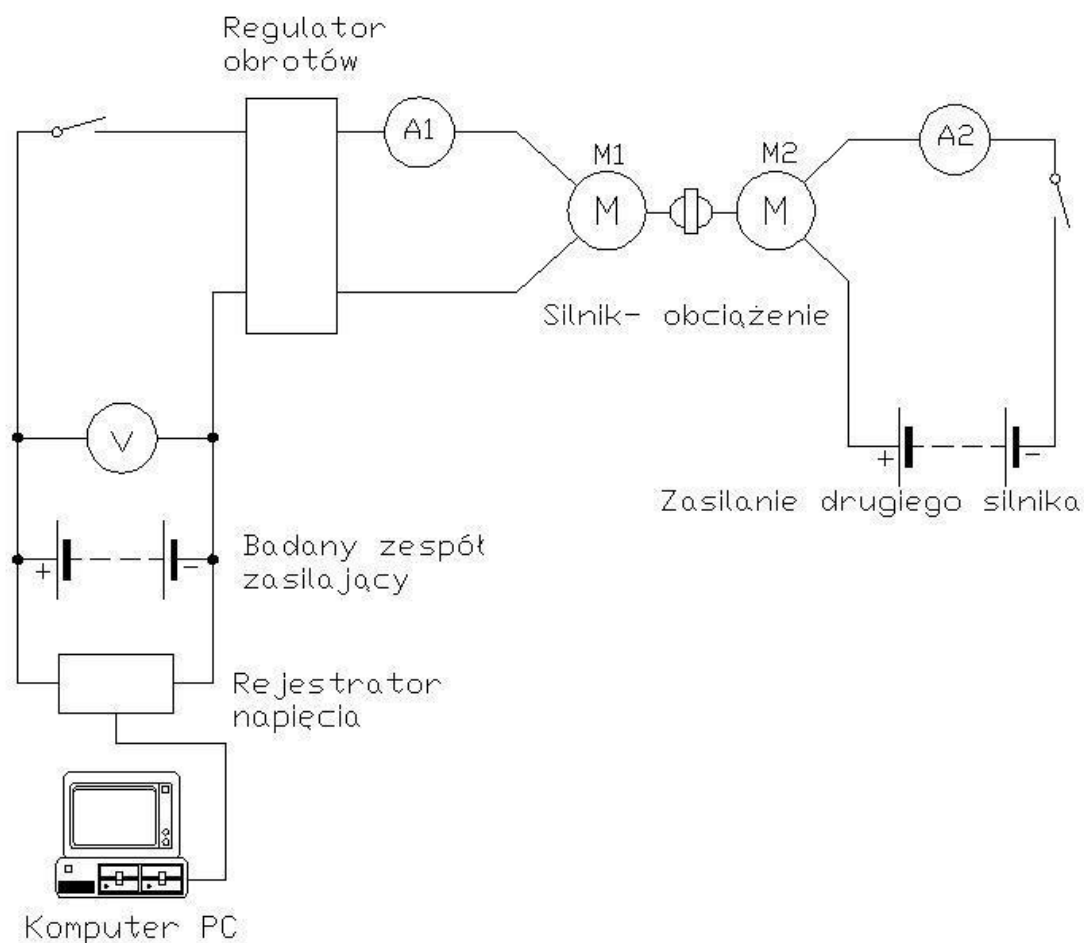
Rysunek 2. Stanowisko do rozładowania akumulatorów

Stanowisko składa się z:

- badanego zespołu zasilającego,
- rejestratora napięcia, który umożliwia rejestrację prądu, napięcia i temperatury akumulatora,
- silnika.

2.2 Stanowisko do badania odzysku energii

Na potrzeby prac badawczych zostanie przygotowane stanowisko testowe z dwoma silnikami: napędowym oraz hamującym. Podczas procesu hamowania do akumulatora z silnika napędowego popłynie prąd - zostanie zwrócona energia. Schemat stanowiska przedstawia Rys.3.



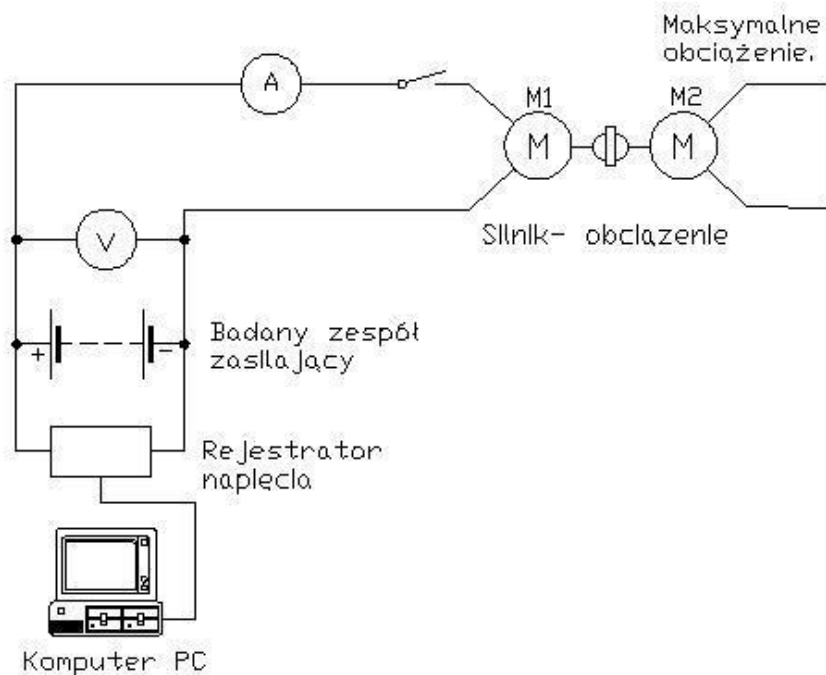
Rysunek 3. Stanowisko do badania odzysku energii

Stanowisko składa się z:

- badanego zespołu zasilającego,
- rejestratora napięcia,
- regulatora obrotów,
- silnika,
- zasilania drugiego silnika.

2.3 Stanowisko do badania wpływu obciążenia

Zbudowane stanowisko zostało oparte o skrajne akceptowalne wartości, wpływające na pojemność, trwałość oraz temperaturę pracy. Schemat stanowiska przedstawia Rys.4.



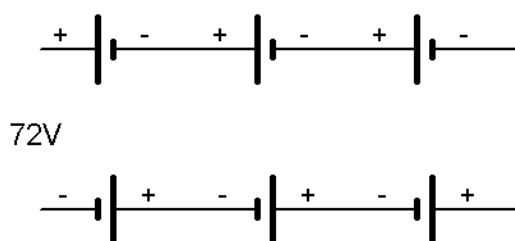
Rysunek 4. Stanowisko do badania wpływu obciążenia.

Stanowisko składa się z:

- badanego zespołu zasilającego,
- rejestratora napięcia,
- silnika.

2.4 Stanowisko do badania sposobów mechanicznego łączenia akumulatorów

Zestaw zasilający będzie składał się z sześciu szeregowo połączonych akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym. Połączenie zostanie dobrane na podstawie wcześniej opracowanego optymalnego sposobu połączenia pod względem mechanicznym. Akumulatory można łączyć ze sobą szeregowo w celu uzyskania większego napięcia, bez zmiany pojemności. Łączenie szeregowo zwyczajowo nazywane jest baterią ogni (przedstawione na rys.5) polega na scalaniu zestawu akumulatorów w taki sposób, że biegun dodatni(+) pierwszego akumulatora łączy się z biegunem ujemnym(-) drugiego. Następnie biegun dodatni(+) drugiego łączy się z biegunem ujemnym(-) trzeciego i podobnie z kolejnymi. Po podłączeniu wszystkich akumulatorów do zestawu, na dwóch skrajnych biegunach utworzonego w taki sposób pakietu otrzymano napięcie wynikowe.



Rysunek 5. Połączenie szeregowo akumulatorów ołowiowych

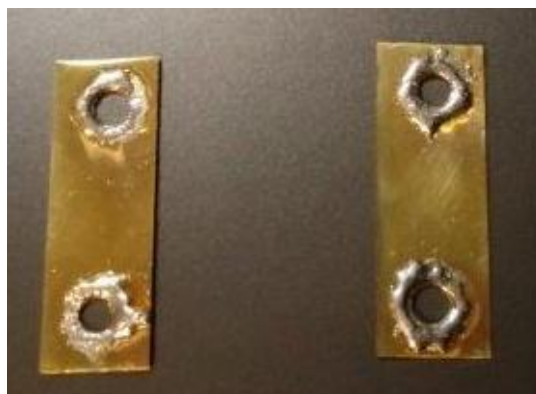
Badania pod kątem sposobu łączenia zestawu akumulatorów wykonane zostanie na wyznaczonej przestrzeni na stole laboratoryjnym na kilka sposobów m.in:

1. Poprzez lutowanie zacisków akumulatora do elementów łączeniowych biegunów,
2. Poprzez mocowanie zaciskami sprężystymi poszczególnych konektorów,
3. Poprzez łączenie za pomocą klem do akumulatorów (zaciski powszechnie stosowane do łączenia np. w motoryzacji).

2.4.1 Lutowanie ołowiem

Lutowanie polega na łączeniu jedno lub różnorodnych materiałów metalicznych, ale również niektórych niemetalicznych za pomocą roztopionego metalu dodatkowego, zwanego lutem (np. mostki na zdj.1). Stworzenie takiego złącza polega na wprowadzeniu do szczeliny spoiwa w postaci lutu temperaturze niższej topnienia niż temperatura topnienia łączonych metali, nagrzewaniu złącza i wypełnieniu szczeliny roztopionym lutem. Lutowanie dzieli się na etapy:

1. oczyszczenie oraz ukształtowanie powierzchni łączonych,
2. nagrzanie powierzchni łączonych do temperatury bliskiej temperaturze topnienia lutu,
3. nałożenie topnika,
4. roztopienie lutu i umieszczenie go między łączone powierzchnie,
5. wzajemna dyfuzja łączonych metali i ciekłego lutu,
6. chłodzenie i krzepnięcie lutownicy.



Zdjęcie 1. Mostki do łączenia akumulatorów poprzez lutowanie zacisków

2.4.2 Łączenie za pomocą klem do akumulatorów (zaciski powszechnie stosowane do łączenia np. w motoryzacji)

Na podstawie przeprowadzenia wielokrotnych prób i testów wybrano najbardziej optymalny sposób połączenia akumulatorów przez zaciski mechaniczne (Zdjęcie 2.). Podczas przepływu prądu stwierdzono jedynie niewielki wzrost temperatury w okolicach konektorów. Tego typu połączenie zapewnia długotrwałą pracę zestawu akumulatorów w pojeździe.



Zdjęcie 2. Zaciski mechaniczne (klemy)

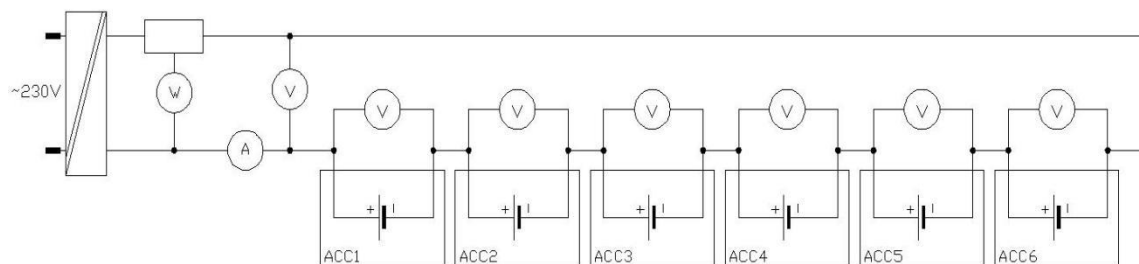
2.4.3 Mocowanie zaciskami sprężystymi poszczególnych konektorów

Kolejnym sposobem połączenia akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym w zespół zasilający jest wykorzystanie zacisków sprężystych (Zdjęcie 3). Skuteczność tej metody jest tymczasowa, wykorzystywana jedynie w awaryjnych sytuacjach. Stosowane w charakterze ciągłym nie spełniają określonych rezultatów. Z uwagi na małą powierzchnię styku zacisku oraz konektora akumulatora występuje stosunkowo wysoka oporność i niska zdolność do przenoszenia dużych prądów. Wpływa to na wzrost temperatury w miejscu styku, pomimo posiadania dużego przekroju przewodów łączeniowych przedstawiony sposób połączenia będzie prowadził do wzrostu temperatury układu zasilającego. Wadą zacisków sprężystych są również znaczne gabaryty.



Zdjęcie 3. Zaciski sprężyste do łączenia akumulatorów ołowiowych

2.5 Stanowisko do pomiaru parametrów elektrycznych zestawów zasilających zbudowane do akumulatorów ołowiowych



Rysunek 6. Stanowisko do pomiaru parametrów elektrycznych

Stanowisko składa się z:

- badanego zespołu zasilającego,
- ładowarki,
- miernika (moc [W], energia [Wh], temperatura [°C]).

3 Przedmiot badań

Efektywna diagnostyka pakietów ogniw akumulatorowych jest wymagana, aby mogły one funkcjonować, jako niezawodne i stabilne źródła energii elektrycznej jak najdłużej, charakteryzując się przy tym dużą sprawnością energetyczną oraz wysokim poziomem bezpieczeństwa. Zwykle realizuje się ją wykorzystując specjalizowane układy elektroniczne określane skrótem BMS.

Przedmiotem prac badawczo-rozwojowych jest stworzenie pięciu prototypów innowacyjnego i nowatorskiego systemu nadzorującego pracę baterii akumulatorów (BMS - Battery Management System) przystosowanego do pięciu typów ogniw popularnych na rynku, stosowanych w pojazdach elektrycznych:

- ołowiowy z ciekłym elektrolitem,
- ołowiowy z elektrolitem żelowym,
- litowo-jonowy,
- litowo-żelazowo-fosforanowy,
- grafenowo-litowo-polimerowy.

Planowane prace badawczo-rozwojowe można określić wyzwaniem technologicznym, gdyż dotyczą wykorzystania optymalizacji maksymalnych parametrów zestawów akumulatorów. W obszarze optymalizacji procesu będą poszukiwane rozwiązania prowadzące do zwiększenia zdolności magazynowania energii, zwiększenia żywotności, pojemności akumulatorów oraz skrócenia czasu ich ładowania. Opracowane w ramach projektu systemy BMS, wykorzystujące zaawansowane algorytmy sterujące pozwolą na osiągnięcie następujących cech/funkcjonalności w kontekście obecnych parametrów akumulatorów:

- większa zdolność do magazynowania energii (10-15%),
- wydłużenie czasu żywotności (10-60%),
- zwiększenie zdolności do magazynowania energii (10-15%),
- wydłużenie czasu ich użytkowania (20-50%),
- skrócenie czasu ładowania (10-20%).

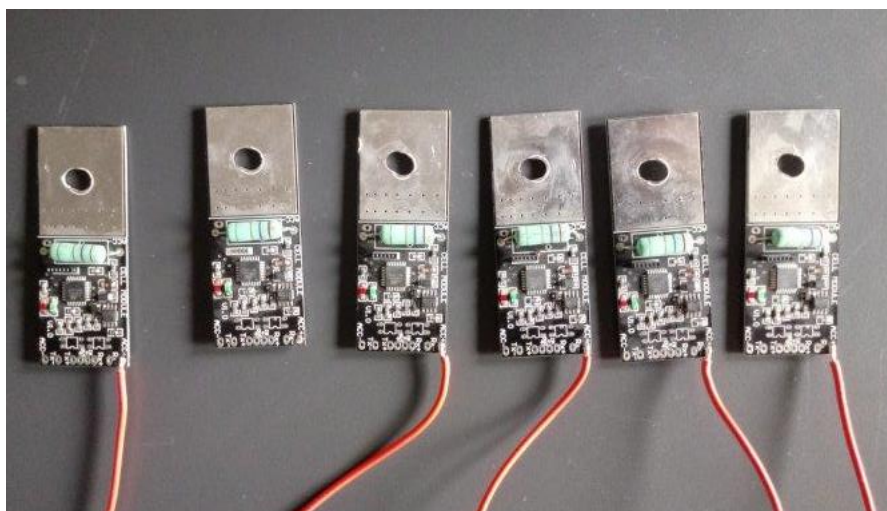


Główne zadanie polega na opracowaniu projektu technicznego i stworzeniu pięciu prototypów instalacji laboratoryjnej - zespołów zasilających. Wdrożenie nowatorskich systemów nadzorujących pracę baterii akumulatorowych będzie miało na celu rozwiązanie przedstawionych wcześniej problemów technologicznych w obszarze optymalizacji procesu oraz przyczyni się do wydłużenia użytkownika akumulatora. Zmieniając algorytmy (proces działania BMS) w celu uzyskanie coraz lepszych parametrów. Tym procesem zbadamy czy nastąpi poprawa wyników.

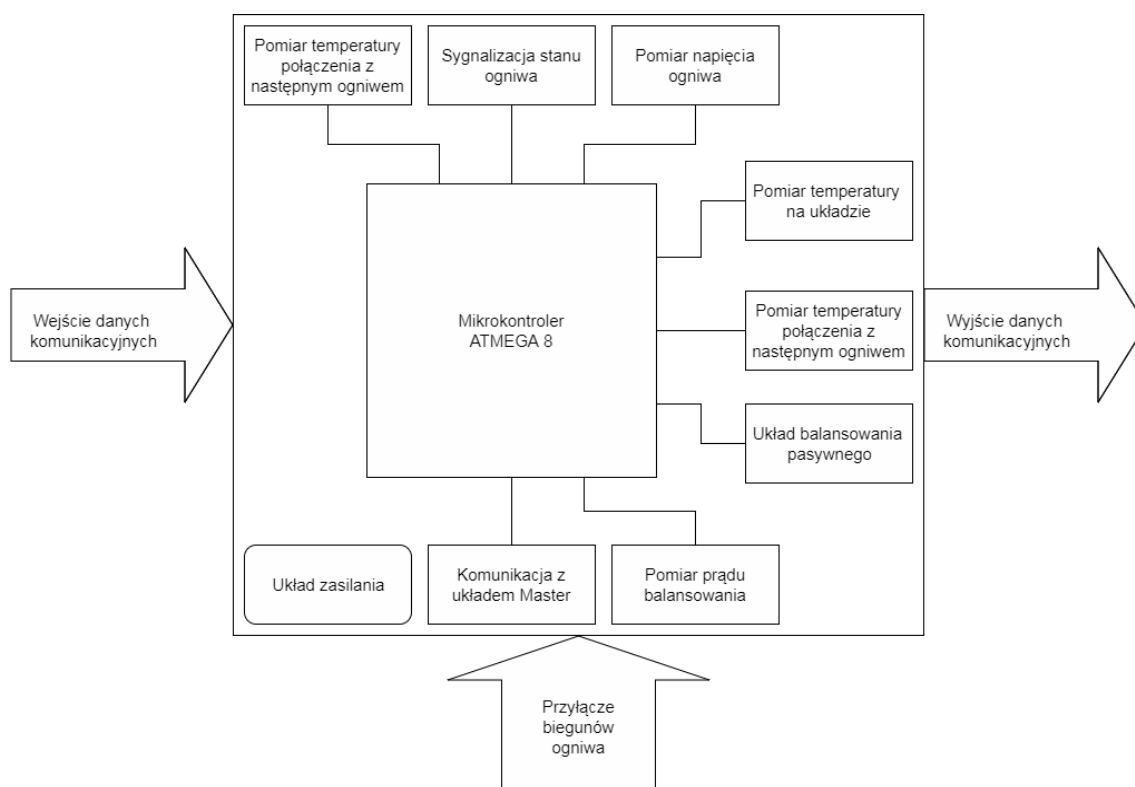
Proces równoważenia pakietu ogniw, opiera się na zrównaniu poziomu naładowania wszystkich ogniw w pakiecie, co dokonuje się za pośrednictwem specjalnie zaprojektowanego obwodu. W tym zakresie wyróżniono dwa rozwiązania tj. konfigurację ze zrównoważeniem aktywnym bądź pasywnym. W badaniach zastosowano pasywny system nadzoru. W tym wariancie wartości napięć poszczególnych ogniw są monitorowane za pomocą przetwornika A/C, na którego wejście kolejno poprzez multiplekser, załączone są poszczególne ogniwa. Jeśli wartość napięcia któregoś z nich w znacznym stopniu przekroczy napięcie pozostałych, odpowiedni klucz S zostaje zamknięty. Generuje to rozładowanie ogniwa przez najważniejszy element obwodu równoważenia pasywnego - rezystor połączony równolegle z każdym ogniwem. Utrzymuje się do momentu, w którym napięcie ogniwa przeładowanego zrówna się z wartością napięcia pozostałych ogniw. Wtedy ładowanie pakietu jest dalej kontynuowane. Wartości napięć pozostałych ogniw są stale kontrolowane.

3.1 System zarządzania baterią (BMS - Battery Management System)

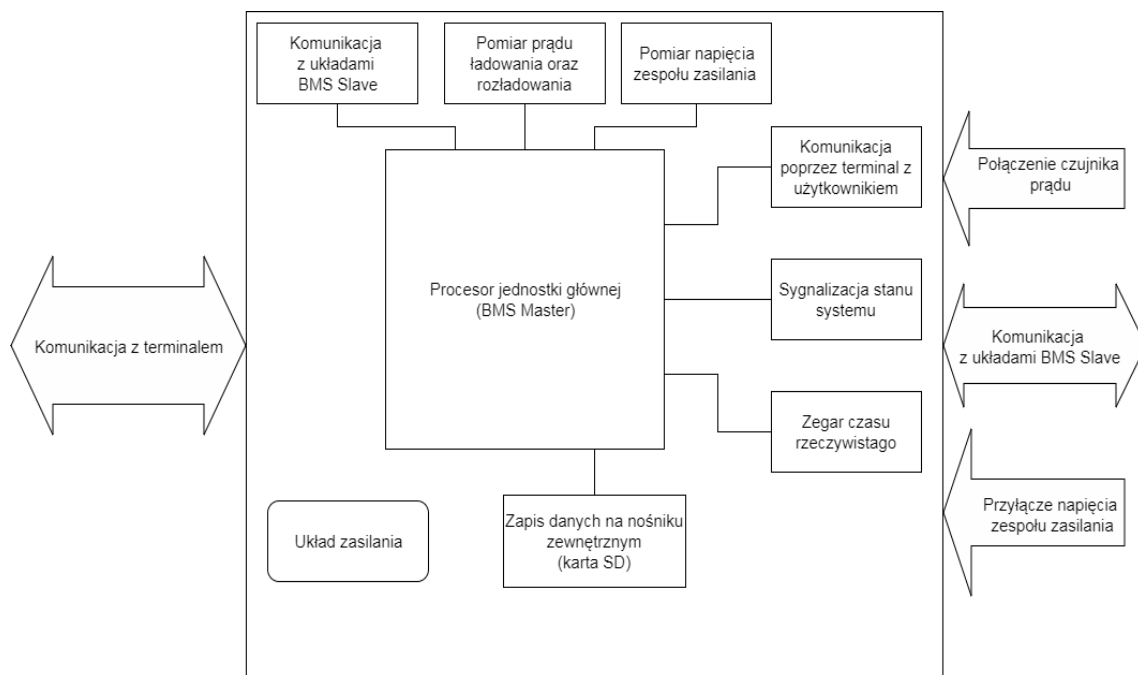
System BMS jest kluczowym komponentem dla poprawnego i optymalnego działania akumulatorów wieloogniowych. Poprzez pomiary oraz kontrolę głównych parametrów akumulatorów, monitoruje on ich stan, zapewniając tym samym bezpieczeństwo. Podstawową funkcją BMS jest monitorowanie i kontrola ogniów przed działaniem w niesprzyjających warunkach. Szczególne zapotrzebowanie na tego typu urządzenia występuje w branży samochodowej z powodu trudnych warunków pracy. BMS został stworzony w celu poprawy jakości użytkowania baterii pod względem mocy, energii, temperatury pracy, cyklu życia baterii. Funkcja stałego monitorowania pojedynczych ogniów sprawia, że są one chronione przed uszkodzeniami, spowodowanymi na przykład przeładowaniem lub niedoładowaniem, tak aby ich żywotność nie została skrócona. System zarządzania baterią zapewnia optymalny algorytm ładowania, co umożliwi pozostanie wszystkich ogniów na pożądanym poziomie. Zadaniem systemu zarządzania akumulatorami jest zminimalizowanie negatywnego wpływu na żywotność i wytrzymałość baterii. Celem opracowywanej innowacji jest rozwiązanie w sterowaniu instalacjami laboratoryjnymi (zestawami składającymi się z pakietów ogniów) różnego typu, aby charakteryzowały się one dużo większą zdolnością magazynowania energii, dłuższą żywotnością, zwiększoną pojemnością akumulatorów, wydłużeniem czasu użytkowania zestawów oraz skróceniem czasu ładowania, przy wykorzystaniu ładowarek o takiej samej mocy jak obecnie stosowane - poprzez zastosowanie opracowanych w ramach projektu algorytmach opartych o sieci neuronowe, stanowiących główne wyzwanie technologiczne prowadzonych prac badawczo-rozwojowych. Uzyskane w wyniku realizacji parametry sprawiają, że proces użytkowania zestawów zasilających będzie bardziej efektywny energetycznie, ekonomicznie oraz będzie bardziej ekologiczny w stosunku do obecnych rozwiązań dostępnych na rynku. Monitorowanie parametrów zespołów zasilających odbywać się będzie poprzez specjalnie przygotowaną aplikację. Zgodnie z parametrami akumulatorów dokonano wyboru stworzenia dwóch typów układów PCB dla jednostek Slave (rys.7) odpowiednio dla akumulatorów ołowiowych oraz akumulatorów litowo-jonowych, litowo-żelazowo-fosforanowych i grafenowo-litowo-polimerowych. Dla wszystkich typów akumulatorów wykonany zostanie jeden typ układu PCB dla jednostki Master (rys.8). Pięć typów systemów BMS uzyskane zostanie poprzez zastosowanie pięciu typów oprogramowania dla jednostki Master oraz Slave. Przygotowany układ podrzędny BMS Slave przedstawia zdjęcie 4.



Zdjęcie 4. Jednostka podrzędna BMS Slave



Rysunek 7. Schemat jednostki podrzędnej BMS Slave



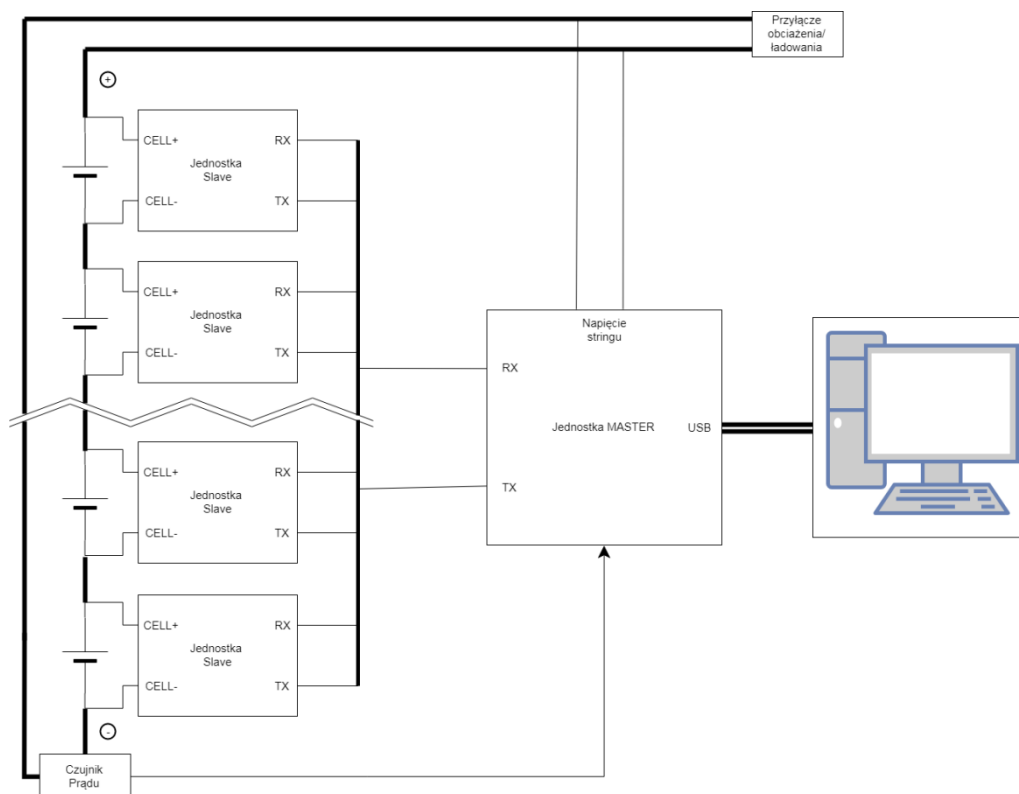
Rysunek 8. Schemat jednostki głównej układu BMS

Pełny system BMS zbudowany jest z:

- jednostki Master BMS,
- jednostki Slave BMS (typ i ilość zależne od stosowanego zestawu zasilania),
- czujnika prądu.

Budowa systemu zarządzania energią została przedstawiona na rysunku 9.

Podczas prac badawczo-pomiarowych niezbędnym elementem funkcjonowania jest komputer PC połączony z jednostką Master za pomocą przewodu USB.

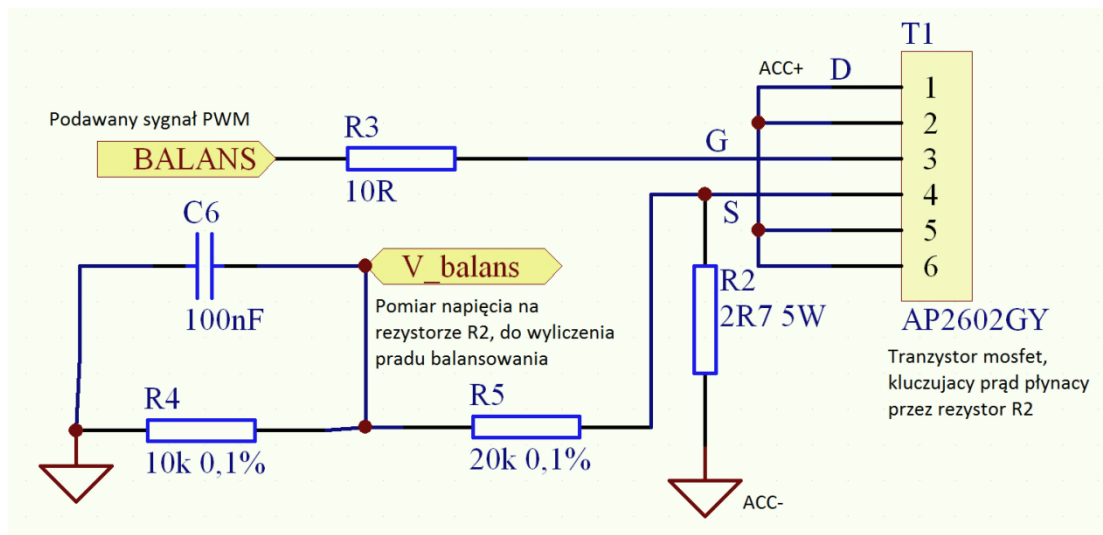


Rysunek 9. Schemat połączeń BMS

3.1.1 Balansowanie ogniw

Potrzeba balansowania ogniw wynika z różnic pomiędzy pojedynczymi ogniwami pod względem poziomu rozładowania, pojemności i oporności, co może prowadzić do różnego poziomu naładowania. W przypadku, gdy wszystkie ogniwa mają tę samą pojemność są one zbalansowane, kiedy mają ten sam poziom naładowania. W niektórych sytuacjach napięcie jałowe jest dobrym wskaźnikiem stanu naładowania i akumulatory są zbalansowane, jeśli wszystkie akumulatory mają zbliżone napięcie. W przypadku gdy, jedno lub więcej ogniw jest niedopasowanych wtedy także i cały akumulator jest niezbalansowany i pogorszona jest zdolność magazynowania energii. Zmniejszona całkowita pojemność akumulatora jest uwarunkowana pojemnością najsłabszego ogniwa. W czasie ładowania niezbalansowanego akumulatora jedno lub więcej ogniw jest w stanie osiągnąć maksymalny poziom naładowania przed innym. Balansowanie wykonane jest poprzez moduł kontrolny zamontowany na pojedynczym ogniwie. Na „pokładzie” modułu kontrolnego zamieszczony jest rezystor $2,7\Omega$ 5W (maksymalny prąd balansowania to 1,2A). Balansowanie przedstawione na rys.10 zostanie przeprowadzone w dwóch fazach. Pierwszej przy włączonym

ładowaniu z ograniczonym prądem balansowania, a w drugim przy wyłączonym do uzyskania założonej wartości napięcia.



Rysunek 10. Obwód pasywnego balansowania ogniw

3.1.2 Funkcje systemu BMS

Efektywny monitoring i sterowanie procesami gromadzenia energii w zestawach ogniw baterii ma na celu optymalizację pracy ogniw, zapewnienie dłuższej niezawodności i stabilności, a także wysokiej sprawności działania i poziomu bezpieczeństwa. Do realizacji tych zadań stosuje się specjalizowane układy elektroniczne, określane skrótem BMS (Battery Management System).

W praktyce system BMS może zapobiec uszkodzeniu akumulatora w wyniku przegrzania, przeładowania lub niedoładowania. System może także pełnić funkcję miernika poziomu naładowania baterii, kontrolować zgodność jej charakterystyki z wymaganiami odbiornika oraz optymalizować przebieg procesu ładowania ogniw. Opracowany system nadzoru pracy baterii BMS przeznaczony do pojazdów z napędem elektrycznym, czyli system BMS przeznaczony dla pakietów składających się z większej liczby ogniw. Tworzone systemy BMS są projektowane i konstruowane pod kątem określonych wymagań oraz w celu realizacji zaawansowanych funkcji ochronnych i kontrolnych.

Działanie systemu BMS polega na ciągłym pomiarze wartości napięcia każdego z zastosowanych ogniw oraz doładowywania najsłabszego z nich w celu uzyskania wymaganej wartości. System kontroli służy przede wszystkim do:

- zabezpieczenia akumulatorów przed uszkodzeniem,
- wydłużenie żywotności ogniw w baterii,
- utrzymania pożądanego stanu naładowania,
- współdziałanie z oprogramowaniem zewnętrznym.

System BMS przeznaczony dla pojazdów z napędem elektrycznym będzie zamontowany na każdym akumulatorze. W skład jednostki podrzędnej BMS Slave wchodzi:

- mikrokontroler ATMEGA 8,
- układ zasilania,
- komunikacja z układem Master,
- pomiar prądu balansowania,
- układ balansowania pasywnego,
- pomiar temperatury połączenia z następnym ogniwem,
- pomiar temperatury na układzie,
- pomiar napięcia ogniwa,
- sygnalizacja stanu ogniwa,
- wejście danych komunikacyjnych,
- wyjście danych komunikacyjnych,
- przyłącze biegunów ogniwa.

Jednostka główna układu BMS Master zbudowana jest z następujących elementów:

- procesor jednostki głównej BMS Master,
- układ zasilania,
- zapis danych na nośniku zewnętrznym (karta SD),
- zegar czasu rzeczywistego,
- sygnalizacja stanu systemu,
- komunikacja poprzez terminal z użytkownikiem,
- pomiar napięcia zespołu zasilania,

- pomiar prądu ładowania oraz rozładowania,
- komunikacja z układami BMS Slave,
- komunikacja z terminalem,
- połączenie czujnika prądu,
- przyłącze napięcia zespołu zasilania.

3.1.2.1 Funkcja balansowania ogniw podczas procesu ładowania

Wartość napięcia poszczególnych akumulatorów będzie kontrolowana za pomocą mikrokontrolera i przetwornika ADC. W przypadku, gdy napięcie na określonym ogniwie będzie niższe od wartości napięcia na pozostałych ogniwach lub będzie niższe od napięcia znamionowego, zostanie do niego podłączona ładowarka. Proces doładowania ogniwa będzie trwał do chwili zrównania się napięcia z napięciami pozostałych akumulatorów.

System nadzoru pracy baterii zostanie wyposażony w mikrokontroler, który kontroluje poprawność działania i sterowania całego systemu BMS. W przypadku wykrycia nieprawidłowości jego pracy odłączy pakiet akumulatorów od urządzenia. W ten sposób zapobiegnie ewentualnym awariom związanym z nieprawidłowym działaniem mikrokontrolera sterującego.

3.1.2.2 Funkcja zabezpieczająca

Przekroczenie dopuszczalnych wartości napięcia na ogniwach będzie zasygnalizowane poprzez wysłanie ostrzeżenia systemu BMS do urządzenia zasilającego i odłączyć cały pakiet. W ten sposób akumulator jest zabezpieczony przed uszkodzeniem (przeładowanie, przegrzanie, niedoładowanie).

3.1.2.3 Komunikacja

System nadzoru BMS będzie odpowiedzialny za przekazywanie informacji o parametrach technicznych akumulatorów tj.: pojemność (poziom energii), napięcie, temperatura, pobór prądu lub przekazywanie ostrzeżenia za pośrednictwem komunikacji szeregowej.

3.2 Akumulatory ołowiowe (kwasowe)

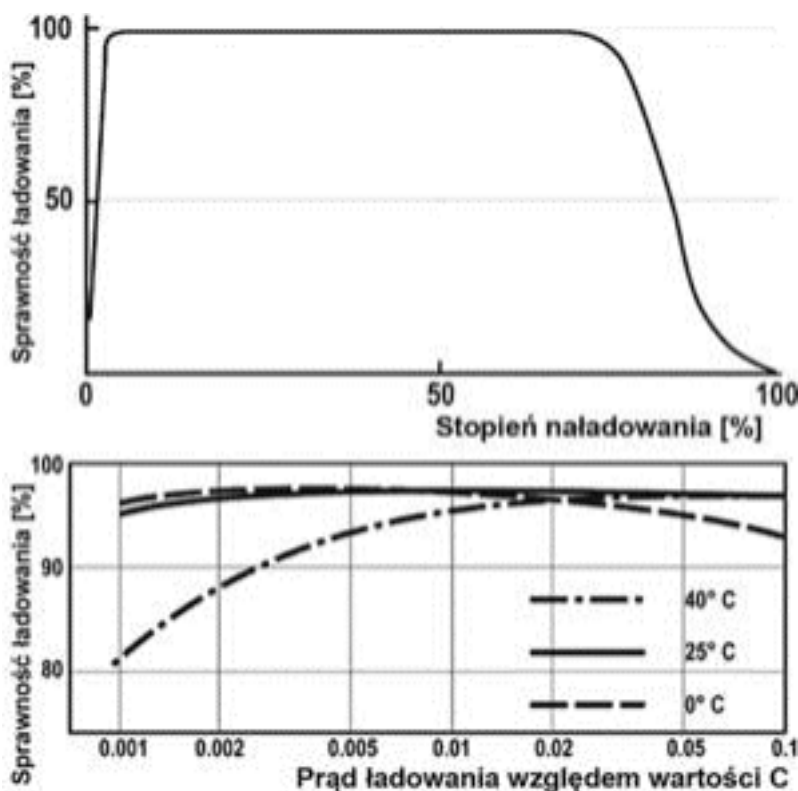


W tego typu ogniwach podstawą magazynowania energii jest odwracalna zamiana metalicznego ołowiu i tlenku ołowiu w siarczan ołowiu ($PbSO_4$), co zachodzi przy udziale elektrolitu, którym jest dość mocny, bo 37-procentowy roztwór kwasu siarkowego (H_2SO_4). Najprościej mówiąc, w naładowanym w pełni akumulatorze elektrolit - kwas siarkowy ma maksymalną gęstość. W trakcie rozładowania akumulatora tworzy się siarczan ołowiu i stężenie kwasu w elektrolicie maleje. W całkowicie rozładowanym akumulatorze stężenie kwasu jest zerowe, a elektrolitem jest woda (destylowana).

Nominalne napięcie jednego ogniwa kwasowo - ołowiowego wynosi 2 V. Akumulatory 6-woltowe składają się z trzech ogniw, nazywanych celami (ang. cell), a 12-woltowe - z 6 ogniw (ściślej biorąc, napięcie nominalne wynosi 2,1 V, stąd wzięło o się napięcie żarzenia 6,3 V lamp elektronowych, żarzonych często z pomocą akumulatorów). Działanie w tego typu ogniwach bazuje na redukcji elektrody ołowianej, utlenionej wcześniej w trakcie ładowania. Akumulatory te są nadal popularne, ze względu na ich niski koszt produkcji, ale bardzo ciężkie w przeliczeniu na ilość gromadzonej energii (30...40Wh/kg). Używane są najczęściej w napędach elektrycznych wózków widłowych, wózków golfowych, skuterów elektrycznych itp. W takich zastosowaniach pracują cyklicznie: na przemian są ładowane i rozładowywane. Akumulatory ołowiowe znajdują szerokie zastosowanie w urządzeniach bezprzerwowego zasilania, począwszy od małych domowych zasilaczy UPS do potężnych systemów w serwerowniach.

W takich zastosowaniach akumulatory kwasowo-ołowiowe pracują w tak zwanym trybie buforowym: są na stałe podłączone do ładowarki, która utrzymuje na akumulatorze "napięcie buforowe" i jest on stale gotowy do oddania energii w przypadku zaniku napięcia w sieci energetycznej. W pokrewny sposób akumulatory kwasowe pracują w samochodach. Podczas pracy

silnika regulator alternatora utrzymuje na akumulatorze określone napięcie (14,4 V), zapewniając, że jest on w pełni naładowany.



Rysunek 11. Zależność sprawności ładowania od stopnia naładowania (góra) oraz prądu ładowania (dół)

Rysunek 11 przedstawia zależność pomiędzy sprawnością ładowania ogniwa od ładowania prądu oraz stopnia naładowania. Z dolnej części wykresu wynika, że w typowych warunkach sprawność ładowania przekracza 95%, czyli prawie cała rozładowana energia zostaje zmagazynowana, a na ciepło zamienia się tylko kilka procent dostarczonej energii. Ważniejsze i niepokojące dane niesie górna część rysunku. Mianowicie sprawność spada, gdy akumulator dochodzi do stanu całkowitego naładowania. W zasadzie to oczywiste, że gdy reakcji ulegnie cała masa czynna akumulatora nie ma już czego ładować, a gdy prąd dalej płynie i dostarczana jest energia, to nie może ona być wykorzystana i po części zamienia się na ciepło, a po części powoduje elektrolizę wody, czyli gazowanie.

Na podstawie algorytmu pracy systemu ustalono bezpieczną granicę utrzymywania napięcia rozładowania dla akumulatora ołowiowego z ciekłym elektrolitem, która nie powinna być mniejsza niż 10,8V. Natomiast napięcie w trakcie ładowania dla tego ogniwa nie powinno przekraczać 14,5V.

Do zalet „standardowych” akumulatorów należy zaliczyć stosunkowo niską cenę i wysoką wartość prądu rozruchowego. Należy jednak pamiętać, że utrzymywanie stanu całkowitego, lub częściowego rozładowania takiego akumulatora w dłuższym czasie prowadzi do zakwaszenia, co nieodwracalnie obniża parametry i znacząco zmniejsza trwałość.

Natomiast do typowych wad akumulatora kwasowo-ołowiowego z elektrolitem ciekłym należy ryzyko wspomnianego zakwaszenia poprzez częste głębokie rozładowania, oraz konieczność regularnego kontrolowania poziomu elektrolitu. Dłuższe użytkowanie akumulatora z jego niedoborem prowadzi do skrócenia jego żywotności.

3.3 Akumulatory ołowiowe z elektrolitem żelowym



Istnieje duże zapotrzebowanie na akumulatory bezpieczne w eksploatacji, które są całkowicie szczelne, nie istnieje ryzyko wycieku żrącego gazu. Zatem stworzono akumulatory nazywane VRLA (valve-regulated lead-acid battery) czasem określane, jako SLA (sealed lead-acid). Znane są dwa typy akumulatorów VRLA, AGM (Absorbed Glass Matt) oraz rzadziej spotykane żelowe (GEL). W akumulatorach AGM w celach między płytami umieszczona jest wata (mata) szklana, w której uwięziony jest żrący elektrolit. Natomiast w akumulatorach żelowych, elektrolit ma postać żelu, dzięki dodatkowi krzemionki. Pozwala to na zwiększenie odporności akumulatora na uszkodzenia mechaniczne oraz usprawnia proces ładowania. W celu poprawienia parametrów elektrycznych, do ich elektrod dodaje się domieszki np. antymonu lub wapnia lub zmienia się pojemność elektryczną jednej z elektrod.

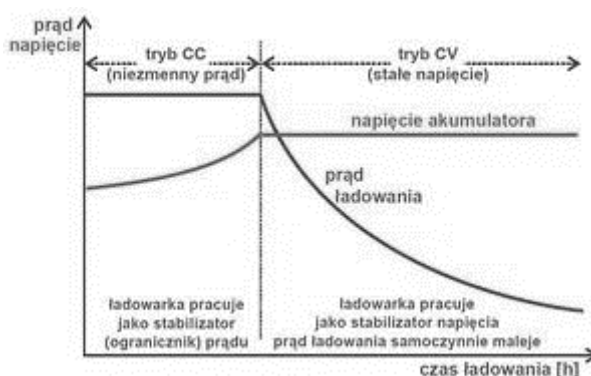
Największą zaletą akumulatorów AGM i żelowych to szczelność i bezobsługowość, jednak wymagają one starannie dobranych warunków ładowania. Mają zawory, jednak działają one tylko w przypadku awarii, gdy nastąpi przeładowanie i silne gazowanie.

Niezbędna jest wiedza, że nawet jednokrotne silne przeładowanie jest zawsze bardzo szkodliwe i może bezpowrotnie zmniejszyć pojemność akumulatora. W przypadku klasycznych, otwartych akumulatorów gazowanie było dopuszczalne, jednak nie należy dopuścić do gazowania w akumulatorach AGM i żelowych.

Warto dodać, że w wyniku użytkowania elektrody mogą zacząć się kruszyć, czasami powodując nawet zwarcie wewnątrz ogniwa. Są wrażliwe na długoterminowe rozładowanie, ale są dosyć łatwe w ładowaniu. Prąd ładowania maleje ze wzrostem napięcia i przy całkowitym naładowaniu jest wielokrotnie mniejszy niż początkowy.

Część producentów zaleca ładowanie w trybie stałego prądu, a następnie od pewnego momentu – stałym napięciem, czyli ładowanie ogniw metodą CC-CV (constant current - constant voltage). Bezpieczna granica utrzymywania napięcia rozładowania dla akumulatora ołowiowego z elektrolitem żelowym nie powinna być mniejsza niż 10,8V. Z kolei napięcie podczas ładowania dla tego ogniwa nie powinno przekraczać 14,5V. Zaletą akumulatorów kwasowych jest zdolność odzwierciedlenia stanu naładowania przez napięcie. Zatem aby uniknąć przeładowania nie należy przekraczać określonego napięcia.

Prąd ładowania zawiera się zwykle w przedziale 0,1 C...0,3 C (w nielicznych do 0,4C), czyli liczbowo równy 10%...30% pojemności akumulatora (C), wyrażonej w amperogodzinach. Dla przykładu w akumulatorze o pojemności $C = 7Ah$, prąd 0,1C wynosi 0,7A, a prąd 0,4C to 2,8A.



Rysunek 12. Przebieg procesu ładowania CCCV w akumulatorach ołowiowych z elektrolitem ciekłym

Przebieg procedury ładowania w tym typie akumulatorów zwany CCCV został przedstawiony na rysunku 12. Przy mocno rozładowanym akumulatorze ładowarka pełni rolę źródła prądowego, który ogranicza maksymalny prąd do bezpiecznej wartości np. 0,3C. Gdy bateria osiągnie zadane napięcie, ładowanie trwa nadal przy stopniowo malejącej wartości prądu. Przeciwdziałanie gazowaniu jest możliwe dzięki niedopuszczeniu do nadmiernego wzrostu napięcia.

Podczas ładowania w trybie cyklicznym celowo podnosi się napięcie do poziomu 2,45V/ogniwo forsując tym samym szybszą regenerację ładunku. Jednak tak przyspieszone ładowanie wymaga ciągłego nadzoru i przerywania lub obniżania napięcia do poziomu „buforowego”, gdy prąd ładowania spadnie samoistnie poniżej zadanego progu (np. 0,02C).

Podsumowując w tym typie akumulatora elektrolit w postaci płynnej zastąpiony został specjalnym żelem powstałym z wymieszania kwasu siarkowego z krzemionką. Budzi to zainteresowanie wielu kierowców, którzy zastanawiają się nad zastosowaniem go w swoim samochodzie, jednak mimo wielu zalet, nie jest to polecane rozwiązanie chociaż istnieją wyjątki.

Akumulatory żelowe posiadają wiele zalet w stosunku do kwasowo-ołowiowych z płynnym elektrolitem. Po pierwsze mogą być ustawiane w dowolnym położeniu, są odporne na głębokie przechyły, a nawet na krótkotrwałą pracę w pozycji odwróconej. Kolejnym argumentem przemawiającym na korzyść akumulatorów żelowych jest elektrolit w formie żelu, który nie paruje, nie trzeba go uzupełniać i co istotne ryzyko wycieku jest bardzo niskie nawet w przypadku uszkodzenia mechanicznego. Po trzecie akumulatory żelowe są odporne na wibracje oraz wstrząsy. Wytrzymałość cykliczna jest o ok. 25% większa, niż w akumulatorach kwasowo-ołowiowych.

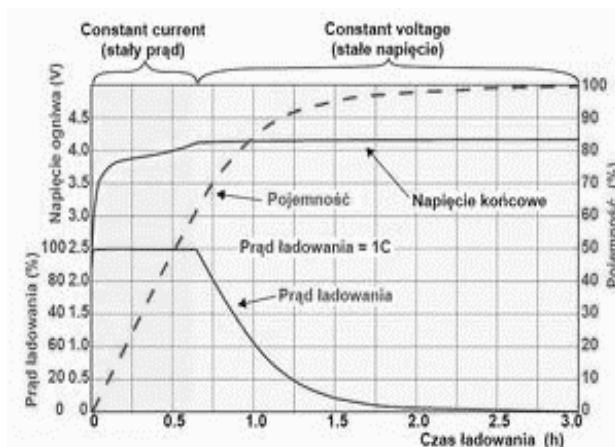
Natomiast główną wadą akumulatorów żelowych jest niska moc przy dostarczaniu wysokich prądów, zwłaszcza w niskich temperaturach. Przez to nie znajdują zastosowania w samochodach jako akumulatory rozruchowe.

3.4 Akumulatory litowo-jonowe



W akumulatorach litowo-jonowych jedna z elektrod jest wykonana z porowatego węgla a druga z tlenków metali, zaś rolę elektrolitu odgrywają złożone chemicznie sole litowe, rozpuszczone w mieszaninie organicznych rozpuszczalników. Główną cechą akumulatorów litowo-jonowych to ich największa gęstość energii, spośród wszystkich akumulatorów dostępnych na rynku. Nie występuje efekt pamięciowy, samorozładowanie jest niewielkie, trwałość jest duża (nawet ponad 1000 cykli pracy). Natomiast proces przeładowania, jak i nadmierne rozładowanie może być dla nich zabójczy. Akumulatory te są powszechnie stosowane w telefonach komórkowych, tabletach, laptopach, aparatach fotograficznych, a także w samochodach elektrycznych i hybrydowych.

Ogniwa litowo-jonowe charakteryzują się wysokim napięciem znamionowym, którego wartość wynosi 3,6V. W tym typie akumulatorów elektrody wykonane są z węgla (najczęściej grafitu) oraz tlenków metali, umieszczonych w elektrolicie z soli litowych. Istnieje potrzeba utrzymywania odpowiedniego minimalnego napięcia, najczęściej o wartości ok. 2,4 V. Przeważnie są one skonsolidowane z układami sterującymi, wspierającymi funkcję ładowarek. Procedura ładowania w ogniwach powinna rozpoczynać się ładowaniem stałym prądem i dalej stałym napięciem. Powinno się również unikać całkowitego naładowania oraz zupełnego rozładowania. Na podstawie algorytmu pracy systemu ustalono bezpieczną granicę utrzymywania napięcia rozładowania dla akumulatora litowo-jonowego, która nie powinna być mniejsza niż 2,7V. Natomiast napięcie w trakcie ładowania ogniw litowo-jonowych nie powinno przekraczać 4,1V.



Rysunek 13. Wykres ładowania akumulatora Li-ion standardową metodą CC-CV

Rysunek 13 przedstawia standardową metodę ładowania CC-CV, czyli pierwsze prądem o stałej wartości, a następnie przy stałej wartości napięcia prądem o (samoczynnie) malejącej wartości.

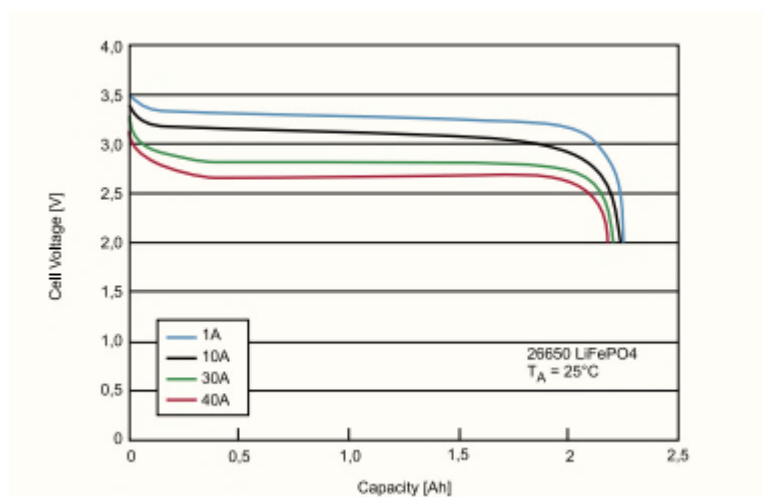
Prąd ładowania jest w tym przypadku duży (wynosi 1C, czyli liczbowo równa się pojemności akumulatora). Teoretycznie przy takim prądzie idealny akumulator powinien naładować się w pełni przez jedną godzinę. Przy takim prądzie napięcie akumulatora osiąga wartość 4,2 V już po około 0,66 godziny, czyli po około 40 minutach. Akumulator powoduje, że od tej chwili prąd ładowania sam zaczyna się zmniejszać.

Baterie litowo-jonowe są szczególnie wrażliwe na głębokie rozładowanie, jak i przeładowanie ogniwa, toteż układ kontrolujący pracę baterii musi umożliwiać dokładny pomiar napięcia każdego ogniwa w baterii oraz zabezpieczać przed zbyt głębokim rozładowaniem jak i przeładowaniem baterii. Mimo to, są powszechnie uważane za najlepsze, ponieważ w ogóle nie występuje w nich tzw. efekt pamięciowy. Akumulatory litowo-jonowe można doładowywać w dowolnym momencie ich rozładowania, Można przerywać ładowanie i kontynuować je później. W dodatku akumulatory litowo-jonowe mają największą gęstość energii. Oznacza to, że urządzenia przenośne będą pracować najdłużej na bateriach litowo-jonowych.

3.5 Akumulatory litowo-żelazowo-fosforanowe



Ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe są nowoczesną odmianą akumulatorów wywodzącą się z ogniw Li-Ion. W tym przypadku różnią się materiałem, z którego zbudowane są katody – w tym rozwiązaniu wykonane są z tlenku litowo-żelazowo-fosforanowego. Różnica w budowie polega na tym, że w zamiast typowych dla Li-Ion katod wykonanych z LiCoO_2 lub LiMn_2O_4 , są one wytwarzane z LiFePO_4 . Stabilność reakcji chemicznych oraz brak zagrożeń dla użytkownika przy fizycznym uszkodzeniu stawiają tę technologię jako najbezpieczniejszą ze wszystkich opisanych. Cechuje je również wysoka żywotność po 1000 cykli pracy. Zachowują 95% pojemności pierwotnej, a liczba cykli życia sięga od 2000 do 3000. Dodatkowo niepełne ładowanie nie powoduje utraty pojemności ogniw, co determinuje ich zastosowanie w wymagających warunkach. Osiągają niższą gęstość od standardowych ogniw litowo-jonowych wynoszącą od 100 do 150 Wh/kg. Baterie litowo-żelazowo-fosforanowe (LiFePO_4) charakteryzują się nieco mniejszym napięciem znamionowym (ok. 3,25 V), ale za to bardzo dużą gęstością mocy i dużą gęstością energii. Ich napięcie nie powinno jednak spadać poniżej 2 V, czego powinny pilnować odpowiednie układy sterujące.

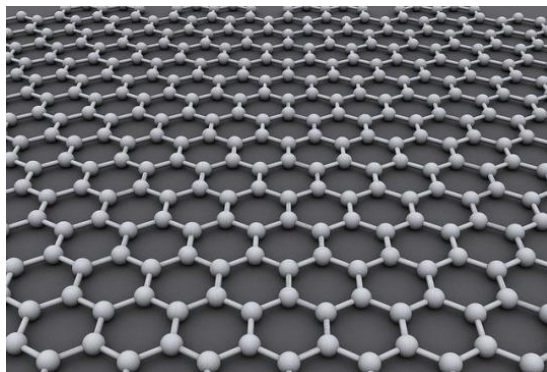


Rysunek 14. Wykres procesu rozładowania dla baterii LiFePo4.

Charakterystykę rozładowania ogniwa LiFePo4 pokazano na rysunku 14. Będąc w tematyce ładowania i rozładowania akumulatorów należy jeszcze pamiętać o zalecanych prądach, przedstawionych przez producentów w kartach katalogowych. Przedstawione są w jednostkach C, przy czym 1C oznacza prąd za pomocą, którego akumulator rozładuje się (lub naładuje) w ciągu jednej godziny. Przykładowo dla akumulatora o pojemności 1000 mAh 1C oznacza 1A. Dlatego charakterystyki dla baterii i akumulatorów podawane są najczęściej dla konkretnych prądów rozładowania. Natomiast zalecane prądy ładowania zawierają się zwykle w granicach od C/30 do C/10, choć coraz popularniejsze w ofercie są akumulatory, które da się bez problemów naładować w godzinę. Ogólna zasada mówi, że im mniejszy prąd ładowania, tym mniejsze zużycie akumulatora.

Na podstawie algorytmu pracy systemu ustalono bezpieczną granicę utrzymywania napięcia rozładowania dla akumulatora litowo-żelazowo-fosforanowego, która nie powinna być mniejsza niż 2,5V. Z kolei napięcie w trakcie ładowania dla tego ogniwa nie powinno przekraczać 3,65V.

3.6 Akumulatory grafenowo-litowo-polimerowe



Struktura grafenu zapewnia lepszą wydajność w stosunku do tradycyjnych akumulatorów. Struktura grafenu przypomina plaster miodu, która składa się z atomów węgla ciasno związanych ze sobą. Grafen ma strukturę tak ciekawą, że jest zasadniczo dwuwymiarowa i jest doskonałym przewodnikiem zarówno energii cieplnej jak i elektrycznej. Chemicznie grafen jest obojętny i ma dużą powierzchnię, natomiast pozostaje elastyczny oraz bardzo lekki. Grafen arkuszowy jest dwuwymiarowy, nie ma oddziaływań z innymi cząsteczkami, więc elektrony w grafenie zachowują się tak jakby nie miały masy. Mogą w przestrzeni poruszać się bardzo szybko, prawie z prędkością światła. Takie unikalne zachowanie sprawia, że grafen jest doskonałym przewodnikiem i jest w stanie przewodzić elektryczność prawie o 35% lepiej niż miedź. Transport elektronu przez grafen jest również 1000 razy lepszy niż poprzez krzem. Jeśli chodzi o zastosowanie bateryjne, wydajność zwykłych baterii może znacznie wzrosnąć w połączeniu z grafenem. Akumulatory grafenowe dobrze nadają się do krótszego czasu ładowania oraz do przechowywania energii o dużej pojemności. Grafen może poprawić różne właściwości akumulatorów takie jak: gęstość energii i struktura. Nowe osiągnięcia w zakresie akumulatorów grafenowych doprowadziły do powstania baterii, która przewyższa wydajność obecnie używanego akumulatora litowo-jonowego. W 2017 roku hiszpańska firma produkująca akumulatory zaprezentowała baterię grafenowo-polimerową, dzięki której pojazdy elektryczne mogą przejechać do 800 km na jednym ładowaniu. Teoretycznie akumulator można naładować w zaledwie kilka minut. Bateria zawierająca grafen jest w stanie ładować i rozładować około 33 razy szybciej niż zwykła bateria litowo-jonowa. Grafen to materiał, z którym naukowcy wiążą ogromne nadzieje. Akumulatory grafenowe są przyjazne dla środowiska i zrównoważone, a tym samym przyciągają uwagę.

Na podstawie algorytmu pracy systemu ustalono bezpieczną granicę utrzymywania napięcia rozładowania dla akumulatora grafenowo- litowo- polimerowego, która nie powinna być mniejsza niż 11V. W trakcie ładowania maksymalne napięcie bezpieczne dla tego ogniwa nie powinno przekraczać 16,4V.

4 Charakterystyka parametrów stosowanych w tematyce ogniw

Napięcie akumulatora- U[V]

Wyróżniamy napięcie znamionowe, napięcie wyładowania oraz napięcie ładowania akumulatora. Napięcie znamionowe definiuje się, jako napięcie ogniwa równe 2V tzn. wartość średnią napięcia, jaką ma akumulator w stanie jałowym. Dla przykładu bateria akumulatora złożona z 3 ogniw ma napięcie znamionowe 12V. Funkcjonowanie zmiennej rezystancji wewnętrznej akumulatora powoduje, że napięcie wyładowania U_w jest mniejsze od siły elektromotorycznej akumulatora o spadek napięcia na tej rezystancji, czyli:

$$U_w = E - R_w I_w$$

Gdzie, E- siła elektromotoryczna [V], R_w - rezystancja wewnętrzna [Ω], I_w - prąd ładowania [A]

Napięcie ładowania jest określone następująco: $U_{lad} = E + R_w I_t$

Gdzie, I_t - prąd ładowania [A].

Czas pracy akumulatora- h

Czas pracy w godzinach – h

Pojemność akumulatora - Q [Ah]

Napięcie akumulatora - U [V]

Przy ogniwach połączonych szeregowo napięcie można obliczyć ze wzoru:

$$V_p = V_0 * n$$

Gdzie V_p to napięcie pakietu, V_0 to napięcie ogniwa, które jest stałe i podane zostało wcześniej, a n to ilość ogniw w pakiecie. W ten sposób można obliczyć typowe, minimalne jak i maksymalne napięcie pakietu.

Moc pobierana przez urządzenie - P [W]

Współczynnik rozładowania akumulatora - 1,6

Zatem przybliżony czas pracy akumulatora można wyliczyć ze wzoru:

$$h = ((Ah * V) \div 1,6)$$

Pojemność elektryczna akumulatora- Q[Ah]

Pojemnością elektryczną nazwano wartość ładunku elektrycznego, jaką można z niego otrzymać przy jednokrotnym wyładowaniu, wyrażoną w Ah, równoważną iloczynowi prądu wyładowania oraz czasu trwania wyładowania do chwili osiągnięcia na dowolnym ogniwie akumulatora napięcia 1,75V. Wzór na pojemność wyrażono:

$$Q = I_w t_w$$

W teorii akumulator można wyładować dowolnym prądem, jednak zalecane są pewne ograniczenia ze względu na trwałość płyt i całego akumulatora. Wartość prądu rozładowania oznacza się, jako czas rozładowania. Jako prąd 20-godzinny I_{20} określa się taką wartość prądu wyładowania, przy której akumulator będzie dostarczać energię elektryczną przez 20 godzin, a jako prąd 5-godzinny I_5 - taki prąd powinien rozładować akumulator w czasie 5 godzin. Pojemność akumulatora zależy od wymiarów i liczby płyt w jednym ogniwie; gęstości i temperatury elektrolitu; sposobu rozładowania akumulatora. Liczba płyt w ogniwie i zawarta w nich masa czynna mają duży wpływ na pojemność akumulatora.

Pojemność znamionowa akumulatora - Q_n [Ah]

Jest to ilość ładunku elektrycznego wyrażona w Ah (amperogodzinach), jaką może oddać w pełni sprawny i naładowany akumulator do osiągnięcia normalnego stanu wyładowania tj. 1,75 V/ogniwo w czasie 20 godzin w temperaturze +25°C.

Pojemność znamionowa Q_n ze względu na zawarty w jej deficycie warunek czasu wyładowania (20 godzin) jest zamiennie zwana pojemnością dwudziestogodzinną (Q_{20}). Określenie to wraz z oznaczeniem, Q_{20} jest częściej stosowane niż „pojemność znamionowa”, gdyż użycie jego nie prowadzi do nieporozumień, jakie mogą wynikać z utożsamiania pojemności znamionowej z dawnym odpowiednikiem pojemności dziesięciogodzinnej (Q_{10}). Pojemność elektryczna znamionowa akumulatora jest zależna od liczby płyt w zestawach ogniowych i ich powierzchni. Pojemność elektryczna zmienia się zależnie od prądu wyładowania, temperatury i gęstości elektrolitu.

Rezystancja wewnętrzna - R_w [Ω]

Kolejną metodą służącą do oszacowania stanu naładowania akumulatora jest pomiar jego rezystancji wewnętrznej. W miarę upływu czasu dla ogniwa następuje utrata pojemności, wywołana wysychaniem elektrolitu lub zmianami chemicznymi w skutek zanieczyszczeń materiału elektrod i elektrolitu. Rezystancja ogniwa zależy od stężenia elektrolitu, temperatury i stanu elektrod. Rezystancja wewnętrzna ogniwa wzrasta wraz z jego wyładowaniem na skutek wymienionych wcześniej dwóch czynników. W celu uzyskania źródła napięcia o odpowiednich właściwościach stosuje się łączenie ogniw w baterie. Do wyznaczenia rezystancji wewnętrznej metodą techniczną przeprowadza się dwa pomiary: pomiar napięcia spoczynkowego U_0 oraz pomiar napięcia akumulatora obciążonego U_{obc} rezystorem o znanej wartości R_z .

Rezystancję wewnętrzną oblicza się według wzoru:

$$R_w = R_z * \left(\frac{U_0}{U_{obc}} - 1 \right)$$

Gdzie:

R_w – rezystancja wewnętrzna ogniwa

Rz – Rezystancja obciążenia

U_0 – napięcie nieobciążonego akumulatora

U_{obc} – napięcie akumulatora pod obciążeniem

Wydajność prądowa - I [A]

Odpowiednio dobrana wydajność prądowa akumulatora może pozwolić na obniżenie kosztów oraz bezpieczną pracę zasilanego urządzenia. Wraz ze wzrostem wydajności prądowej wzrasta jednak także cena. Z drugiej strony zbyt niska wydajność prądowa może skutkować uszkodzeniem akumulatora.

Wydajność prądową w najprostszy sposób obliczymy ze wzoru:

$$I_p = C_p * x$$

Gdzie I_p to maksymalna wydajność prądowa pakietu, C_p to pojemność pakietu, a „x” to liczba, która na pakiecie oznaczona jest literą C. Jeżeli pod C_p podstawimy pojemność w mAh, wynik otrzymamy w mA, jeżeli podstawimy pojemność w Ah, wynik otrzymamy w A.

Siła elektromotoryczna- ϵ [V]

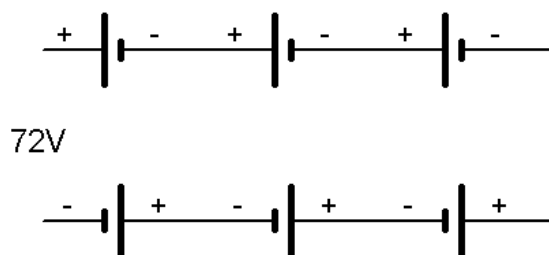
Siłę elektromotoryczną akumulatora definiuje się, jako różnicę potencjałów jego zacisków biegunowych przy otwartym obwodzie zewnętrznym. Wartość siły elektromotorycznej dla jednego ogniwa akumulatora wynosi około 2V i waha się w zależności od stanu akumulatora, temperatury i gęstości elektrolitu. Siła elektromotoryczna (napięcie w stanie jałowym) jest mierzona na zaciskach akumulatora nieobciążonego). Urządzenia, które wytwarzają różnicę potencjałów (napięcie) pomiędzy dwoma punktami (np. ogniwa, prądnica), nazywamy źródłami siły elektromotorycznej (SEM), którą zwyczajowo oznaczamy przez ϵ . Jeżeli mamy obwód to popłynie w nim prąd o natężeniu I od bieguna baterii o potencjale wyższym (+), przez opór zewnętrzny R do bieguna o potencjale niższym (-), a następnie wewnątrz baterii, od jej bieguna (-) do bieguna (+), przeciwnie do linii sił pola elektrycznego. Działanie źródła SEM jest podobne do działania pompy, która powoduje przepływ wody z niższego na wyższy poziom. Jednostką SEM jest oczywiście [V].

Siłę elektromotoryczną źródła ε definiujemy wzorem:

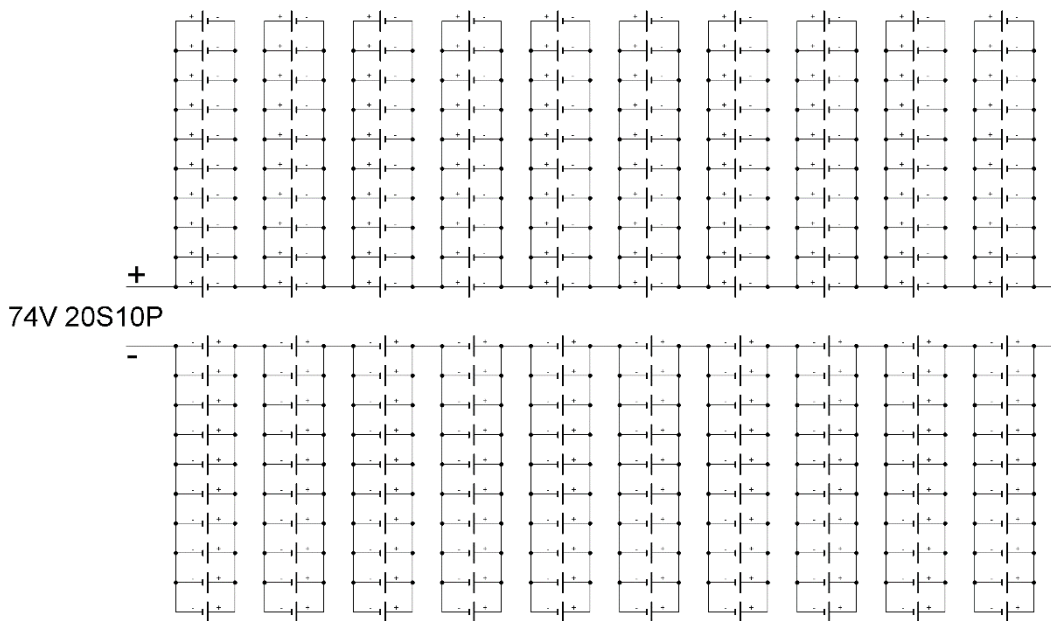
$$\varepsilon = \frac{W}{q}$$

Zatem można powiedzieć, że siła elektromotoryczna jest równa liczbowo pracy, jaką wykona źródło prądu przeciw siłom pola elektromagnetycznego, przenosząc ładunek q od bieguna o potencjale niższym do bieguna o potencjale wyższym.

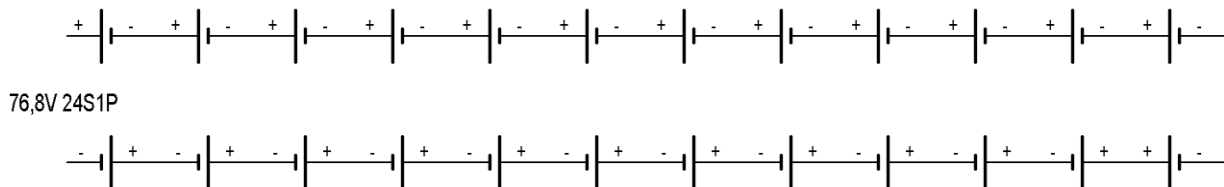
5 Schematy połączeń elektrycznych, rysunki i zdjęcia badanych ogniw



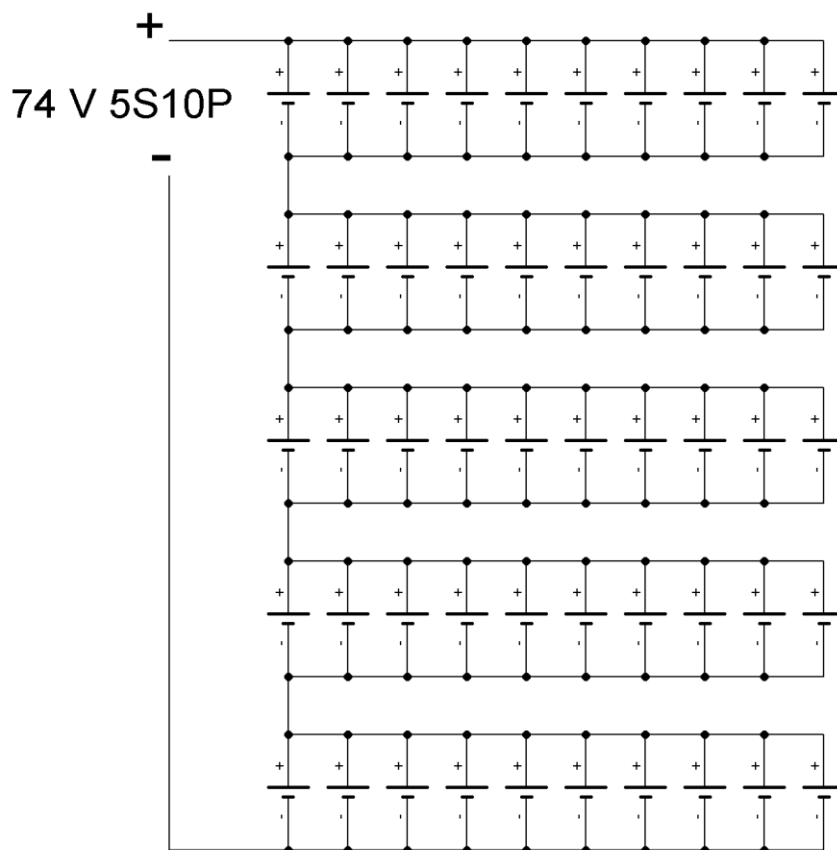
Rysunek 15. Schemat połączeń akumulatorów ołowiowych z elektrolitem płynnym oraz żelowym w baterie o napięciu znamionowym 72V.



Rysunek 16. Schemat połączeń ogniw litowo-jonowych w baterie o napięciu znamionowym 74V i pojemności 100 Ah.



Rysunek 17. Schemat połączeń ogniw litowo-żelazowo-fosforanowych w baterie o napięciu znamionowym 76,8 V



Rysunek 18. Schemat połączeń ogniw grafenowo-litowo-polimerowych w baterie o napięciu znamionowym 74 V



Zdjęcie 5. Ogniw grafenowo-litowo-polimerowy o pojemności znamionowej 10Ah i napięciu znamionowym 14,8V



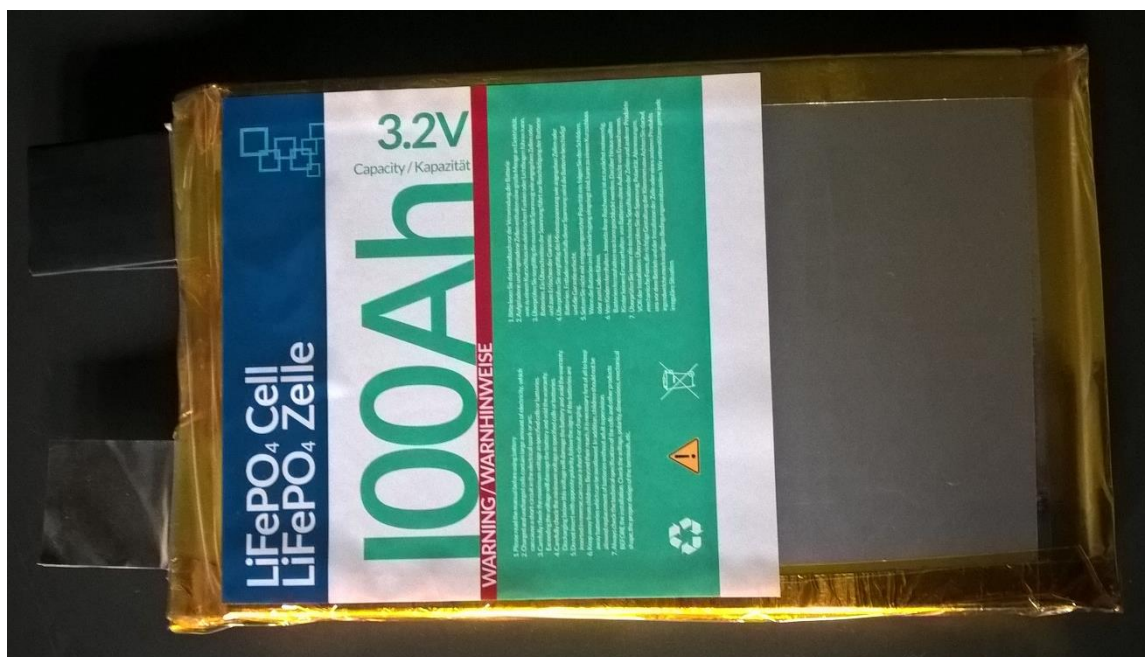
Zdjęcie 6. Akumulator ołowiowy z elektrolitem ciekłym o pojemności znamionowej 110Ah i napięciu znamionowym 12V



Zdjęcie 7. Akumulator litowo-jonowy o napięciu 3,7V i pojemności 25Ah



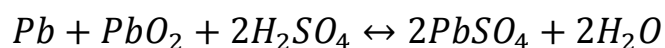
Zdjęcie 8. Akumulator ołowiowy z elektrolitem żelowym o pojemności znamionowej 110Ah i napięciu znamionowym 12V



Zdjęcie 9. Cella żelazowo-litowo-fosforanowa o pojemności znamionowej 100Ah oraz napięciu znamionowym 3,2V

6 Akumulatory ołowiowe z elektrolitem ciekłym

Akumulator ołowiowy z elektrolitem ciekłym jest to ogniwo wtórne złożone z jednej lub wielu par elektrod. Elektroda dodatnia (anoda) zawiera dwutlenek ołowiu PbO_2 , natomiast elektroda ujemna (katoda) jest to gąbczasty ołów Pb . Elektrody są zanurzone w roztworze kwasu siarkowego o stężeniu około 33%, a zasada działania akumulatora prezentuje się następująco. W wyniku powinowactwa chemicznego następuje w niewielkim stopniu rozpuszczanie się elektrod w otaczającym je roztworze oraz przejście jonów z powierzchni elektrod do roztworu. W efekcie czego na granicy faz elektroda - roztwór występuje potencjał. Generuje to możliwość przepływu swobodnych elektronów pomiędzy dwoma elektrodami, a także w konsekwencji zachodzenie reakcji utleniania (na powierzchni anody) oraz redukcji (na powierzchni katody). Sumarycznie na obu elektrodach uwidaczniają się następujące reakcje:



Masa substancji, która ulega przemianie na elektrodzie podczas przepływu prądu przez elektrolit jest wprost proporcjonalna do ładunku elektrycznego. Stosunek mas substancji ulegających przemianom jest równy stosunkowi ich równoważników chemicznych.

Proces badawczy nad akumulatorami ołowiowymi z elektrolitem ciekłym zaczyna się od pojedynczego ładowania każdego akumulatora. Do badań zakupiono 6 takich samych akumulatorów kwasowych o napięciu nominalnym 12V (SIAP 150). Typowy akumulator jest zbudowany z sześciu ogniw ołowiowo-kwasowych, połączonych szeregowo. Każde ogniwo generuje siłę elektromotoryczną (SEM) równą 2V. Zatem jeden akumulator generuje napięcie znamionowe równe 12V. W naładowanym akumulatorze gęstość elektrolitu wynosi 1,26-1,28 g/cm³. W takim akumulatorze możliwy jest przepływ bardzo dużych prądów, ze względu na bardzo małą rezystancję wewnętrzną. Skutkuje to szeroką popularnością w zastosowaniu, jako akumulatorów rozruchowych silników spalinowych.

W dalszym etapie badań konieczne jest wykorzystanie sześciu akumulatorów do budowy zespołu zasilającego do pojazdów z napędem elektrycznym. W takim przypadku istotne jest zastosowanie tych samych zasobników energii (pojemność, producent, rodzaj oraz stopień zużycia). Nie dostosowanie się do tego wymogu może generować uszkodzenie lub szybkie zużycie akumulatorów.



Na potrzeby badań została stworzona specjalna bezpieczna przestrzeń laboratoryjna. Stanowiska badawcze do prac z udziałem akumulatorów kwasowych zaopatrzone w system wentylacji, mający na celu odprowadzanie ewentualnych oparów. Akumulatory ołowiowe cechuje wysokie ryzyko wycieku kwasu siarkowego oraz zagrożenie parowania wody, powodujące zbyt duże jego stężenie w elektrolicie i konieczność okresowego uzupełniania. Takie komplikacje rozwiązuje się stosując specjalną konstrukcję uwięzienia elektrolitu w szczelnie zamkniętej obudowie. Stąd dla zapewnienia bezpieczeństwa otoczenia zaprojektowano i zbudowano profesjonalne pojemniki do przechowywania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym.

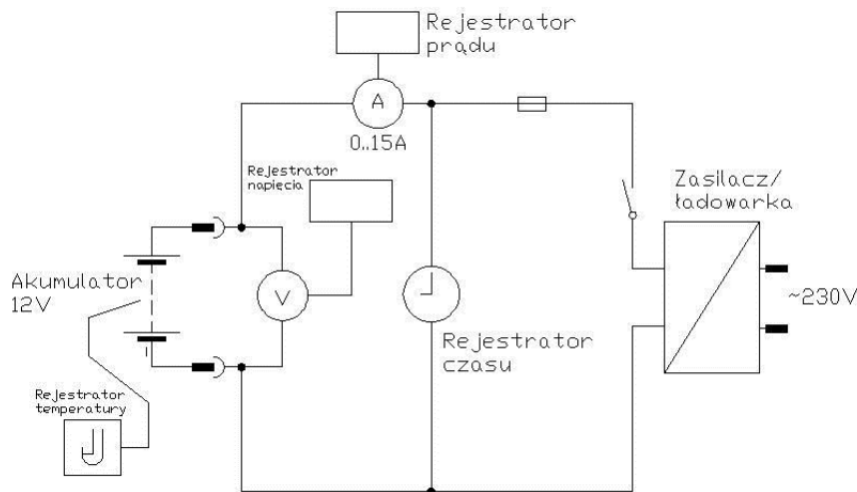
Przed rozpoczęciem użytkowania nowozakupionego akumulatora zawsze warto wykonać tzw. ładowanie wstępne, aby zapewnić pełne naładowanie i wyrównanie napięć na poszczególnych ogniwach. Głównym celem wstępnego ładowania jest dostarczenie ładunku kompensującego samorozładowanie akumulatora oraz utrzymanie go w stanie gotowości i pełnego naładowania. Zalecane napięcie takiego ładowania wynosi 2,25V-2,4V na ogniwo, czyli 13,5-14,4V. Proces taki jest wskazany, gdyż akumulatory ulegają nieznacznemu samorozładowaniu, a od momentu produkcji do czasu zainstalowania akumulatora do użytkowania może upłynąć trochę czasu.

Standardowy proces ładowania składa się z 3 faz. Pierwsza faza to stałe napięcie ładowania, które ładuje akumulator do około 85% jego pojemności. Na początku podłączamy pierwszy akumulatora 12V do źródła prądu (np. ładowarka). Standardowe ładowanie trwa około 10 godzin. Prąd ładowania wynosi 10% pojemności akumulatora (u nas akumulator 110Ah, czyli prąd ładowania powinien wynosić 11A). Podczas ładowania napięcie ogniwa wzrasta powoli od około 2V do 2,35V, potem szybciej. Gęstość oraz poziom elektrolitu rośnie. Należy pamiętać, że po przekroczeniu napięcia 2,5V zaczyna się rozkład wody na tlen i wodór (tzw. gazowanie akumulatora). Po osiągnięciu napięcia 2,5V należy przerwać ładowanie, gdyż dojdzie do przeładowania akumulatora. Przyczynia się to do wydzielenia dużych ilości wodoru (tzw. zagotowanie). Wodór w reakcji z powietrzem tworzy mieszkankę wybuchową, która może eksplodować pod wpływem iskry elektrycznej. Stąd proces ładowania musi odbywać się w dobrze wentylowanych pomieszczeniach. Podczas ładowania wydzielą się w elektrolicie ciepło, które przy temperaturze powyżej 40°C działa szkodliwie na płyty akumulatora.

W fazie drugiej ładowarka zapewnia ogniwu stałe napięcie ładowania, przy malejącym natężeniu prądu. Akumulator jest ładowany do około 95% jego pojemności.

W trzeciej fazie ładowarka przełącza się w tryb podtrzymującego ładowania i „FUL” jest wyświetlany. Ładowanie podtrzymujące zapobiega przeciążeniu akumulatora i jego samoistnemu rozładowaniu.

Schemat ładowania pojedynczego akumulatora został przedstawiony na rys.19.



Rysunek 19. Ładowanie akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym

W utworzonym układzie pomiarowym ładowania biorą udział rejestratory prądu, napięcia, czasu i temperatury, dzięki którym łatwo można określić pewne charakterystyki akumulatora i ocenić jego kondycję. Przeprowadzona na tym etapie seria ładowania sześciu akumulatorów umożliwia właściwą ocenę techniczną akumulatorów.

Akumulatory można łączyć ze sobą szeregowo w celu uzyskania większego napięcia, natomiast wartość pojemności pozostaje niezmienną. W przypadku takiego łączenia należy spełnić liczne wymagania jakościowe. Ważne jest, aby parametry używanych akumulatorów były zgodne, tzn.:

- taka sama pojemność,
- zbliżona rezystancja wewnętrzna,
- taka sama marka i typ,
- podobny stopień zużycia,
- z jednej serii produkcyjnej.

Łączenie szeregowo polega na scalaniu zestawu akumulatorów w taki sposób, że biegun dodatni(+) pierwszego akumulatora zostaje połączony z biegunem ujemnym(-) drugiego. Później biegun dodatni(+) drugiego łączy się z biegunem ujemnym(-) trzeciego i podobnie z kolejnymi.

Po podłączeniu wszystkich akumulatorów do zestawu, na dwóch skrajnych biegunach utworzonego w taki sposób pakietu powstaje napięcie wynikowe.

Zestaw zasilający będzie składał się z sześciu szeregowo połączonych akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym. Połączenie zostanie dobrane na podstawie wcześniej opracowanego optymalnego sposobu połączenia pod względem mechanicznym. Napięcie znamionowe zestawu zasilającego, który jest w pełni doładowany wynosi $14,4V \cdot 6$, czyli $86,4V$. Natomiast znamionowe napięcie rozładowania dla całego pakietu wynosi $10,8V \cdot 6$, czyli $64,8V$. Pojemność tego zestawu akumulatorów określona jest na poziomie 110Ah.

6.1 Badanie cykli ładowania indywidualnego – cykl rozruchowy

Akumulatory ołowiowe można ładować tylko prądem stałym, dlatego należy stosować prostowniki przetwarzające prąd przemienny na stały. Do mierzenia prądu i napięcia używa się przyrządów magnetoelektrycznych. Napięcie obciążonego źródła prądu stałego powinno być równe lub większe od napięcia akumulatora, utrzymującego się w czasie ładowania. W warunkach normalnych napięcie jest równe 2,2 do 2,7V na ogniwo. A w praktyce wzrost temperatury elektrolitu o jeden stopień powoduje spadek napięcia ładowania o 0,01V. Przed przystąpieniem do ładowania akumulatora należy sprawdzić, czy ogniwa i łączniki między ogniwami oraz przewody łączące źródło prądu stałego z akumulatorem są we właściwym stanie technicznym, a zaciski i połączenia śrubowe odpowiednio dokręcone. Podczas ładowania akumulatora, a głównie w początkowej jego fazie należy sprawdzić wartość napięcia i prądu ładowania. Umożliwia to ocenę aktualnego stanu akumulatora i urządzeń do ładowania oraz usunięcie ewentualnych nieprawidłowości. Ładowanie jest zalecane, gdy temperatura elektrolitu jest zawarta w przedziale 5-40°C. Podczas ładowania temperatura wzrasta, ale nie może przekroczyć 50°C. Gdy wartość ta zostanie jednak osiągnięta, konieczne jest zmniejszenie wartości prądu ładowania lub zastosowania wymuszonego chłodzenia elektrolitu lub przerwania procesu ładowania.

Proces badawczy rozpoczęto od procesu ładowania każdego nowego akumulatora, czyli powtarzamy go sześciokrotnie w sposób podobny do wszystkich egzemplarzy. Posiadamy 6 akumulatorów kwasowych o napięciu nominalnym 12V, zbudowanych z 6 ogniw ołowiowo-kwasowych połączonych szeregowo. Wszystkie akumulatory powinny być na jednakowym poziomie naładowania. Do przeprowadzenia badania niezbędne jest zastosowanie odpowiedniej aparatury

badawczej tj. ładowarka ICharger4010 wraz z zasilaczem. Parametry znamionowe akumulatorów są ogólnie ustalone oraz zaprojektowane przez producentów tego typu urządzeń. Pierwsze ładowanie akumulatora jest bardzo istotne, ponieważ jest to tzw. ładowanie uruchamiające (formujące), które ma decydujący wpływ na właściwości elektryczne i trwałość eksploatacyjną akumulatora w dalszym użytkowaniu.

6.1.1 Ładowanie indywidualne akumulatorów

Pierwszy etap prac badawczo-rozwojowych na akumulatorach ołowiowych z elektrolitem ciekłym rozpoczęto od wykonania cykli rozruchowych ładowania-rozładowania. Dokładny przebieg procesu polega na naładowaniu każdego ogniwa do ustalonej wartości maksymalnej – 14,4V. Prąd ładowania nie może przekroczyć wartości 0,1C. Kolejną czynnością jest rozładowanie pojedynczego akumulatora do poziomu minimalnego napięcia - 10,8 V. Cykl rozruchowy należy powtórzyć pięciokrotnie. Jest to konieczna procedura do prowadzenia dalszych prac badawczych, mimo iż akumulatory były nowe to jednak stan ich naładowania nie wynosił 100%. Przeprowadzenie procesu rozruchowego wymaga przygotowania stanowiska badawczego zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 19.

Kolejny etap prac badawczo-pomiarowych polega na dziesięciokrotnym powtarzaniu cykli ładowania/rozładowania każdego akumulatora indywidualnie. Dalsze badania są możliwe jedynie przy naładowaniu ogniwa i doprowadzeniu do parametrów fabrycznych. Cykl ten polega na rozładowaniu akumulatora maksymalnym założonym prądem rozładowania do minimalnego napięcia rozładowania. Prąd ładowania powinien być niewielki, bo tylko 2A ze względu na łagodne procesy zachodzące w akumulatorach oraz aby zorientować nowe akumulatory do właściwej pracy. Jednak faktyczny prąd ładowania wynosi 30A. Pomiar prądu odbywa się nie bezpośrednio tylko poprzez bocznik, korzystając ze stycznikowego układu załączania procesu ładowania. Na etapie prac pomiarowych monitorowane zostanie napięcie prąd i czas trwania cyklu.

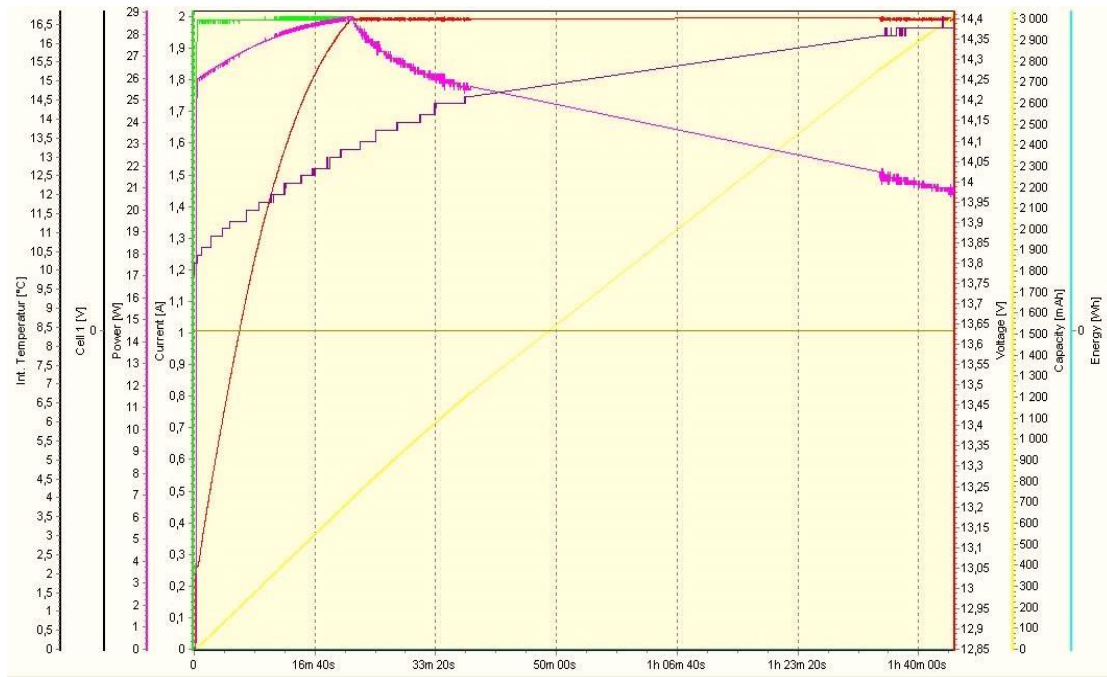
Cykle ładowania dla analizowanych akumulatorów przedstawiają poniższe charakterystyki (Wykresy 1-5). Na charakterystykach zaznaczono główne parametry tj.: napięcie (kolor czerwony), prąd (kolor zielony) oraz pojemność (kolor żółty), które decydują o stanie akumulatora podczas ładowania i rozładowania.

W trakcie procesu ładowania następuje znaczny wzrost napięcia do wartości znamionowej (14,4V), a po jej osiągnięciu napięcie utrzymuje się na stałym poziomie. Moment pełnego naładowania dla poszczególnych egzemplarzy następuje w przedziale czasowym od 20 minut (Wykres 2) do 1 godziny 55 minut (Wykres 3,5). Na charakterystyce następuje zbliżenie wykresów

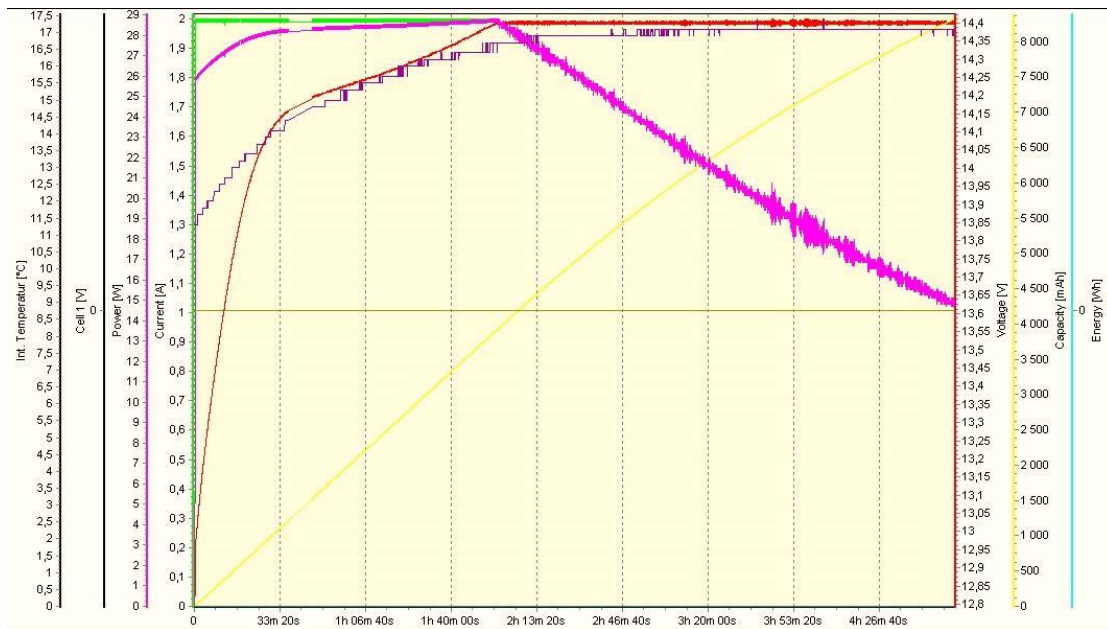
prądu i napięcia, również w tym punkcie pobór mocy jest maksymalny. Do momentu osiągnięcia pełnej zdolności do doładowania, przy dostarczonym prądzie o wartości 2A uznaje się, że w akumulatorze występuje proces doładowania. Po osiągnięciu punktu maksymalnego naładowania prąd spada, a napięcie pozostaje na jednym poziomie (14,4V), wartość mocy notuje stopniowy spadek. Ten punkt charakterystyki określa osiągnięcie znamionowych parametrów akumulatora. Dalsze utrzymywanie analizowanych ogniów w stanie ładowania nie wnosi już żadnych istotnych zmian w procesie badawczym. W momencie pełnego naładowania następuje znikomy liniowy wzrost pojemności. Stan pełnego naładowania akumulatora daje możliwość poddania ogniwa dalszym testom w pracach B+R. Wszystkie badane akumulatory ołowiowe z elektrolitem ciekłym zostały załadowane do maksymalnego stanu naładowania w podobnym czasie. Najszybciej osiągnął tę wartość drugi akumulator (Wykres 2), bo już po 20 minucie. Prąd ładowania dla każdego był na poziomie 2A, a faktyczny 30A. Pomimo, że były naładowane fabrycznie to pojawiły się pewne rozbieżności w pojemności w przedziale od 1% do 7%, co jednak nie będzie miało istotnego wpływu na dalsze procesy badawcze. Naładowanie zestawu 6 akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym o pojemności 110Ah do maksymalnego dopuszczalnego napięcia dla akumulatora ołowiowego, czyli 14,4V daje możliwość przystąpienia do dalszych prac badawczych.



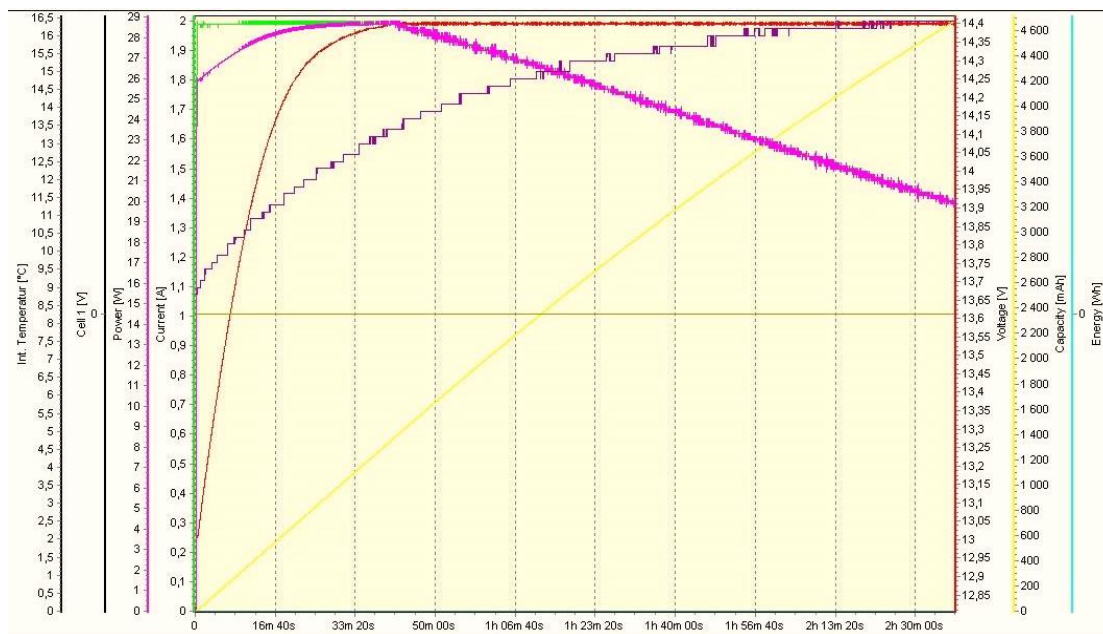
Wykres 1. Charakterystyka ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 1



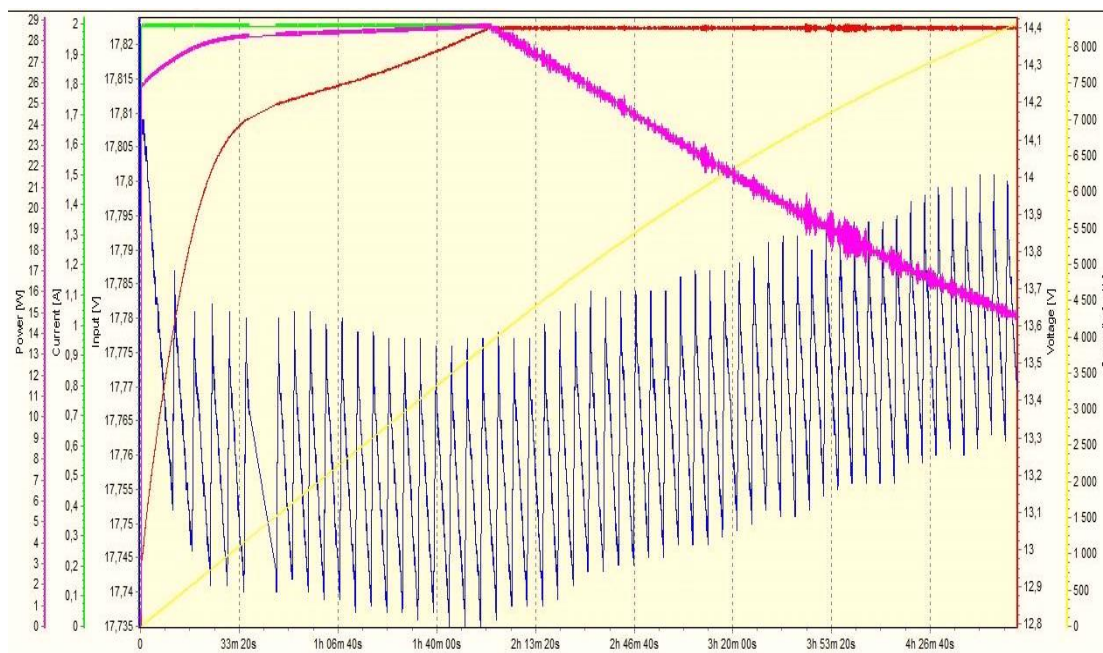
Wykres 2. Charakterystyka ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 2



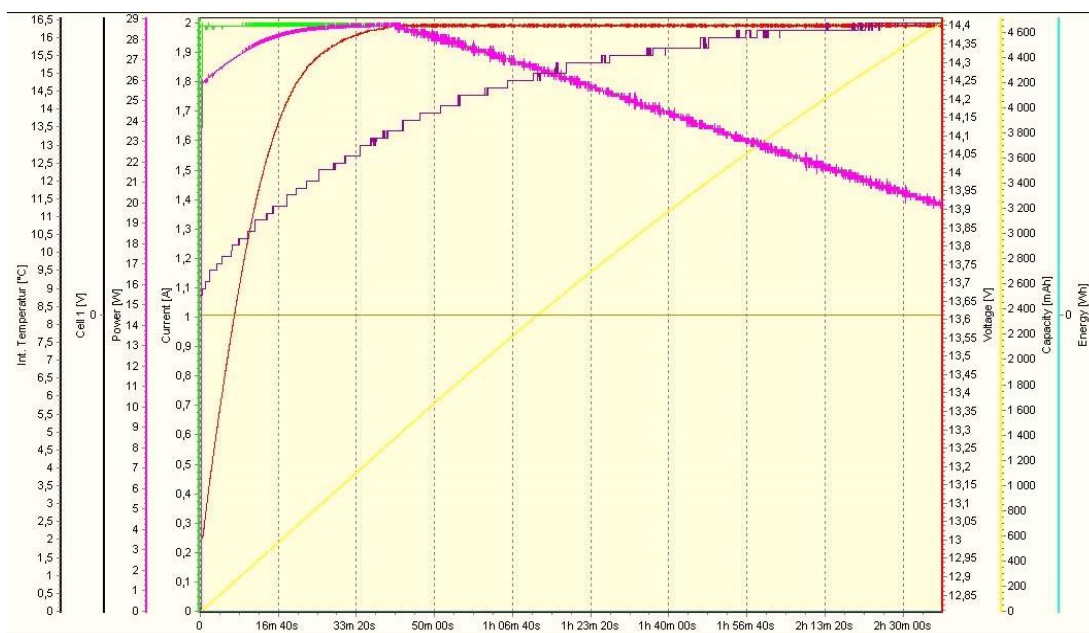
Wykres 3. Charakterystyka ładowania dla akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 3



Wykres 4. Charakterystyka ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 4



Wykres 5. Charakterystyka ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 5



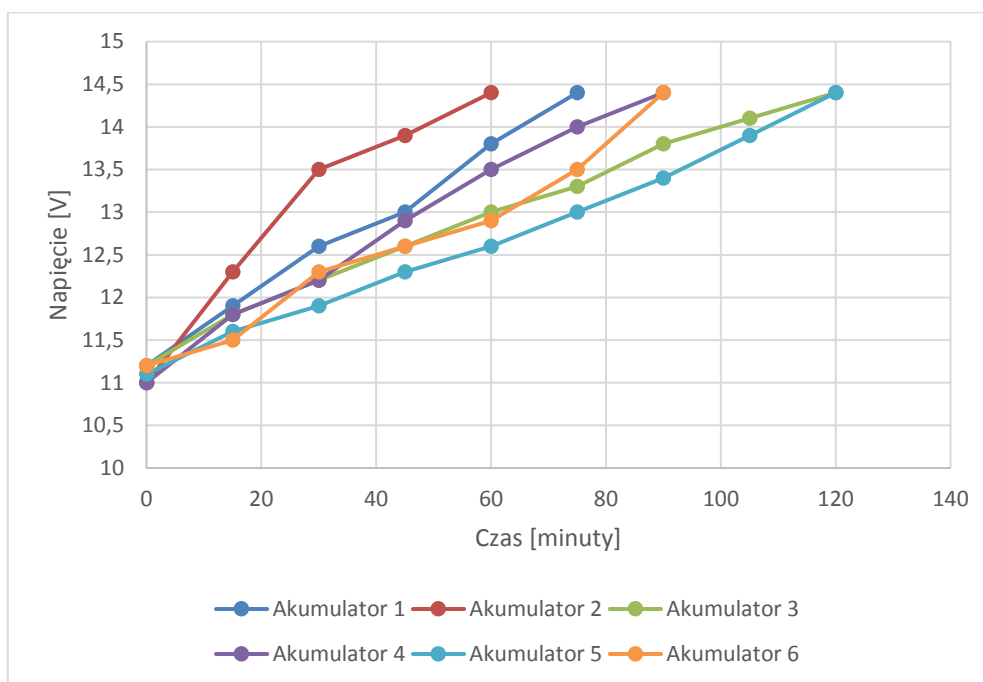
Wykres 6. Ładowanie akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 6

6.1.2 Tabele i wykresy ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym

Tabele przedstawiają liczbowo stan napięcia poszczególnych akumulatorów podczas procesu ładowania. Przeprowadzono serię dziesięciokrotnego ładowania prądem 30A nad sześcioma akumulatorami ołowiowymi o wartości nominalnej napięcia 12V. Z otrzymanych liczbowo wyników można wywnioskować, że stan techniczny w którym znajdują się nowe akumulatory jest na podobnym poziomie. Jedynie dwa akumulatory nr 2 i 4, co jest widoczne np. Tabeli 1 szybciej uzyskują wartość maksymalnego napięcia 14,4V, bo akumulator nr 2 osiąga tę wartość już po 60 minutach. Prawidłowość ta jest powtarzalna - niemal w każdej serii ładowania akumulator 2 i 4 mają najszybszy czas ładowania. Wykresy również odpowiednio obrazują poziom ładowania akumulatorów np. Wykres 12 wskazuje że akumulatory 2 i 4 mają najszybsze tempo ładowania. Wyniki pokazują, że najbardziej trwałe eksploatacyjnie jest akumulator nr 5 (widoczne np. na Wykresie 7). W celu osiągnięcia optymalnych parametrów dla każdego akumulatora zalecane jest wykorzystanie systemu BMS do łączenia pakietu akumulatorów.

Tabela 1. Seria pierwsza ładowania indywidualnego dla akumulatorów ołowiowych

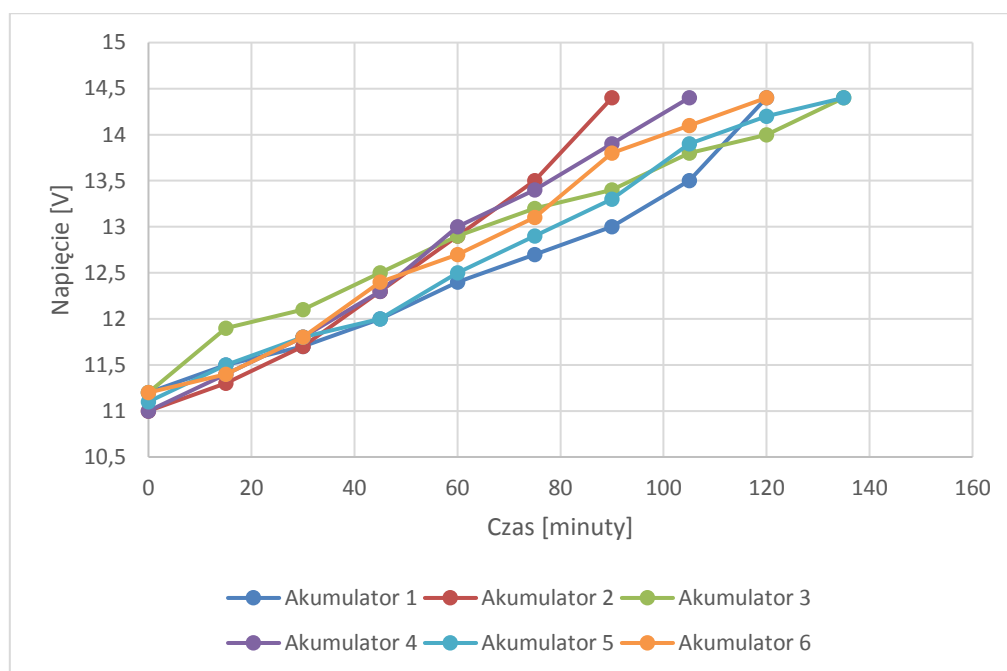
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania [minuty]
11,2	11	11,2	11	11,1	11,2	0
11,9	12,3	11,8	11,8	11,6	11,5	15
12,6	13,5	12,2	12,2	11,9	12,3	30
13	13,9	12,6	12,9	12,3	12,6	45
13,8	14,4	13	13,5	12,6	12,9	60
14,4		13,3	14	13	13,5	75
		13,8	14,4	13,4	14,4	90
		14,1		13,9		105
		14,4		14,4		120
						135
						150



Wykres 7. Seria pierwsza ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Tabela 2. Seria druga ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

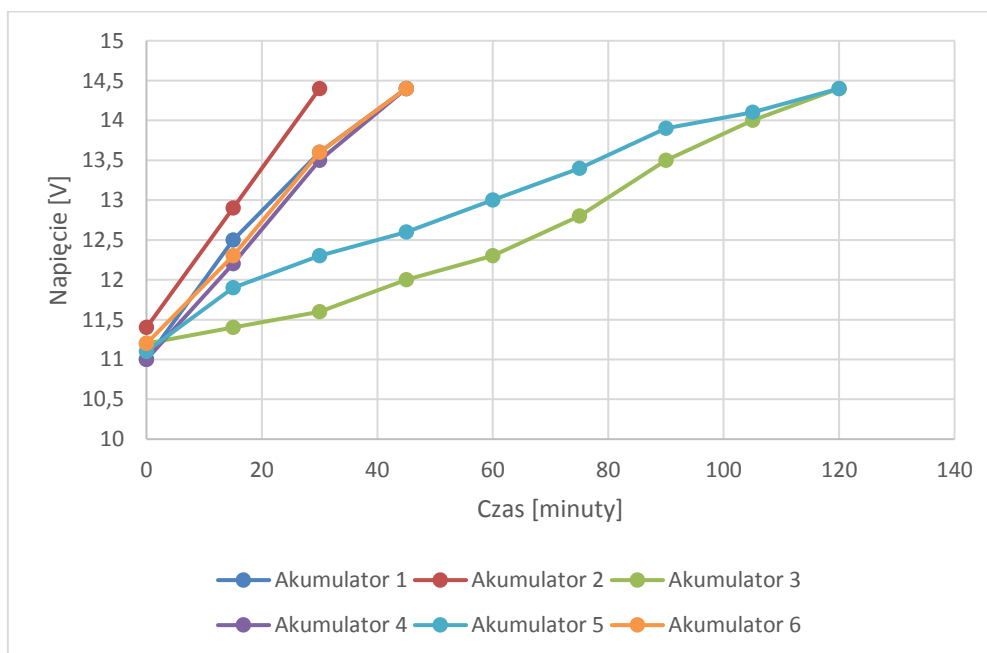
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania [minuty]
11,2	11	11,2	11	11,1	11,2	0
11,5	11,3	11,9	11,4	11,5	11,4	15
11,7	11,7	12,1	11,8	11,8	11,8	30
12	12,3	12,5	12,3	12	12,4	45
12,4	12,9	12,9	13	12,5	12,7	60
12,7	13,5	13,2	13,4	12,9	13,1	75
13	14,4	13,4	13,9	13,3	13,8	90
13,5		13,8	14,4	13,9	14,1	105
14,4		14		14,2	14,4	120
		14,4		14,4		135
						150



Wykres 8. Seria druga ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Tabela 3. Seria trzecia ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

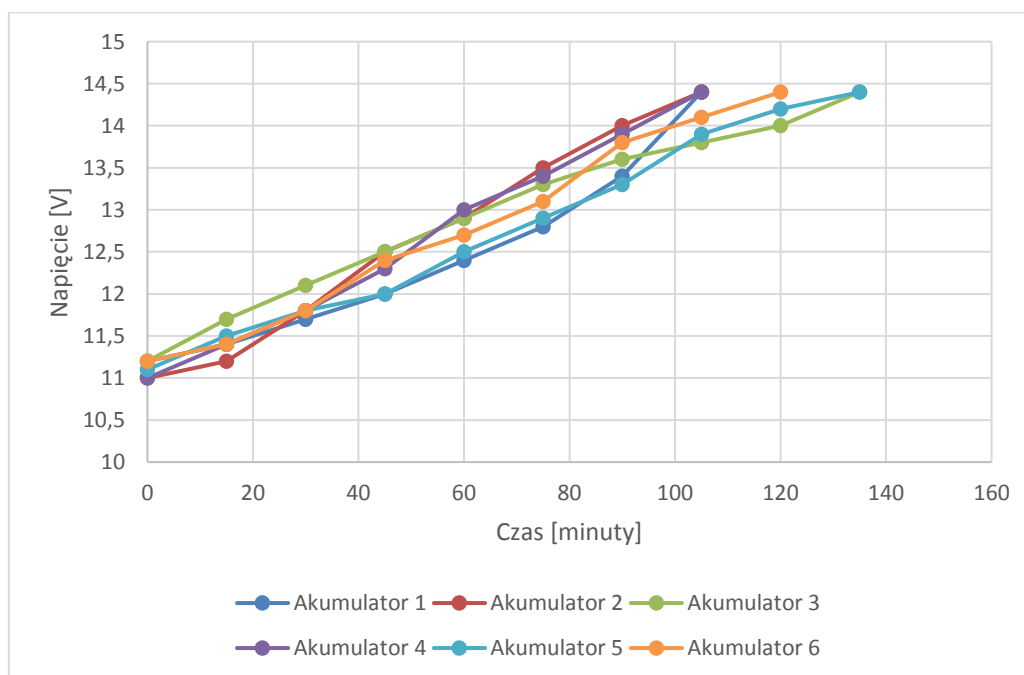
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania [minuty]
11	11,4	11,2	11	11,1	11,2	0
12,5	12,9	11,4	12,2	11,9	12,3	15
13,6	14,4	11,6	13,5	12,3	13,6	30
14,4		12	14,4	12,6	14,4	45
		12,3		13		60
		12,8		13,4		75
		13,5		13,9		90
		14		14,1		105
		14,4		14,4		120
						135
						150



Wykres 9. Seria trzecia ładowania indywidualnego akumulatora ołowiowego

Tabela 4. Seria czwarta ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

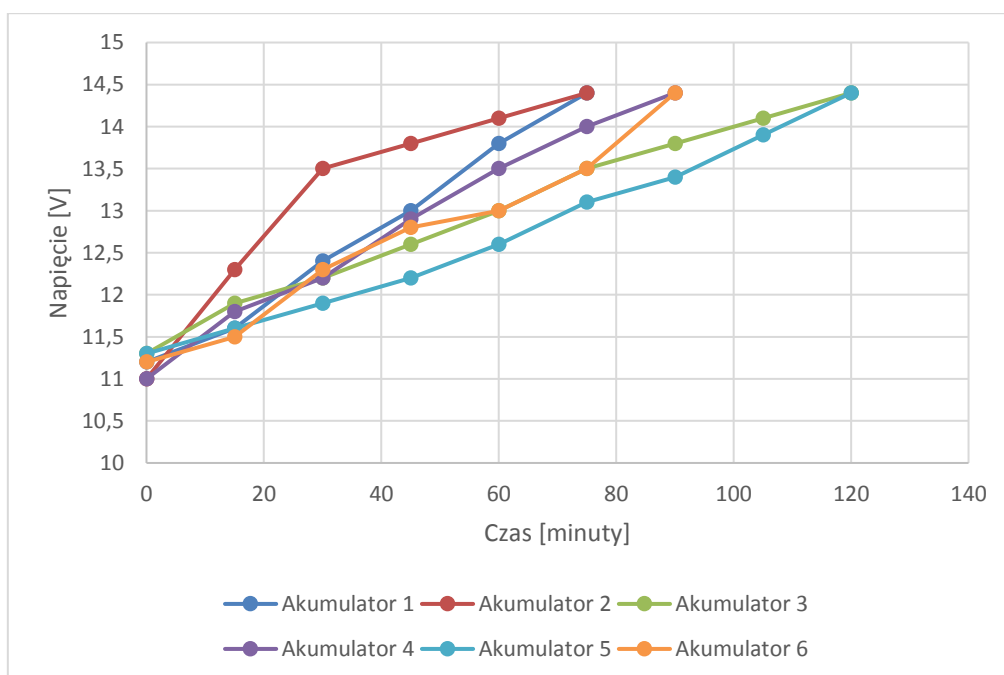
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania [minuty]
11,2	11	11,2	11	11,1	11,2	0
11,4	11,2	11,7	11,4	11,5	11,4	15
11,7	11,8	12,1	11,8	11,8	11,8	30
12	12,5	12,5	12,3	12	12,4	45
12,4	12,9	12,9	13	12,5	12,7	60
12,8	13,5	13,3	13,4	12,9	13,1	75
13,4	14	13,6	13,9	13,3	13,8	90
14,4	14,4	13,8	14,4	13,9	14,1	105
		14		14,2	14,4	120
		14,4		14,4		135
						150



Wykres 10. Seria czwarta ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Tabela 5. Seria piąta ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

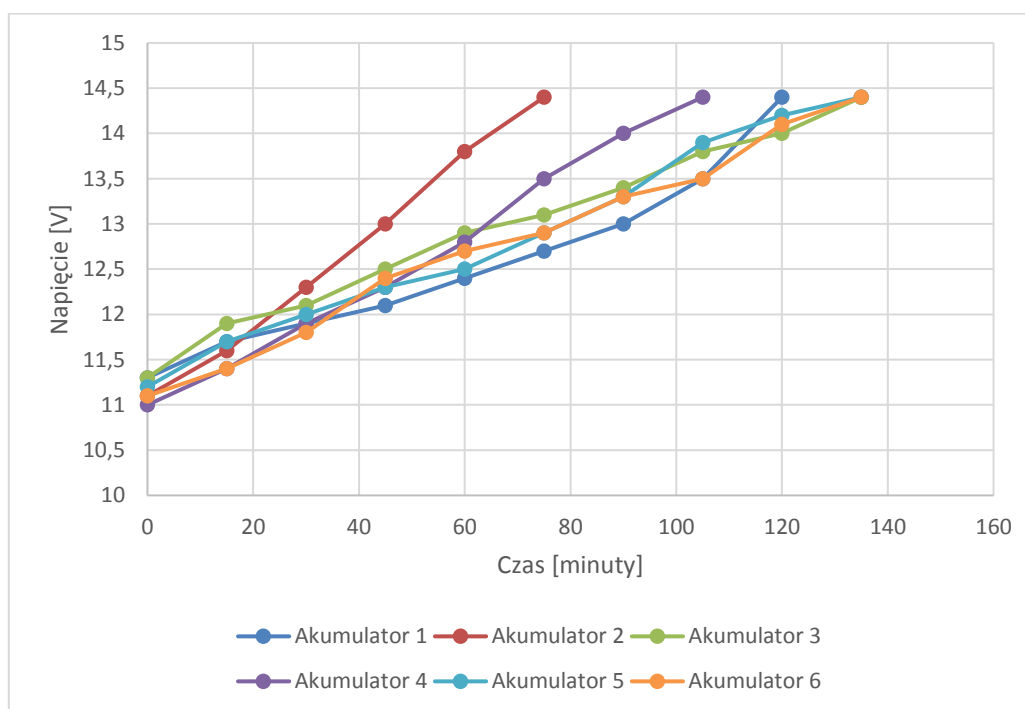
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania [minuty]
11,2	11	11,3	11	11,3	11,2	0
11,6	12,3	11,9	11,8	11,6	11,5	15
12,4	13,5	12,2	12,2	11,9	12,3	30
13	13,8	12,6	12,9	12,2	12,8	45
13,8	14,1	13	13,5	12,6	13	60
14,4	14,4	13,5	14	13,1	13,5	75
		13,8	14,4	13,4	14,4	90
		14,1		13,9		105
		14,4		14,4		120



Wykres 11. Seria piąta ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Tabela 6. Szósta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

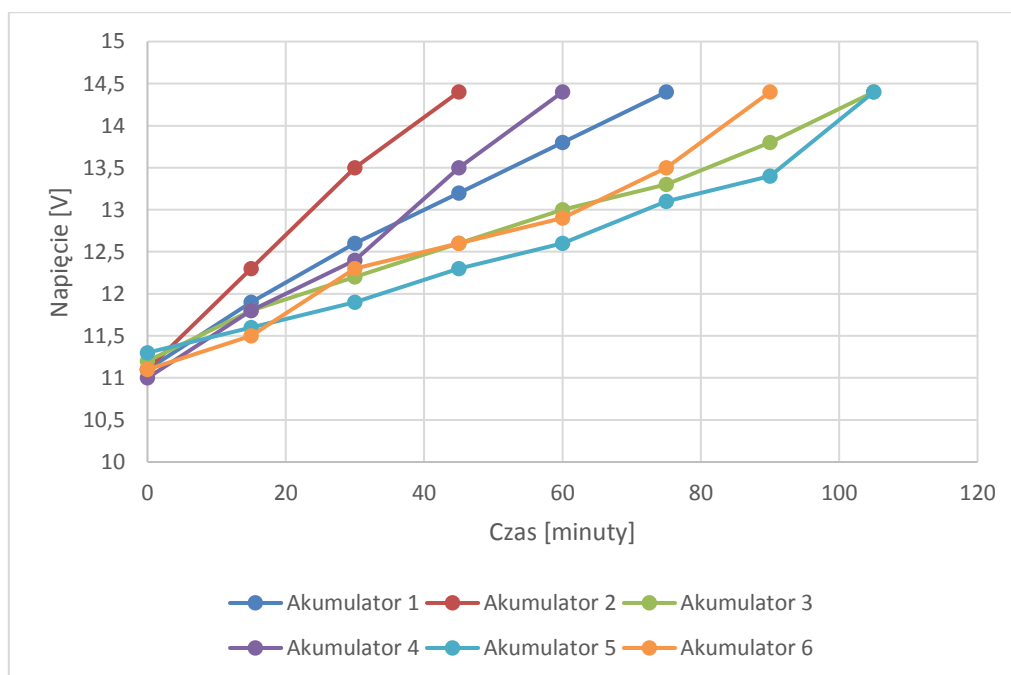
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania
11,3	11,1	11,3	11	11,2	11,1	0
11,7	11,6	11,9	11,4	11,7	11,4	15
11,9	12,3	12,1	11,9	12	11,8	30
12,1	13	12,5	12,3	12,3	12,4	45
12,4	13,8	12,9	12,8	12,5	12,7	60
12,7	14,4	13,1	13,5	12,9	12,9	75
13		13,4	14	13,3	13,3	90
13,5		13,8	14,4	13,9	13,5	105
14,4		14		14,2	14,1	120
		14,4		14,4	14,4	135
						150



Wykres 12. Szósta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Tabela 7. Siódma seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

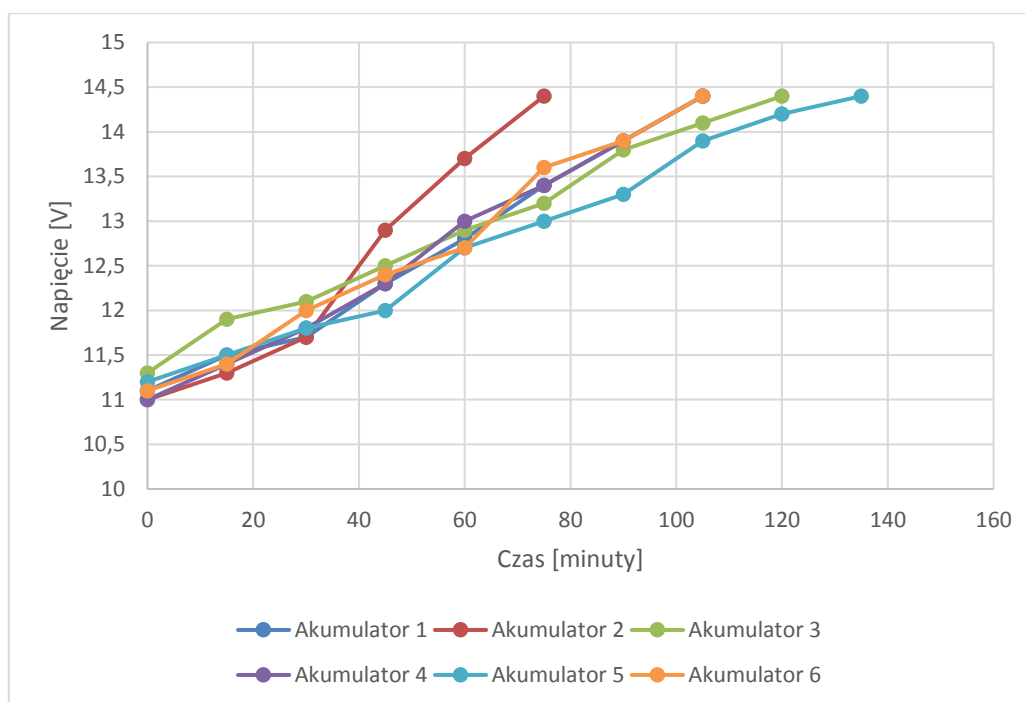
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania [minuty]
11,1	11,1	11,2	11	11,3	11,1	0
11,9	12,3	11,8	11,8	11,6	11,5	15
12,6	13,5	12,2	12,4	11,9	12,3	30
13,2	14,4	12,6	13,5	12,3	12,6	45
13,8		13	14,4	12,6	12,9	60
14,4		13,3		13,1	13,5	75
		13,8		13,4	14,4	90
		14,4		14,4		105
						120
						135



Wykres 13. Siódma seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Tabela 8. Ósma seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania [minuty]
11,1	11	11,3	11	11,2	11,1	0
11,5	11,3	11,9	11,4	11,5	11,4	15
11,7	11,7	12,1	11,8	11,8	12	30
12,3	12,9	12,5	12,3	12	12,4	45
12,8	13,7	12,9	13	12,7	12,7	60
13,4	14,4	13,2	13,4	13	13,6	75
13,9		13,8	13,9	13,3	13,9	90
14,4		14,1	14,4	13,9	14,4	105
		14,4		14,2		120
				14,4		135



Wykres 14. Ósma seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Tabela 9. Dziewiąta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania [minuty]
11,1	11,1	11,2	11	11,2	11,2	0
11,6	11,7	11,9	11,8	11,6	11,5	15
12,4	12,6	12,2	12,2	11,9	12,3	30
12,9	13,8	12,6	12,9	12,2	13	45
13,3	14,1	13	13,5	12,6	13,5	60
13,8	14,4	13,5	14	13,3	13,8	75
14,4		13,8	14,4	13,8	14,4	90
		14,1		14,4		105
		14,4				120
						135
						150

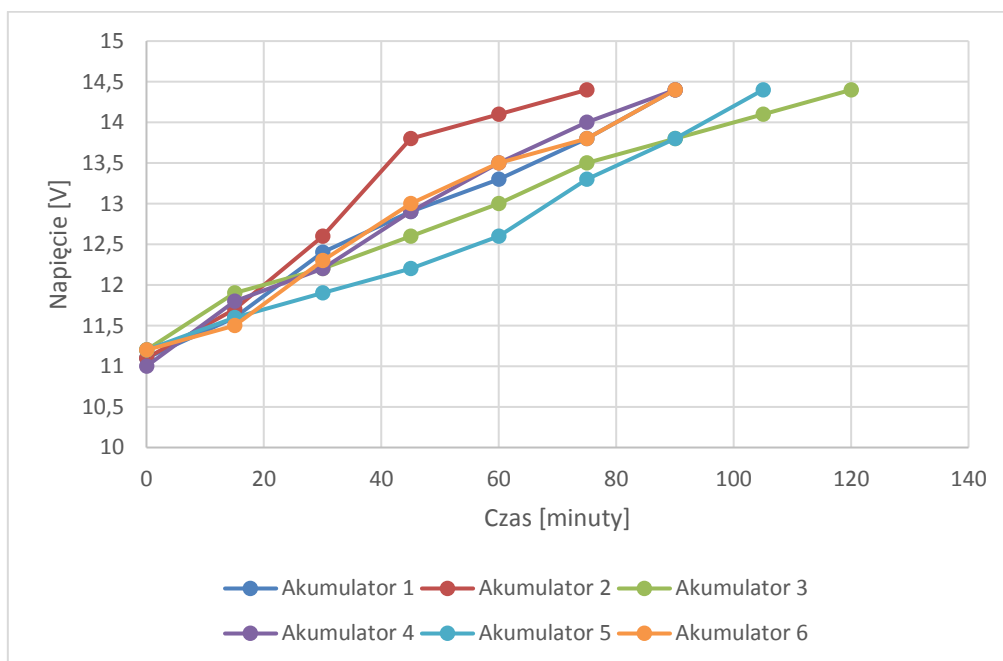
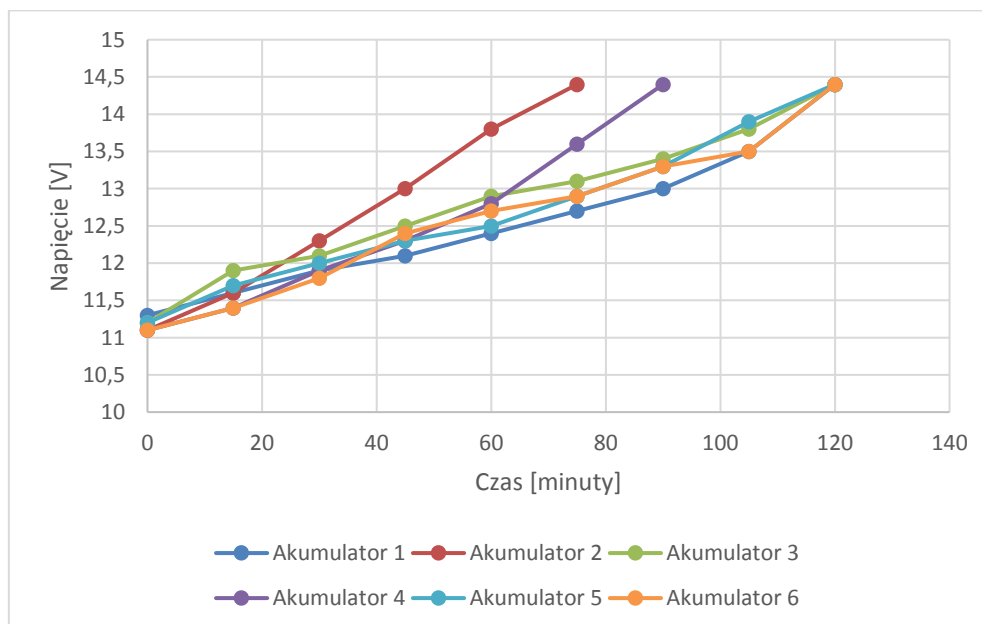

Wykres 15. Dziewiąta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Tabela 10. Dziesiąta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas ładowania [minuty]
11,3	11,1	11,2	11,1	11,2	11,1	0
11,6	11,6	11,9	11,4	11,7	11,4	15
11,9	12,3	12,1	11,9	12	11,8	30
12,1	13	12,5	12,3	12,3	12,4	45
12,4	13,8	12,9	12,8	12,5	12,7	60
12,7	14,4	13,1	13,6	12,9	12,9	75
13		13,4	14,4	13,3	13,3	90
13,5		13,8		13,9	13,5	105
14,4		14,4		14,4	14,4	120
						135
						150



Wykres 16. Dziesiąta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym

6.2 Badanie cykli rozładowania indywidualnego – cykl rozruchowy

W trakcie procesu rozładowania energia zgromadzona w akumulatorze może być z niego odzyskana. Na płytach ujemnych i dodatnich odbywa się ruch jonów w kierunku przeciwnym niż w przypadku ładowania. Zachodzące reakcje chemiczne są odwrotne niż w przypadku ładowania. Maleje stężenie elektrolitu, gdyż kosztem cząstek kwasu powstaje woda. Równocześnie na obydwu płytach powstaje siarczan ołowiu(II). Wypadkowa siła elektromotoryczna maleje, ponieważ zaczynają wyrównywać się potencjały elektrolityczne płyt w stosunku do roztworu. Procesu rozładowania nie należy przeprowadzać zbyt długo. Gdy napięcie na jednym ogniwie akumulatora obniży się do 1,8V to akumulator traktuje się, jako całkowicie wyładowany. Dalsze pobieranie prądu z ogniwa o napięciu niższym niż 1,8V powoduje wytwarzanie się na płytach grubokrystalicznych siarczanu ołowiu(II), znacznie trudniejszego do rozłożenia w procesie ponownego ładowania.

Proces rozładowania należy rozpocząć od pojedynczego rozładowania każdego nowego akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym. Charakterystyka rozładowania akumulatora stałym prądem zależy głównie od wielkości tego prądu. Przebieg charakterystyki jest podobny dla różnych typów akumulatorów. Rozładowanie akumulatora prowadzi się do poziomu tzw. napięcia minimalnego, przy którym akumulator jest rozładowany w 100%. Napięcie to jest tak dobrane, aby przy danym prądzie wyładowania ogniwo nie uległo uszkodzeniu. Rozładowanie akumulatorów następuje poprzez osiągnięcie minimalnego napięcia rozładowania, do wartości 10,8V dla całego akumulatora, czyli 1,8V/ogniwo dla natężenia prądu $<5C$. Głębsze rozładowanie nie jest wskazane ze względu na znaczną ekspansję oraz degradację masy czynnej wewnątrz akumulatora. W tym momencie proces rozładowywania zostaje wstrzymany, a po godzinnej przerwie uruchomione zostaje ładowanie prądem 10A. Badania odbywają się w temperaturze około 17°C. Pomiar są rejestrowane oraz wykonywane automatycznie przez urządzenia badawcze i w formie charakterystyk zostaną dołączone do raportu.

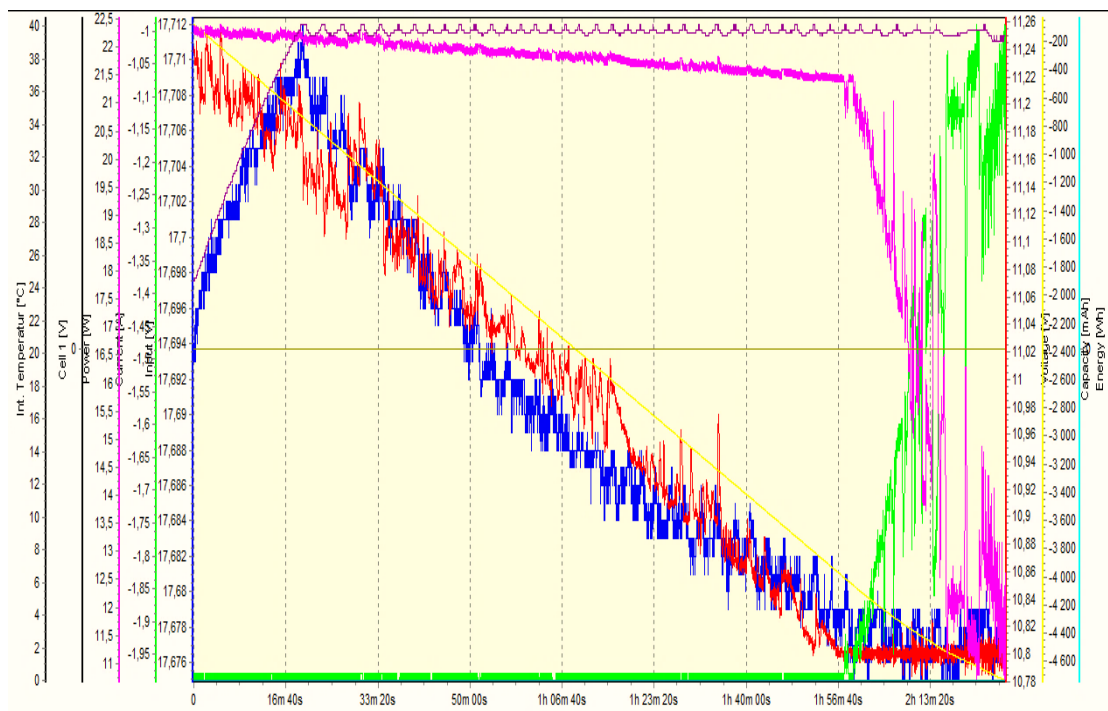
6.2.1 Rozładowanie indywidualne akumulatorów

Proces rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym przedstawiają poniższe charakterystyki (Wykresy 17-22). Rozładowanie przeprowadzono pod obciążeniem prądem 30A, czyli 0,03C. Prąd o wartości 0,03C został uznany za najbardziej odpowiedni dla nowych akumulatorów na etapie początkowego użytkowania. Znamionowy prąd obciążenia dla akumulatora w dalszej eksploatacji przewiduje się na większy, bo około 100-150A. Jednak obciążenie nowych akumulatorów tak dużym prądem w początkowym okresie użytkowania miałyby znaczne konsekwencje w perspektywie ich długotrwałego używania. Nowozakupione akumulatory powinny być traktowane w sposób łagodny ze względu na zachodzące zjawiska podczas badania ich cykli ładowania oraz rozładowania. Nie zalecane jest stosowanie także zbyt małego prądu 0,01C, gdyż badanie znacznie wydłużyłoby się w czasie, a w efekcie nie wniósłby żadnych istotnych zmian w użytkowaniu akumulatora.

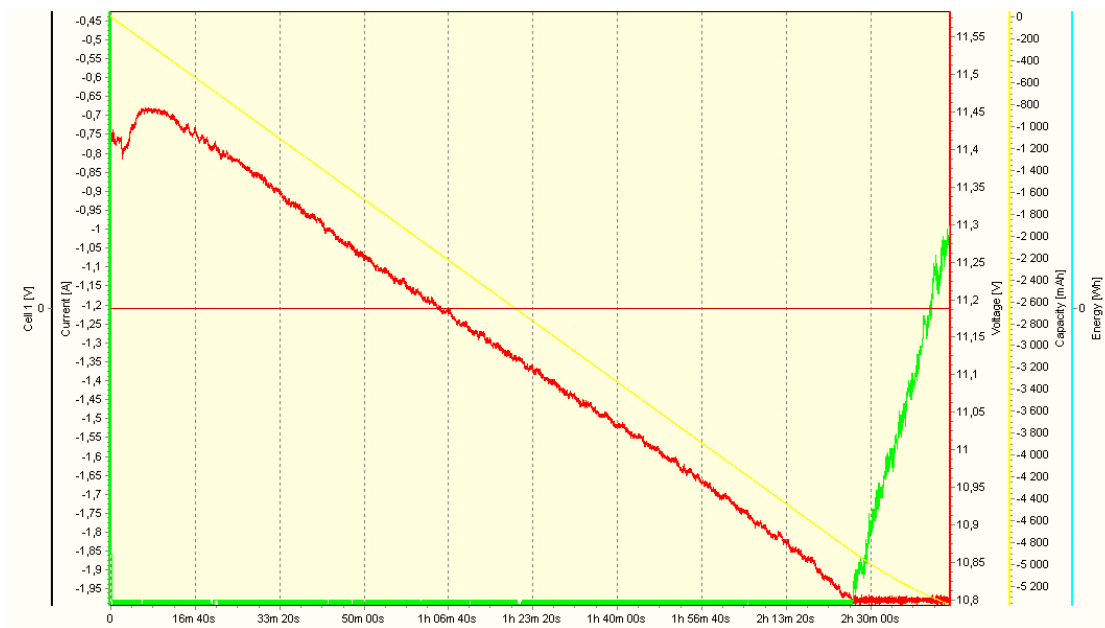
Pomimo wcześniejszego pełnego naładowania napięcie początkowe w nowych akumulatorach oscyluje w granicach 11,8-11,4V, co jest widoczne na charakterystykach (Wykresy 17-22). Otrzymane wartości są prawidłowe i wynikają z różnic w kondycji technicznej akumulatorów. Rozładowanie akumulatorów przebiega zgodnie z charakterystykami i inaczej niż w akumulatorach litowo-jonowych. Napięcie pracy ogniwa maleje wraz z rosnącym prądem rozładowania. Główną przyczyną tego efektu jest spadek napięcia na rezystancji wewnętrznej ogniwa. Jak zauważono na wykresach podczas rozładowania akumulatorów następuje permanentny spadek napięcia do wartości, która oscyluje w granicach 10,8V, czyli 1,8V/ogniwo. W prowadzonych badaniach wartość tą można określić, jako napięcie minimalne dla danego akumulatora. Napięcie minimalne następuje przy równoczesnym zmniejszeniu prądu rozładowania. Po osiągnięciu tego parametru we wszystkich akumulatorach następuje liniowy spadek prądu rozładowania. Sprzęt pomiarowy rejestruje charakterystyki dla prądu 2A, a faktyczny prąd rozładowania wynosi 30A. Pomiar prądu odbywa się nie bezpośrednio tylko poprzez bocznik, korzystając ze stycznikowego układu załączania procesu rozładowania. Akumulator można uznać za rozładowany, gdy prąd osiągnie wartość w granicach 1A, co jest zgodne z założeniami urządzenia pomiarowego (ICharger4010). W badanych sześciu akumulatorach proces całkowitego rozładowania mieści się czasowo w przedziale od 1 godziny 55 minut (Wykres 18) do 2 godzin 50 minut (Wykres 21). Ładowarka kontroluje proces rozładowania i w momencie osiągnięcia znamionowego napięcia rozładowania i prądu 1A sygnalizuje całkowite rozładowanie – rozłącza obciążenie. Średni prąd rozładowania wynosił 30A.



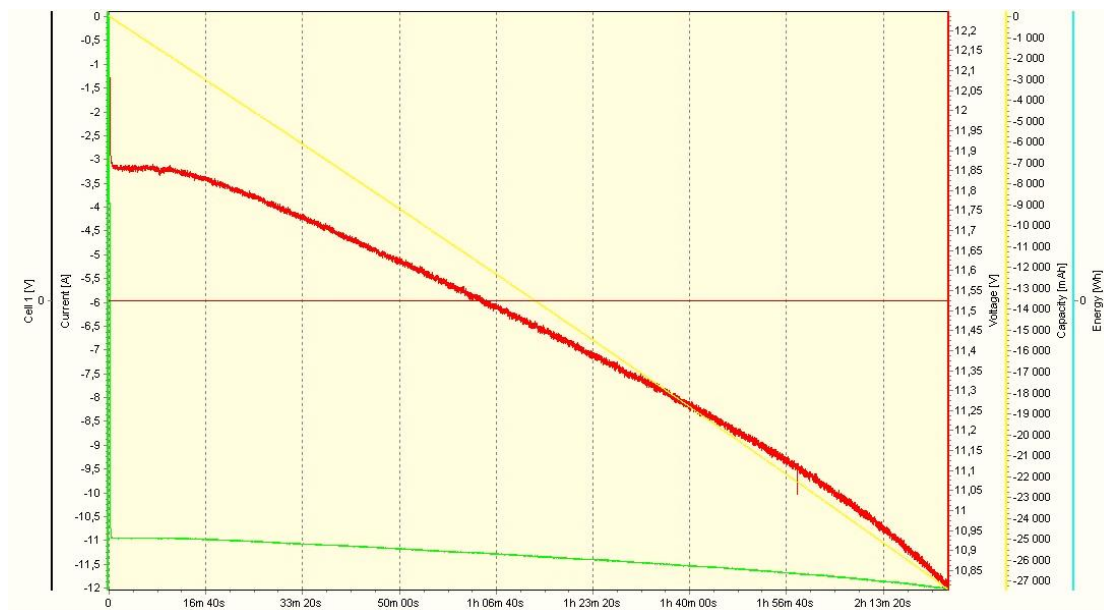
Wykres 17. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 1



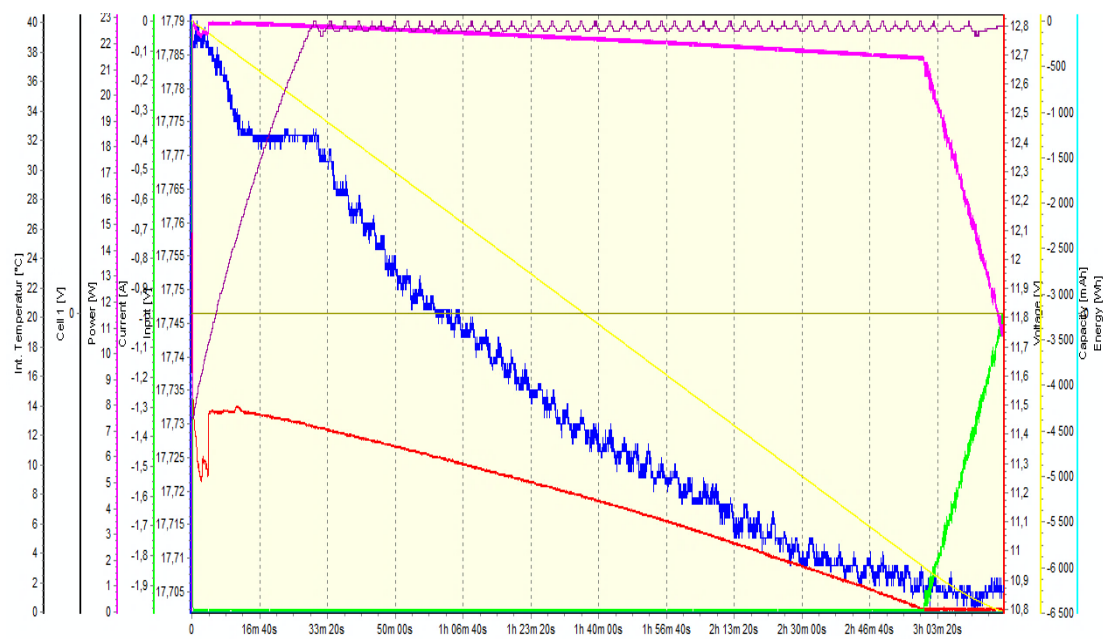
Wykres 18. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 2



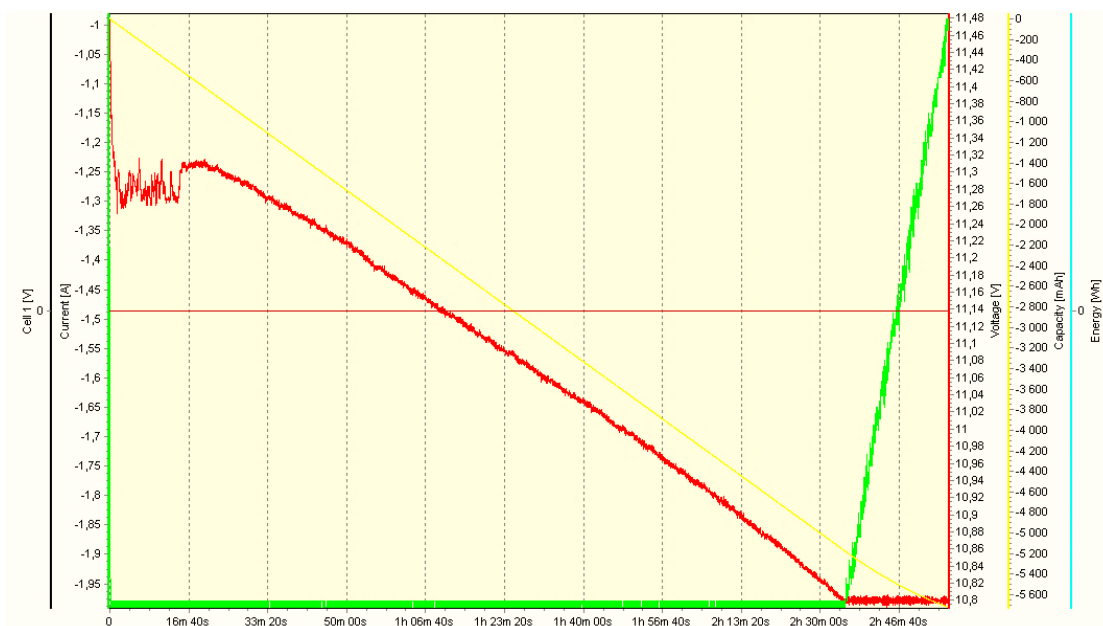
Wykres 19. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 3



Wykres 20. . Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 4



Wykres 21. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 5



Wykres 22. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 6



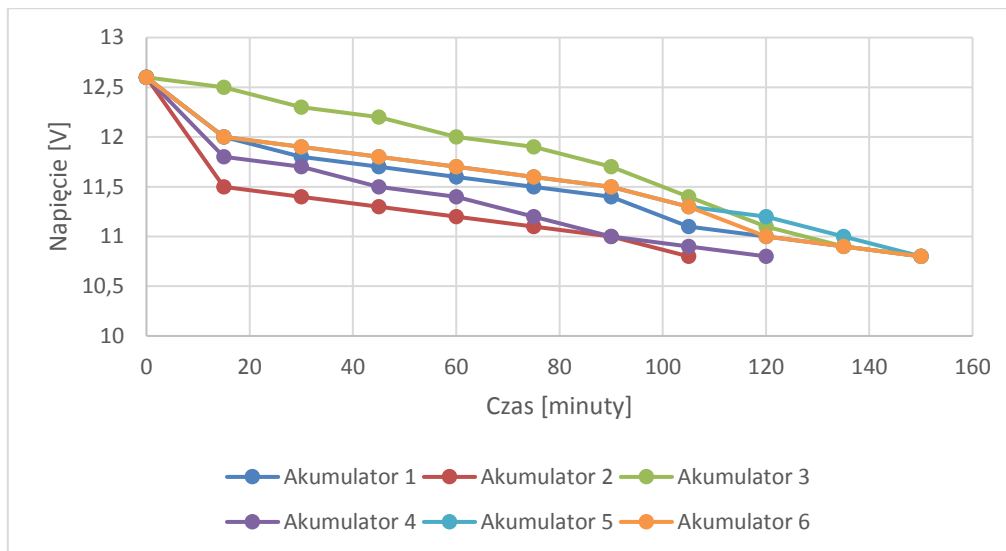
Podsumowując wielokrotne pomiary przeprowadzone w laboratorium nad pojedynczymi akumulatorami umożliwiają stworzenie wiarygodnych charakterystyk z procesu rozładowania oraz ładowania. Charakterystyką wyładowania określa się zależność napięcia na zaciskach akumulatora od czasu trwania rozładowania. Napięcie końcowe zależy od wartości prądu i jest około 0,2-0,6V niższe od napięcia początkowego rozładowania. Poszczególne egzemplarze akumulatorów nie odbiegają znacznie od swoich parametrów, aczkolwiek każdy badany egzemplarz nieznacznie różni się od siebie pojemnością. Warunki laboratoryjne były takie same dla wszystkich, a mimo to widać różnicę w parametrach akumulatorów. Podczas rozładowania można zauważyć znaczącą zależność zmiany wartości pojemności. Pojemności akumulatorów zmieniają się proporcjonalnie do stanu początkowego akumulatora. Wszystkie dotychczasowe badania akumulatorów odbywają się na pojedynczych egzemplarzach bez użycia urządzeń nadzoru BMS. Pojemność rozładowania akumulatora zależy także od prądu rozładowania. Dla większych natężeń prądu rozładowania pojemność maleje. Wynika to z faktu, iż przy dużych prądach szybkość reakcji chemicznych znacznie wzrasta, przez co kwas siarkowy, nie dociera do płyt w wystarczającej ilości. Dla zwiększenia parametru pojemności należy wydłużyć czas badania, im dłuższy jest proces rozładowywania tym lepiej. Przy rozładowaniu prądem 30A różnice w pojemnościach nowych akumulatorów mogą oscylować w granicach $\pm 10\%$, co jest spowodowane stanem technicznym poszczególnych akumulatorów.

6.2.2 Tabele i wykresy rozładowania indywidualnego dla akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym

Tabele pomiarowe precyzują proces rozładowania dla sześciu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym. Rozładowanie odbywało się na pojedynczych egzemplarzach bez zastosowania BMS. Otrzymane wartości pomiarów są prawidłowe, a niewielkie różnice w czasie i stopniu napięcia rozładowania wynikają z różnych kondycji akumulatorów. Podczas rozładowania następuje stopniowy spadek napięcia do wartości napięcia minimalnego 10,8V. Po dziesięciokrotnych próbach przeprowadzonych na tych akumulatorach można stwierdzić, że dwa akumulatory (nr 2 i 4) mają mniejszą pojemność, ponieważ czas rozładowania (tym samym prądem o wartości 2,5h dla akumulatorów o pojemności 110Ah) jest krótszy od pozostałych. Dla przykładu dane zawarte w Tabeli 11 oraz Wykres 23 potwierdzają zmniejszoną pojemność akumulatora nr 2, który osiągnął napięcie minimalne w czasie 105 minut. Akumulatory, które zachowały największy poziom zmagazynowanej energii to akumulatory nr 5 i 6, co potwierdza wykres 30.

Tabela 11. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

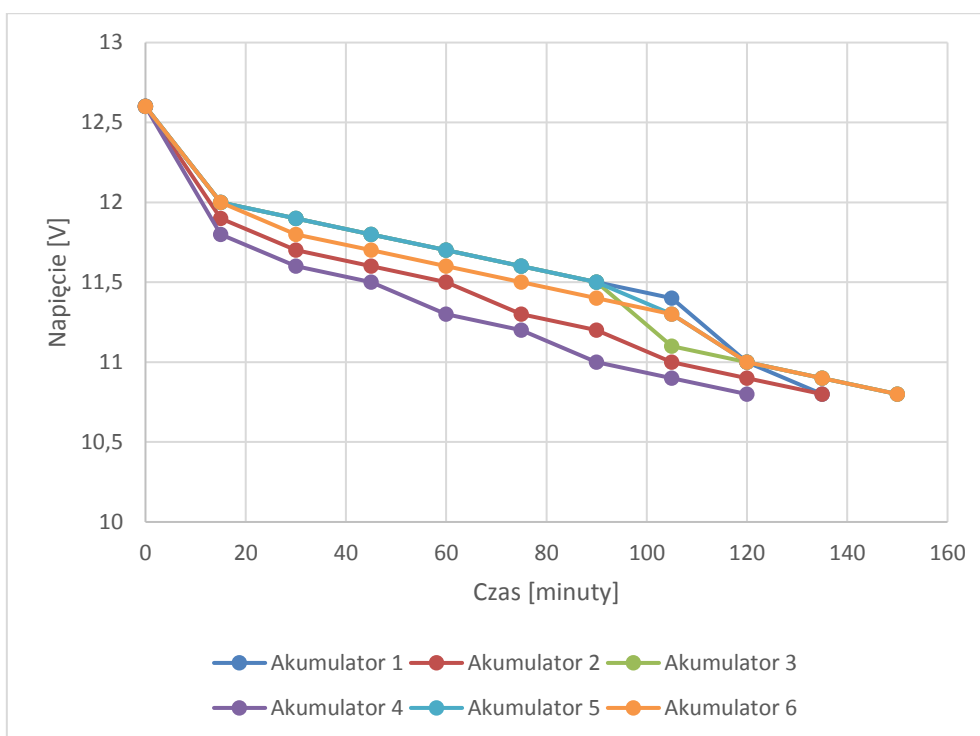
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	11,5	12,5	11,8	12	12	15
11,8	11,4	12,3	11,7	11,9	11,9	30
11,7	11,3	12,2	11,5	11,8	11,8	45
11,6	11,2	12	11,4	11,7	11,7	60
11,5	11,1	11,9	11,2	11,6	11,6	75
11,4	11	11,7	11	11,5	11,5	90
11,1	10,8	11,4	10,9	11,3	11,3	105
11		11,1	10,8	11,2	11	120
10,9		10,9		11	10,9	135
10,8		10,8		10,8	10,8	150
						165



Wykres 23. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

Tabela 12. Druga seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

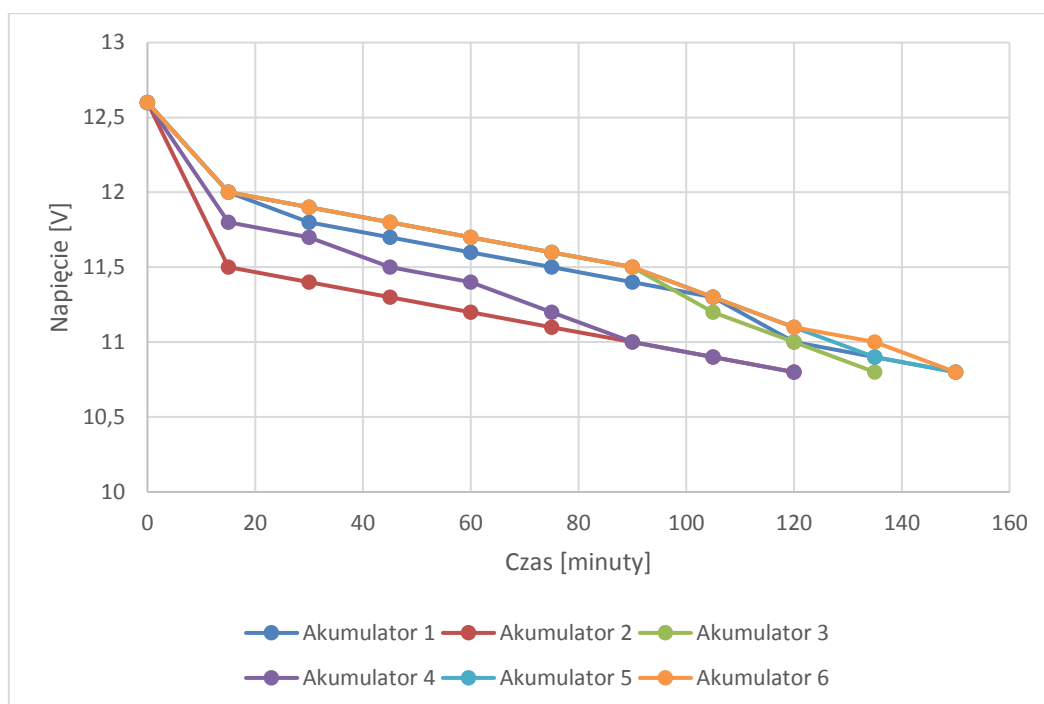
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	11,9	12	11,8	12	12	15
11,9	11,7	11,9	11,6	11,9	11,8	30
11,8	11,6	11,8	11,5	11,8	11,7	45
11,7	11,5	11,7	11,3	11,7	11,6	60
11,6	11,3	11,6	11,2	11,6	11,5	75
11,5	11,2	11,5	11	11,5	11,4	90
11,4	11	11,1	10,9	11,3	11,3	105
11	10,9	11	10,8	11	11	120
10,8	10,8	10,9		10,9	10,9	135
		10,8		10,8	10,8	150
						165



Wykres 24. Druga seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

Tabela 13. Trzecia seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

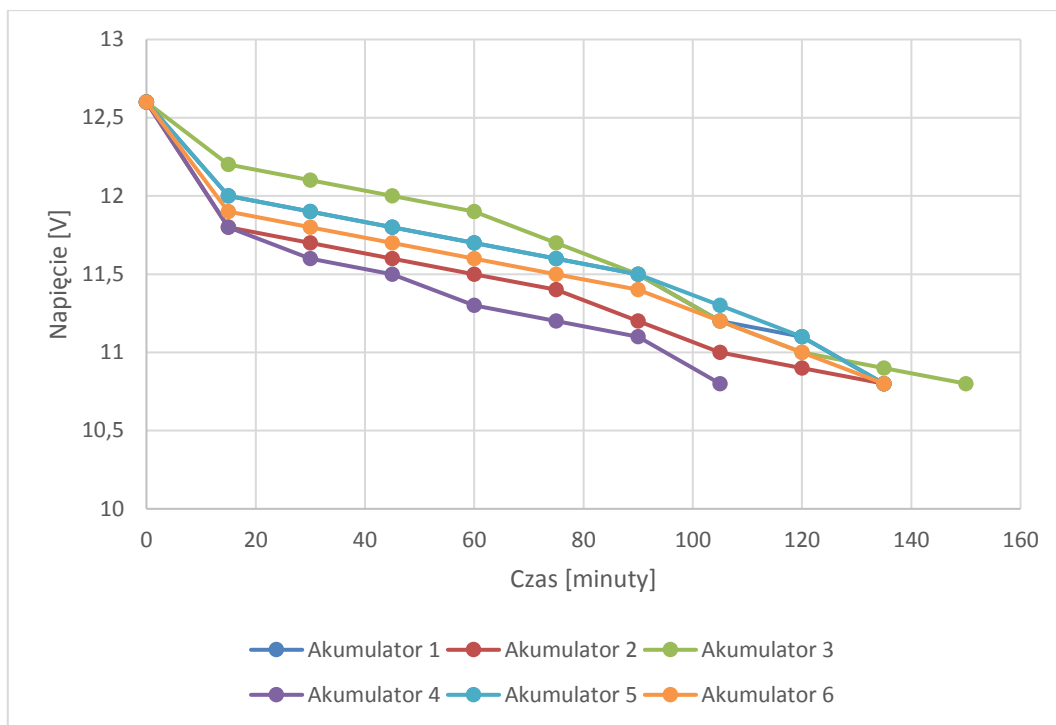
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	11,5	12	11,8	12	12	15
11,8	11,4	11,9	11,7	11,9	11,9	30
11,7	11,3	11,8	11,5	11,8	11,8	45
11,6	11,2	11,7	11,4	11,7	11,7	60
11,5	11,1	11,6	11,2	11,6	11,6	75
11,4	11	11,5	11	11,5	11,5	90
11,3	10,9	11,2	10,9	11,3	11,3	105
11	10,8	11	10,8	11,1	11,1	120
10,9		10,8		10,9	11	135
10,8				10,8	10,8	150
						165



Wykres 25. Seria trzecia rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

Tabela 14. Czwarta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

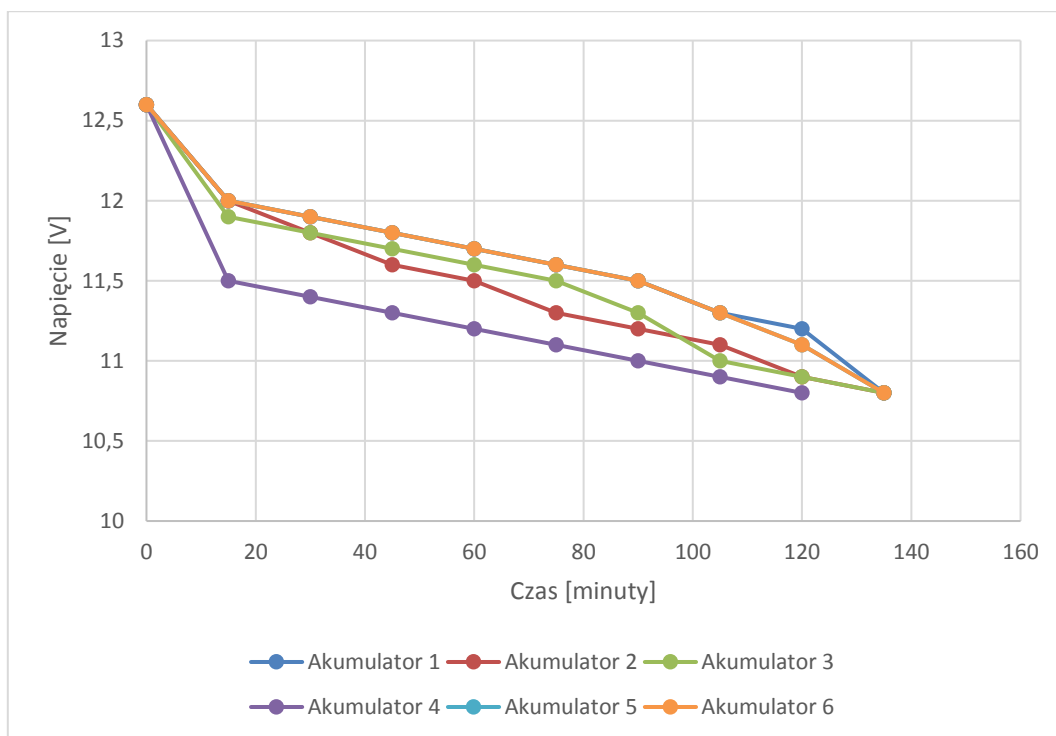
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	11,8	12,2	11,8	12	11,9	15
11,9	11,7	12,1	11,6	11,9	11,8	30
11,8	11,6	12	11,5	11,8	11,7	45
11,7	11,5	11,9	11,3	11,7	11,6	60
11,6	11,4	11,7	11,2	11,6	11,5	75
11,5	11,2	11,5	11,1	11,5	11,4	90
11,2	11	11,2	10,8	11,3	11,2	105
11,1	10,9	11		11,1	11	120
10,8	10,8	10,9		10,8	10,8	135
		10,8				150
						165



Wykres 26. Czwarta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

Tabela 15. Piąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

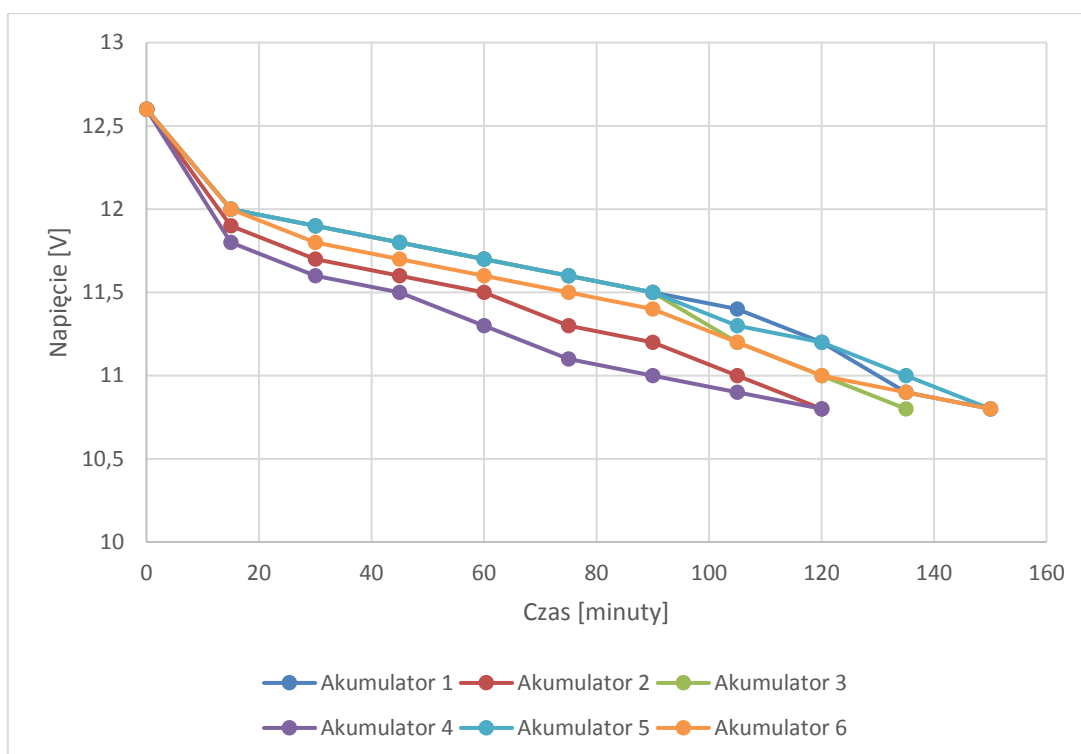
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	12	11,9	11,5	12	12	15
11,9	11,8	11,8	11,4	11,9	11,9	30
11,8	11,6	11,7	11,3	11,8	11,8	45
11,7	11,5	11,6	11,2	11,7	11,7	60
11,6	11,3	11,5	11,1	11,6	11,6	75
11,5	11,2	11,3	11	11,5	11,5	90
11,3	11,1	11	10,9	11,3	11,3	105
11,2	10,9	10,9	10,8	11,1	11,1	120
10,8	10,8	10,8		10,8	10,8	135
						150
						165



Wykres 27. Piąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

Tabela 16. Szósta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS

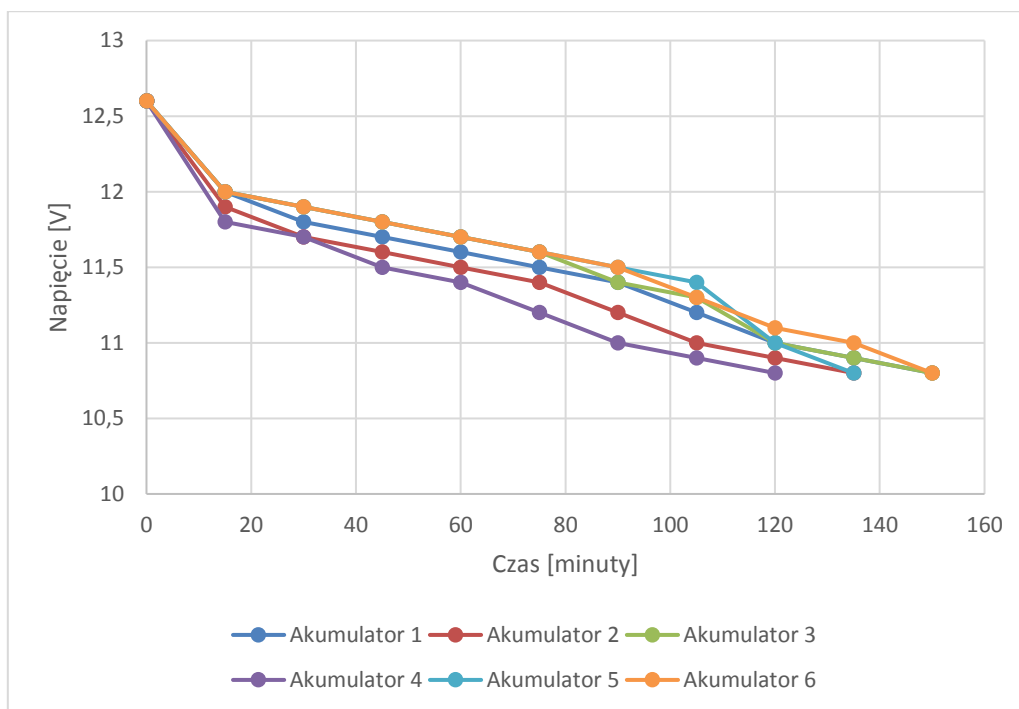
Akumulat or 1 [V]	Akumulat or 2 [V]	Akumulat or 3 [V]	Akumulat or 4 [V]	Akumulat or 5 [V]	Akumulat or 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	11,9	12	11,8	12	12	15
11,9	11,7	11,9	11,6	11,9	11,8	30
11,8	11,6	11,8	11,5	11,8	11,7	45
11,7	11,5	11,7	11,3	11,7	11,6	60
11,6	11,3	11,6	11,1	11,6	11,5	75
11,5	11,2	11,5	11	11,5	11,4	90
11,4	11	11,2	10,9	11,3	11,2	105
11,2	10,8	11	10,8	11,2	11	120
10,9		10,8		11	10,9	135
10,8				10,8	10,8	150
						165



Wykres 28. Szósta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS

Tabela 17. Siódma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS

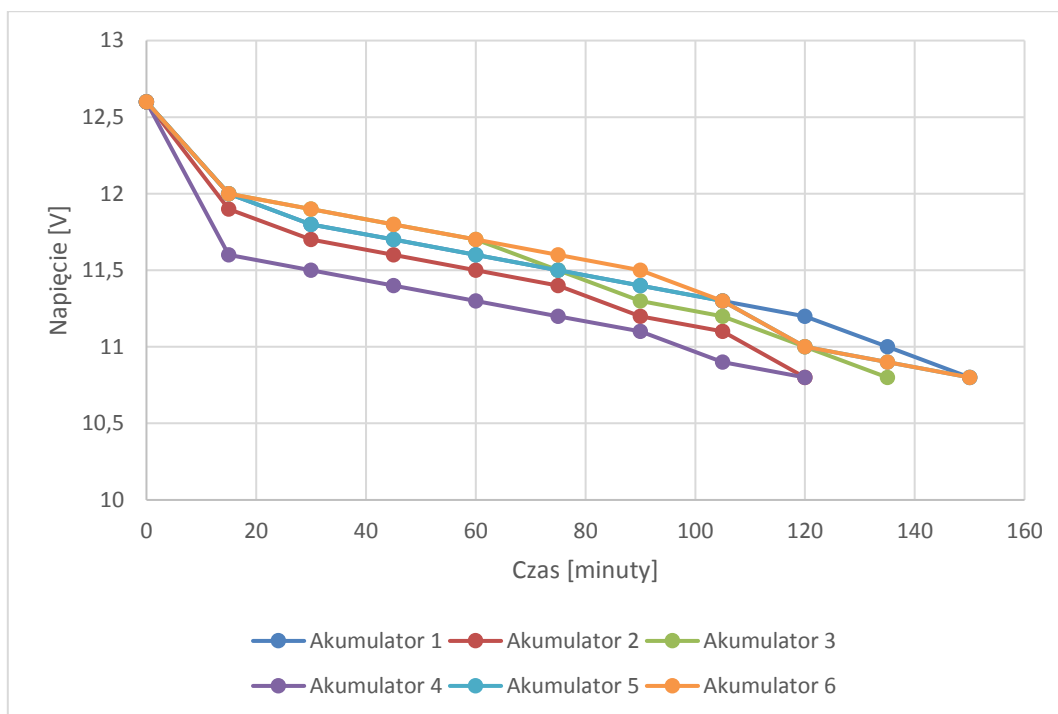
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	11,9	12	11,8	12	12	15
11,8	11,7	11,9	11,7	11,9	11,9	30
11,7	11,6	11,8	11,5	11,8	11,8	45
11,6	11,5	11,7	11,4	11,7	11,7	60
11,5	11,4	11,6	11,2	11,6	11,6	75
11,4	11,2	11,4	11	11,5	11,5	90
11,2	11	11,3	10,9	11,4	11,3	105
11	10,9	11	10,8	11	11,1	120
10,9	10,8	10,9	10,8	10,8	11	135
10,8		10,8			10,8	150
						165



Wykres 29. Siódma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

Tabela 18. Ósma seria rozładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym bez BMS

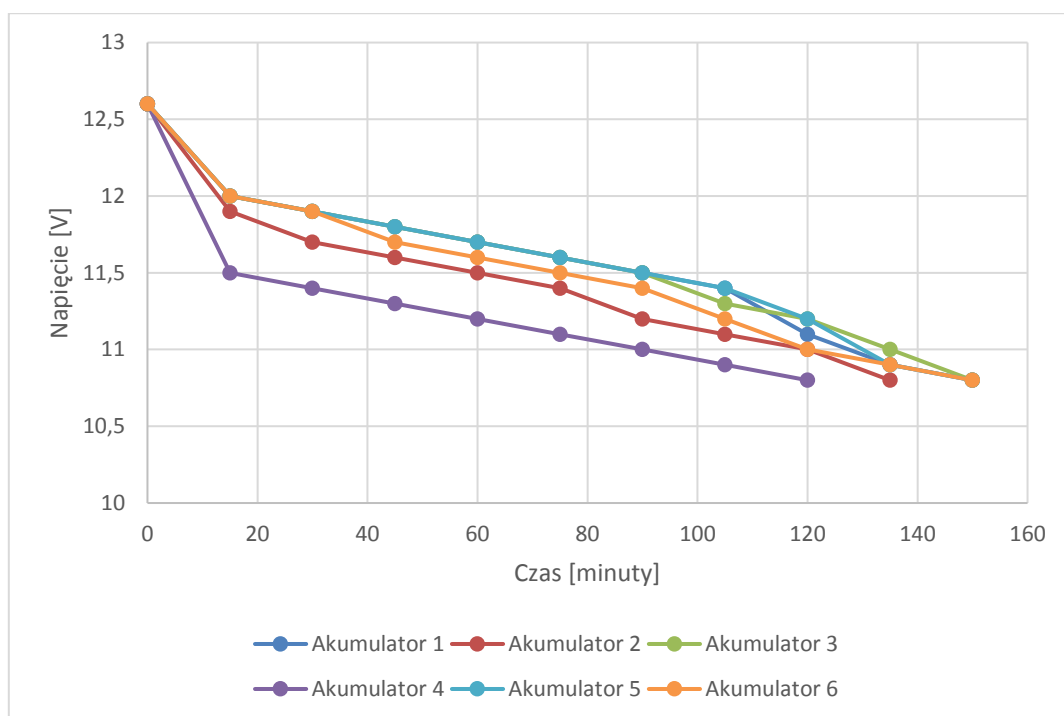
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	11,9	12	11,6	12	12	15
11,8	11,7	11,9	11,5	11,8	11,9	30
11,7	11,6	11,8	11,4	11,7	11,8	45
11,6	11,5	11,7	11,3	11,6	11,7	60
11,5	11,4	11,5	11,2	11,5	11,6	75
11,4	11,2	11,3	11,1	11,4	11,5	90
11,3	11,1	11,2	10,9	11,3	11,3	105
11,2	10,8	11	10,8	11	11	120
11		10,8		10,9	10,9	135
10,8				10,8	10,8	150
						165



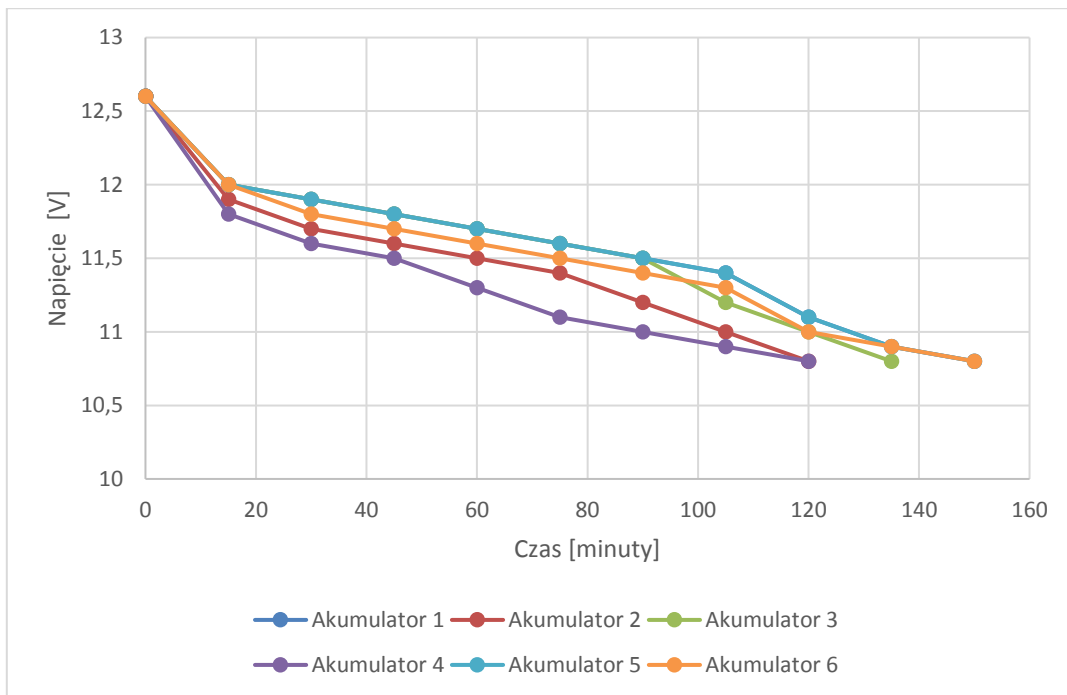
Wykres 30. Ósma seria rozładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym bez BMS

Tabela 19. Dziewiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	11,9	12	11,5	12	12	15
11,9	11,7	11,9	11,4	11,9	11,9	30
11,8	11,6	11,8	11,3	11,8	11,7	45
11,7	11,5	11,7	11,2	11,7	11,6	60
11,6	11,4	11,6	11,1	11,6	11,5	75
11,5	11,2	11,5	11	11,5	11,4	90
11,4	11,1	11,3	10,9	11,4	11,2	105
11,1	11	11,2	10,8	11,2	11	120
10,9	10,8	11		10,9	10,9	135
10,8		10,8		10,8	10,8	150
						165


Wykres 31. Dziewiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS
Tabela 20. Dziesiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	0
12	11,9	12	11,8	12	12	15
11,9	11,7	11,9	11,6	11,9	11,8	30
11,8	11,6	11,8	11,5	11,8	11,7	45
11,7	11,5	11,7	11,3	11,7	11,6	60
11,6	11,4	11,6	11,1	11,6	11,5	75
11,5	11,2	11,5	11	11,5	11,4	90
11,4	11	11,2	10,9	11,4	11,3	105
11,1	10,8	11	10,8	11,1	11	120
10,9		10,8		10,9	10,9	135
10,8				10,8	10,8	150
						165



Wykres 32. Dziesiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS

6.3 Łączenie pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym

Kolejna seria badań sprowadza się do wielokrotnego rozładowania oraz ładowania zestawu akumulatorów połączonych w string w celu ustabilizowania procesów chemicznych zachodzących w akumulatorach. W taki sposób akumulator zostaje doprowadzony do stanu normalnej eksploatacji. Posiadając określone dane na temat pojemności można badać zestaw akumulatorów składający się z sześciu akumulatorów połączonych szeregowo. Pomiary powtarzane są pięciokrotnie a wyniki należy uśrednić. Następuje rozładowanie akumulatorów do momentu osiągnięcia minimalnego napięcia rozładowania, mianowicie 10,8V na każdym akumulatorze. Wtedy proces rozładowywania zostaje wstrzymany, a po godzinnej przerwie uruchomione zostaje ładowanie prądem 10A. Pomiary są rejestrowane oraz wykonywane automatycznie przez urządzenia badawcze i w formie charakterystyk zostaną dołączone do raportu.

Badania pod kątem sposobu łączenia zestawu akumulatorów wykonano na kilka sposobów m.in:

1. Poprzez lutowanie zacisków akumulatora do elementów łączeniowych biegunów;
2. Poprzez mocowanie zaciskami sprężystymi poszczególnych konektorów;
3. Poprzez łączenie za pomocą klem do akumulatorów (zaciski powszechnie stosowane do łączenia np. w motoryzacji).

Wszystkie typy połączeń będą uwierzytelnione stosownymi charakterystykami oraz zdjęciami. Dla lepszej oceny zostaną również dołączone zdjęcia z kamery termowizyjnej, świadczące o wyborze najbardziej optymalnego połączenia akumulatorów.

6.3.1 Lutowanie zacisków akumulatora do elementów łączeniowych biegunów akumulatorów ołowiowych



Zdjęcie 10. Zestaw mostków do łączenia akumulatorów poprzez lutowanie



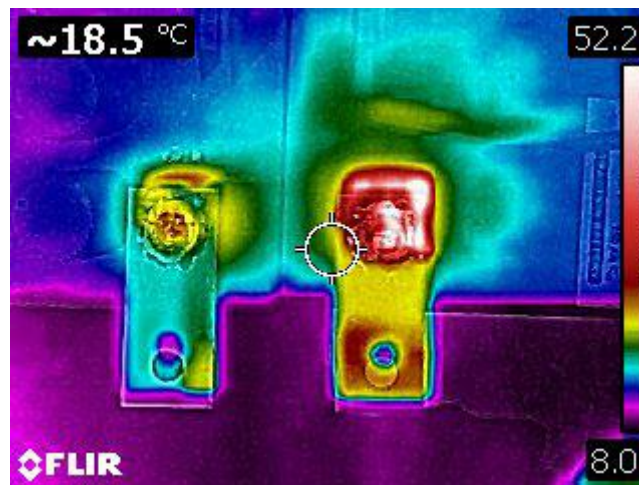
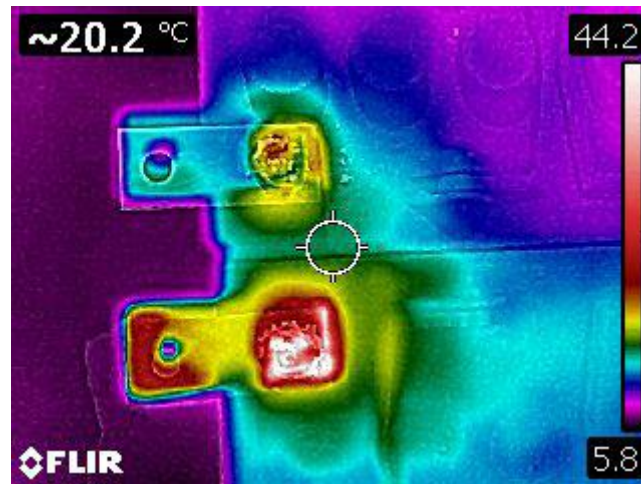
Zdjęcie 11. Połączenie akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym poprzez lutowanie



Zdjęcie 12. Połączenie konektorów poprzez lutowanie

Podczas prac badawczych w celu określenia optymalnego połączenia mechanicznego zestawu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym, przeprowadzono wielokrotne próby i testy. Pierwsze badanie sposobu łączenia opierało się na czynności lutowania z użyciem elektrody grafitowej konektorów do zacisków, co przedstawiają zdjęcia 10, 11 i 12. Uzyskane w ten sposób połączenie elektryczne było poprawne. Połączenia takie były kiedyś powszechnie stosowane w akumulatorach ołowiowych i zasadowych. Obecnie jednak ten sposób łączenia nie jest już tak powszechny. Przy lutowaniu zacisku akumulatora i konektora z blachy miedzianej - trwałość takich połączeń pod kątem mechanicznym jest niewystarczająca. Ponadto w takim łączeniu temperatura konektora znacznie wzrasta, co jest sprzeczne z oczekiwanymi efektami. Akumulatory trakcyjne poddawane badaniom nie są przystosowane do łączenia z użyciem wysokiej temperatury. Ich obudowa wykonana jest z plastiku, co może doprowadzić do rozszczelnienia, a następnie uwolnienia elektrolitu z obudowy. Połączenia elektryczne również podczas pracy nie spełniły oczekiwań,

ponieważ wystąpił znaczny wzrost temperatury konektora. Takie połączenia nie są wskazane, gdyż wymagają posiadania dedykowanych elementów łącznych akumulatorów oraz specjalistycznego sprzętu.



Zdjęcie 13. Połączenie zacisków akumulatorów ołowiowych przez lutowanie wykonane kamerą termowizyjną

Znaczny wzrost temperatury na łączeniu konektorów metodą lutowania przedstawia zdjęcie 13 z kamery termowizyjnej. Jak wynika z wcześniejszych wniosków taki wzrost temperatury badanych akumulatorów jest niewskazany. Wyklucza to wybór tego połączenia mechanicznego jako optymalnego dla badanej instalacji laboratoryjnej.

6.3.2 Mocowanie zaciskami sprężystymi poszczególnych konektorów



Zdjęcie 14. Zestaw konektorów sprężystych do łączenia akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym



Zdjęcie 15. Połączenie akumulatorów poprzez zaciski sprężyste

Kolejnym sposobem połączenia akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym w instalacje laboratoryjną jest wykorzystanie zacisków sprężystych (zdjęcie 14 i 15). Skuteczność tej metody jest tymczasowa, wykorzystywana jedynie w awaryjnych sytuacjach. Stosowane w charakterze ciągłym nie spełniają założonych oczekiwań. Z uwagi na małą powierzchnię styku zacisku oraz konektora akumulatora występuje stosunkowo wysoka oporność i niska zdolność do przenoszenia dużych prądów. Wpływa to na wzrost temperatury w miejscu styku (zdjęcie 16,17),

pomimo posiadania dużego przekroju przewodów łączeniowych, przedstawiony sposób połączenia będzie prowadził do wzrostu temperatury układu zasilającego. Wadą zacisków sprężystych są również ich znaczne gabaryty.



Zdjęcie 16. Zdjęcie łączenia akumulatorów ołowiowych poprzez zaciski mechaniczne wykonane kamerą termowizyjną



Zdjęcie 17. Zdjęcie łączenia akumulatorów ołowiowych poprzez zaciski mechaniczne wykonane kamerą termowizyjną

6.3.3 Połączenie akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym za pomocą klem (zacisków mechanicznych)



Zdjęcie 18. Połączenie za pomocą zacisków mechanicznych – klem (powszechnie stosowanych w motoryzacji)

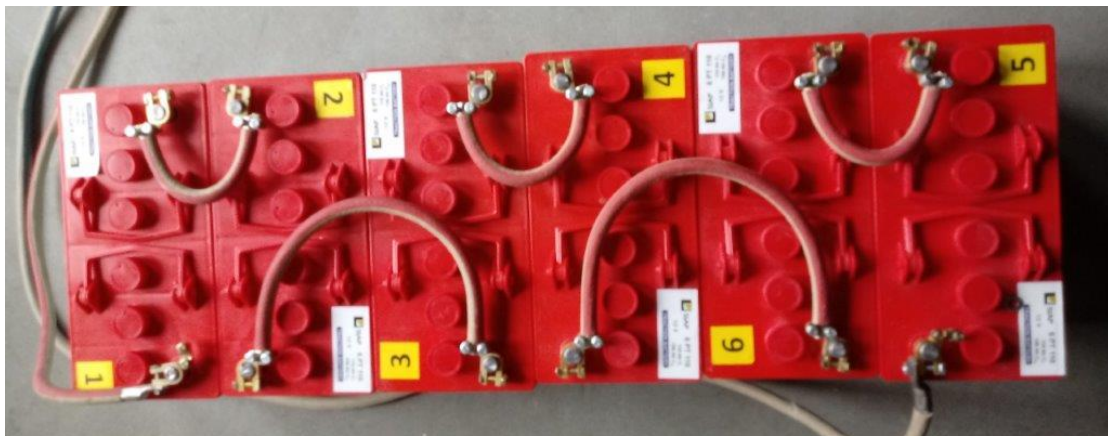
Na podstawie przeprowadzenia wielokrotnych prób i testów wybrano sposób połączenia akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym przez zaciski mechaniczne (zdjęcie 18). Jest to najbardziej optymalne połączenie dla instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym. Podczas przepływu prądu stwierdzono jedynie niewielki wzrost temperatury w okolicach konektorów, co przedstawiają Zdjęcia 19. Tego typu połączenie zapewnia długotrwałą pracę zestawu akumulatorów w pojeździe.



Zdjęcie 19. Połączenie za pomocą klem- zdjęcia z kamery termowizyjnej

6.4 Ładowanie pakietu akumulatorów (ołowiowy z elektrolitem ciekłym) bez systemu BMS

Badania zestawów akumulatorów ołowiowych rozpoczęto od połączenia szeregowego sześciu sztuk akumulatorów (zdjęcie 20). Następnie przeprowadzono serię badań wielokrotnego rozładowania oraz ładowania akumulatorów bez użycia BMS. W celu wykazania różnic napięcia poszczególnych egzemplarzy oba procesy powtarzano dziesięciokrotnie. Prąd obciążenia akumulatorów wynosił 42A. Stanowi to wartość 2,5h dla akumulatorów o pojemności 110Ah.



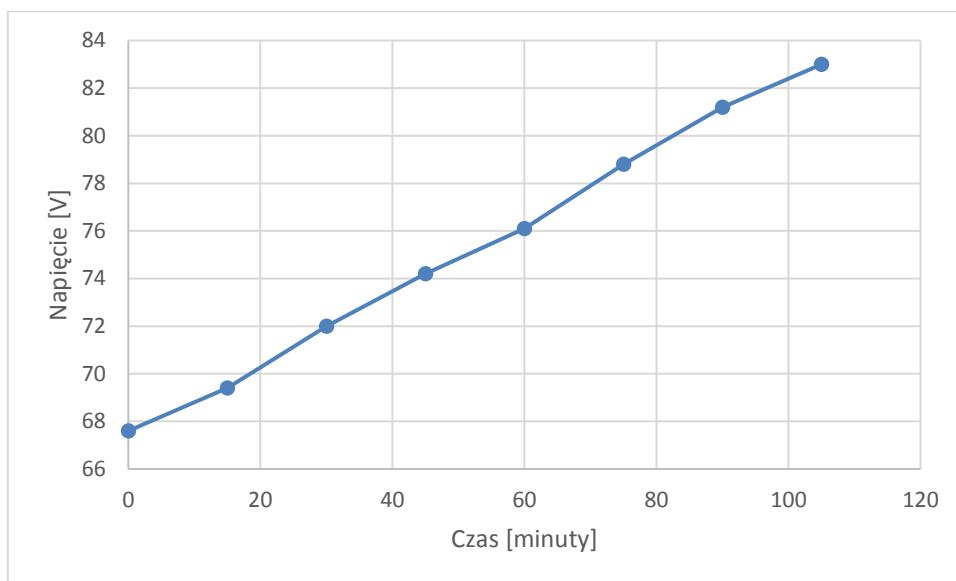
Zdjęcie 20. Połączenie szeregowe akumulatorów za pomocą zacisków mechanicznych (optymalny sposób połączenia)

Procesy ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez zastosowania systemu BMS scharakteryzowane zostały w tabelach 21-30 oraz na wykresach 33-52. Każda seria ładowania kończyła się osiągnięciem wartości maksymalnego napięcia (14,4V) - przynajmniej na jednym z akumulatorów. Otrzymane wyniki sugerują słabszą kondycję akumulatora nr 2 i 4, ponieważ mają najdłuższy czas ładowania (największy spadek pojemności), co widać np. w tabeli 21. Dla przykładu w tabeli 23 zaobserwowano najmocniejsze akumulatory (nr 5 i 3) ładujące się najszybciej, ponieważ wartość pełnego naładowania osiągnęły po 2h. W tym samym czasie najslabsze (akumulatory 2 i 4) osiągnęły napięcie zaledwie 13,3V. Osiągnięcie optymalnych parametrów przez każdy akumulator wiązałoby się z zastosowaniem systemu BMS do łączenia pakietu akumulatorów.

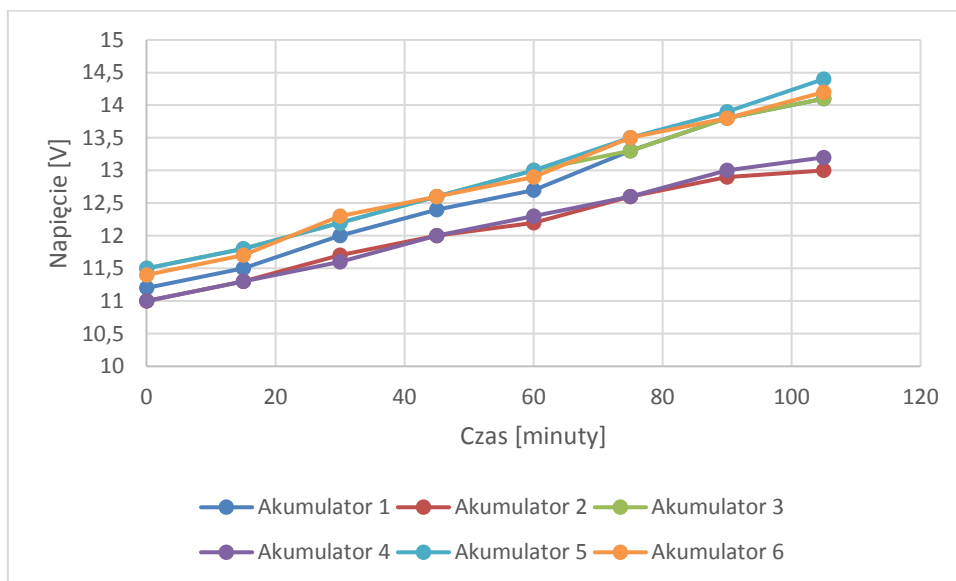


Tabela 21. Pierwsza seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,6	42A	86,4 V	11,2	11	11,5	11	11,5	11,4
15	69,4	42A	86,4 V	11,5	11,3	11,8	11,3	11,8	11,7
30	72	42A	86,4 V	12	11,7	12,2	11,6	12,2	12,3
45	74,2	42A	86,4 V	12,4	12	12,6	12	12,6	12,6
60	63,8	42A	86,4 V	12,7	12,2	13	12,3,	13	12,9
75	78,8	42A	86,4 V	13,3	12,6	13,3	12,6	13,5	13,5
90	81,2	42A	86,4 V	13,8	12,9	13,8	13	13,9	13,8
105	83	42A	86,4 V	14,1	13	14,1	13,2	14,4	14,2



Wykres 33. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS

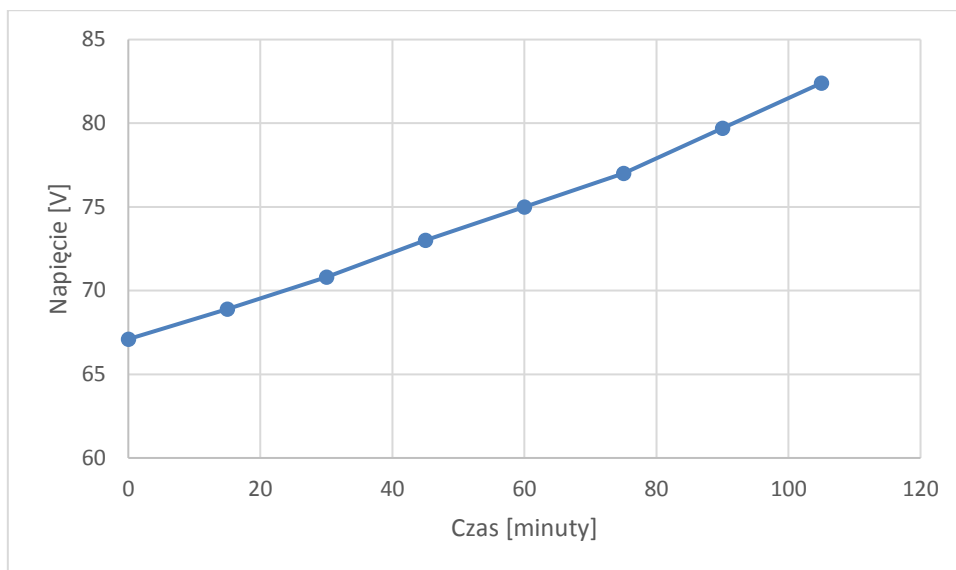


Wykres 34. Pierwsza seria ładowanie pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

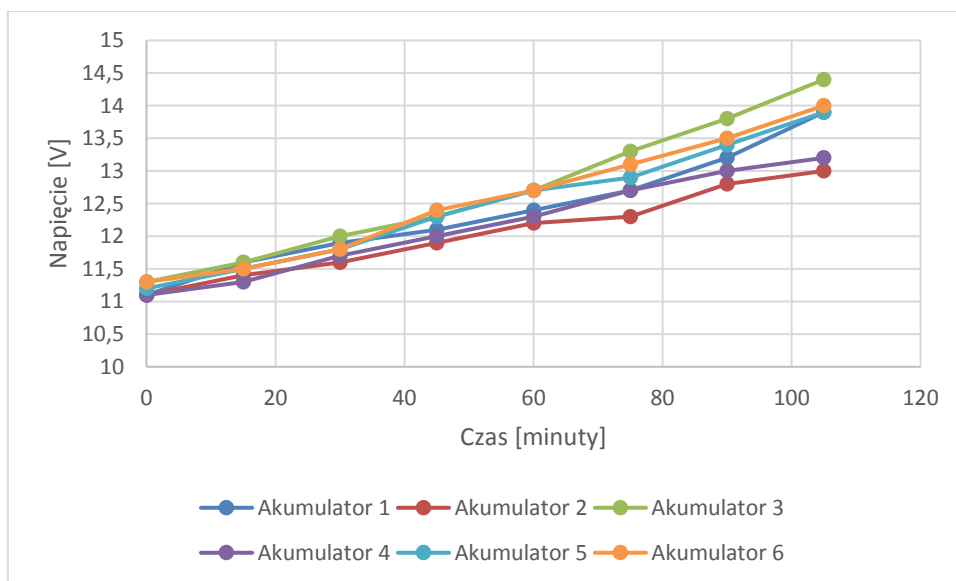


Tabela 22. Druga seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,1	42A	86,4 V	11,1	11,1	11,3	11,1	11,2	11,3
15	68,9	42A	86,4 V	11,6	11,4	11,6	11,3	11,5	11,5
30	70,8	42A	86,4 V	11,9	11,6	12	11,7	11,8	11,8
45	73	42A	86,4 V	12,1	11,9	12,3	12	12,3	12,4
60	75	42A	86,4 V	12,4	12,2	12,7	12,3	12,7	12,7
75	77	42A	86,4 V	12,7	12,3	13,3	12,7	12,9	13,1
90	79,7	42A	86,4 V	13,2	12,8	13,8	13	13,4	13,5
105	82,4	42A	86,4 V	13,9	13	14,4	13,2	13,9	14



Wykres 35. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS

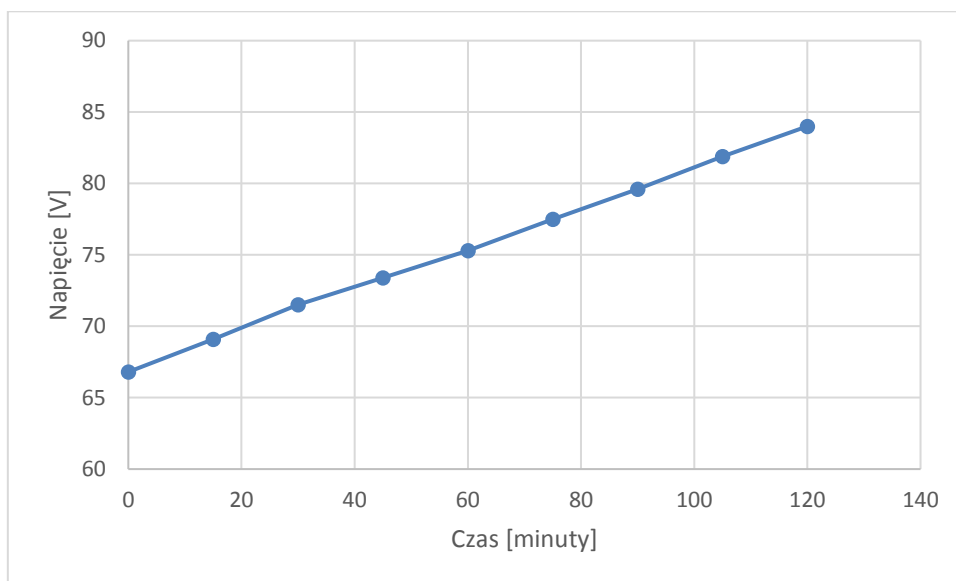


Wykres 36. Druga seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

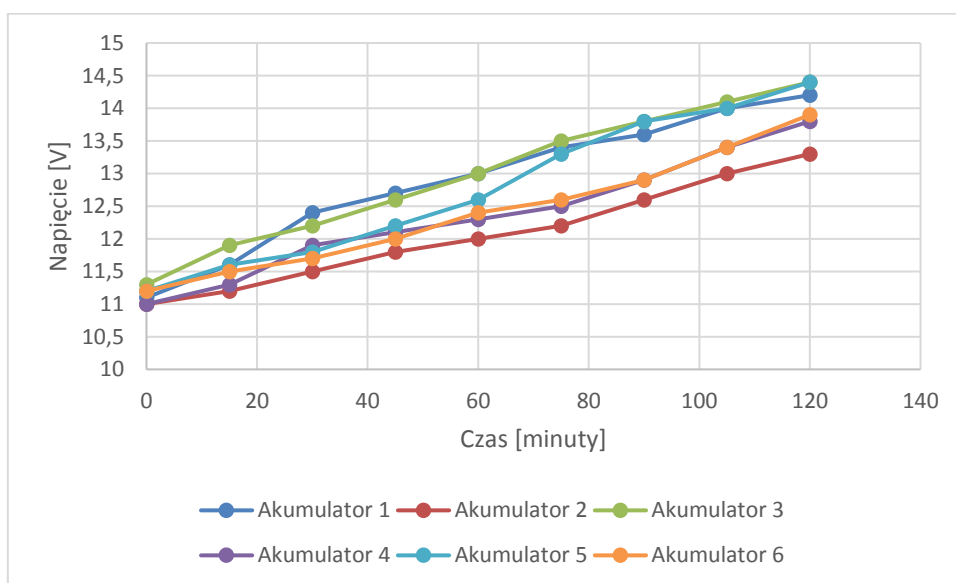


Tabela 23. Trzecia seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	66,8	42A	86,4 V	11,1	11	11,3	11	11,2	11,2
15	69,1	42A	86,4 V	11,6	11,2	11,9	11,3	11,6	11,5
30	71,5	42A	86,4 V	12,4	11,5	12,2	11,9	11,8	11,7
45	73,4	42A	86,4 V	12,7	11,8	12,6	12,1	12,2	12
60	75,3	42A	86,4 V	13	12	13	12,3	12,6	12,4
75	77,5	42A	86,4 V	13,4	12,2	13,5	12,5	13,3	12,6
90	79,6	42A	86,4 V	13,6	12,6	13,8	12,9	13,8	12,9
105	81,9	42A	86,4 V	14	13	14,1	13,4	14	13,4
120	84	42A	86,4 V	14,2	13,3	14,4	13,8	14,4	13,9



Wykres 37. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych bez BMS

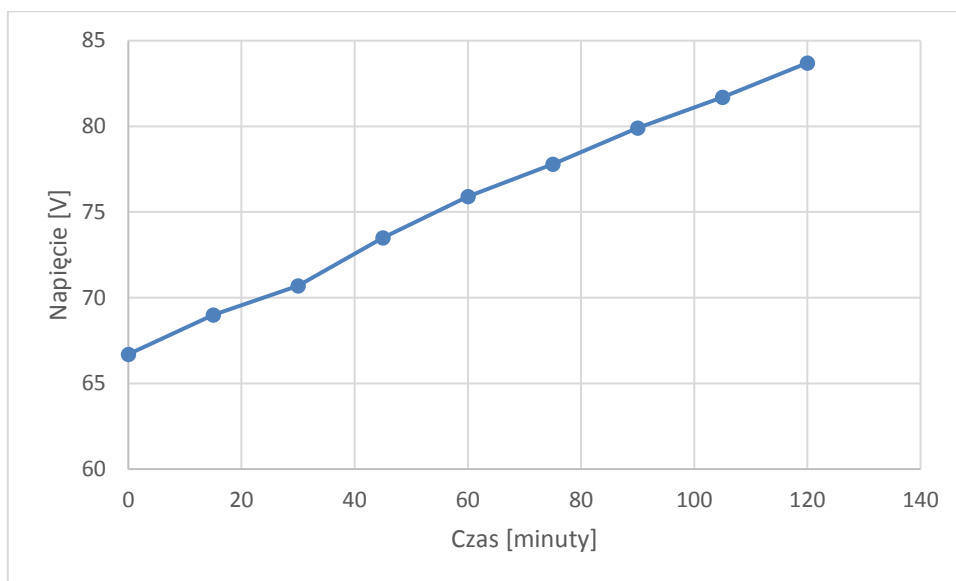


Wykres 38. Trzecia seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

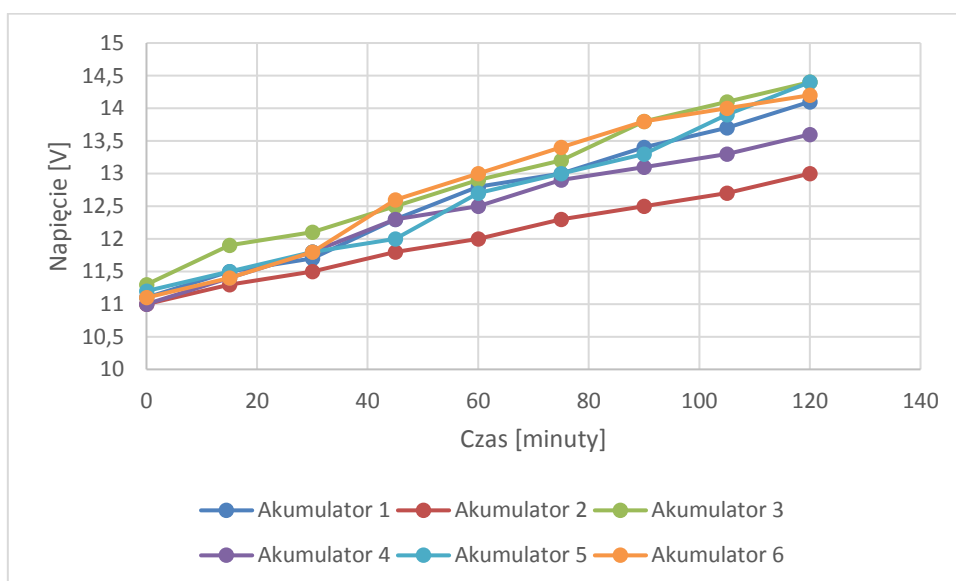


Tabela 24. Czwarta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	66,7	42A	86,4 V	11,1	11	11,3	11	11,2	11,1
15	69	42A	86,4 V	11,5	11,3	11,9	11,4	11,5	11,4
30	70,7	42A	86,4 V	11,7	11,5	12,1	11,8	11,8	11,8
45	73,5	42A	86,4 V	12,3	11,8	12,5	12,3	12	12,6
60	75,9	42A	86,4 V	12,8	12	12,9	12,5	12,7	13
75	77,8	42A	86,4 V	13	12,3	13,2	12,9	13	13,4
90	79,9	42A	86,4 V	13,4	12,5	13,8	13,1	13,3	13,8
105	81,7	42A	86,4 V	13,7	12,7	14,1	13,3	13,9	14
120	83,7	42A	86,4 V	14,1	13	14,4	13,6	14,4	14,2



Wykres 39. Napięcie stringu akumulatorów ołowianych podczas ładowania bez BMS

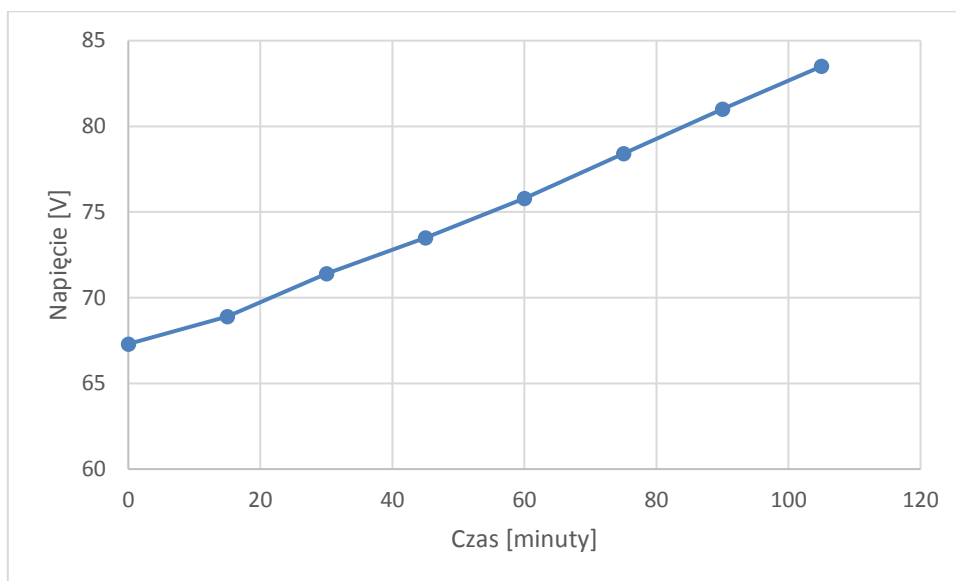


Wykres 40. Czwarta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowianych bez BMS

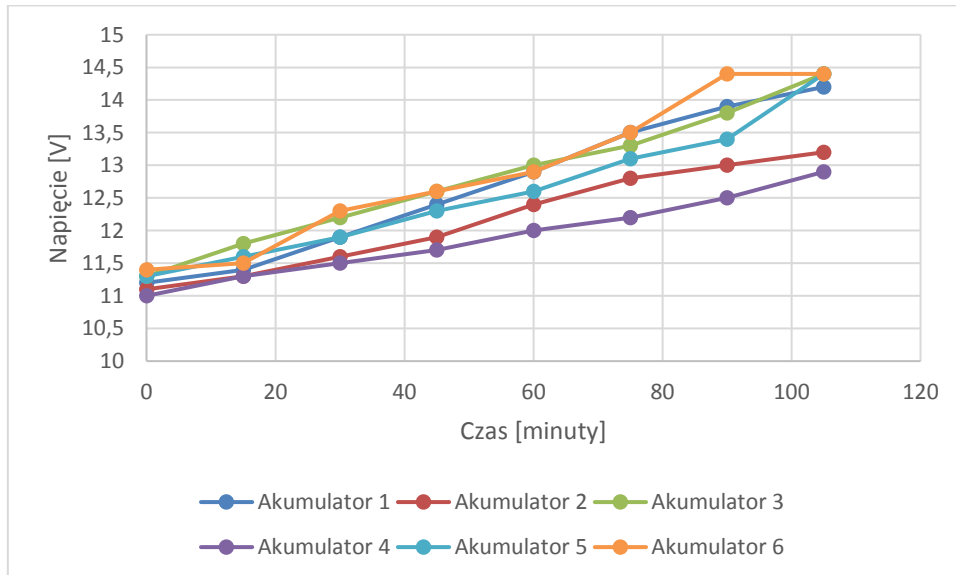


Tabela 25. Piąta seria ładowania pakietu akumulatorów bez użycia BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,3	42A	86,4 V	11,2	11,1	11,3	11	11,3	11,4
15	68,9	42A	86,4 V	11,4	11,3	11,8	11,3	11,6	11,5
30	71,4	42A	86,4 V	11,9	11,6	12,2	11,5	11,9	12,3
45	73,5	42A	86,4 V	12,4	11,9	12,6	11,7	12,3	12,6
60	75,8	42A	86,4 V	12,9	12,4	13	12	12,6	12,9
75	78,4	42A	86,4 V	13,5	12,8	13,3	12,2	13,1	13,5
90	81	42A	86,4 V	13,9	13	13,8	12,5	13,4	14,4
105	83,5	42A	86,4 V	14,2	13,2	14,4	12,9	14,4	14,4



Wykres 41. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z elektrolitem ciekłym bez BMS

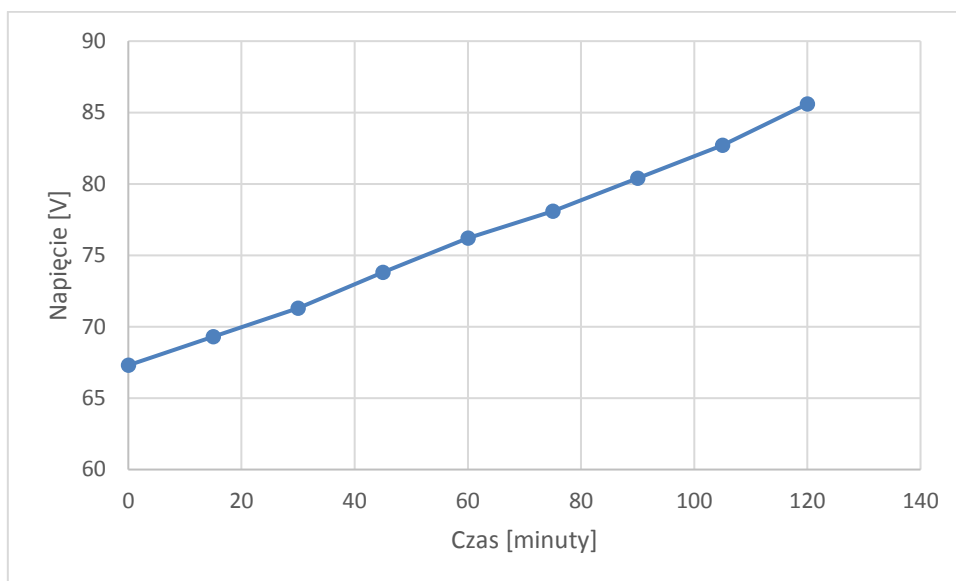


Wykres 42. Piąta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

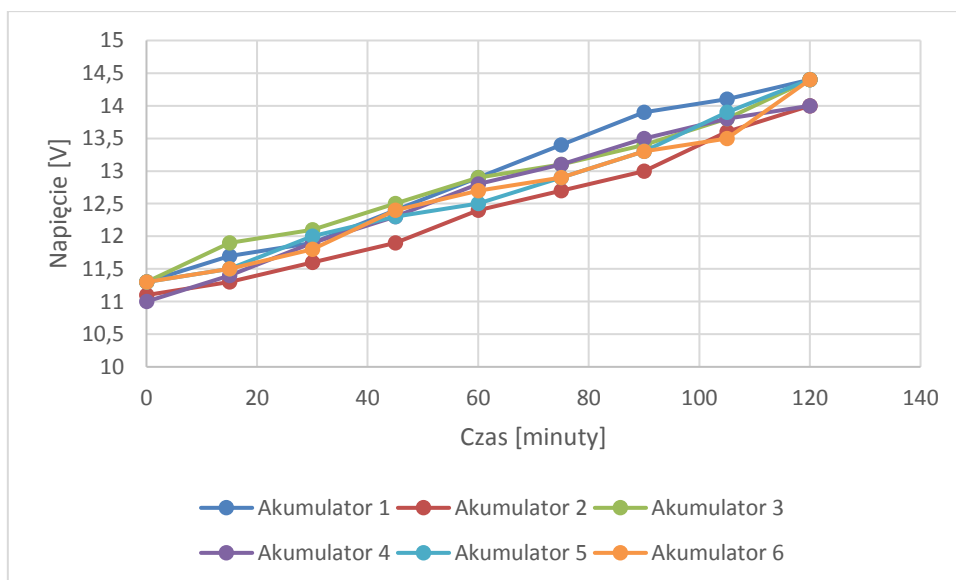


Tabela 26. Szósta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,3	42A	86,4 V	11,3	11,1	11,3	11	11,3	11,3
15	69,3	42A	86,4 V	11,7	11,3	11,9	11,4	11,5	11,5
30	71,3	42A	86,4 V	11,9	11,6	12,1	11,9	12	11,8
45	73,8	42A	86,4 V	12,4	11,9	12,5	12,3	12,3	12,4
60	76,2	42A	86,4 V	12,9	12,4	12,9	12,8	12,5	12,7
75	78,1	42A	86,4 V	13,4	12,7	13,1	13,1	12,9	12,9
90	80,4	42A	86,4 V	13,9	13	13,4	13,5	13,3	13,3
105	82,7	42A	86,4 V	14,1	13,6	13,8	13,8	13,9	13,5
120	85,6	42A	86,4 V	14,4	14	14,4	14	14,4	14,4



Wykres 43. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS

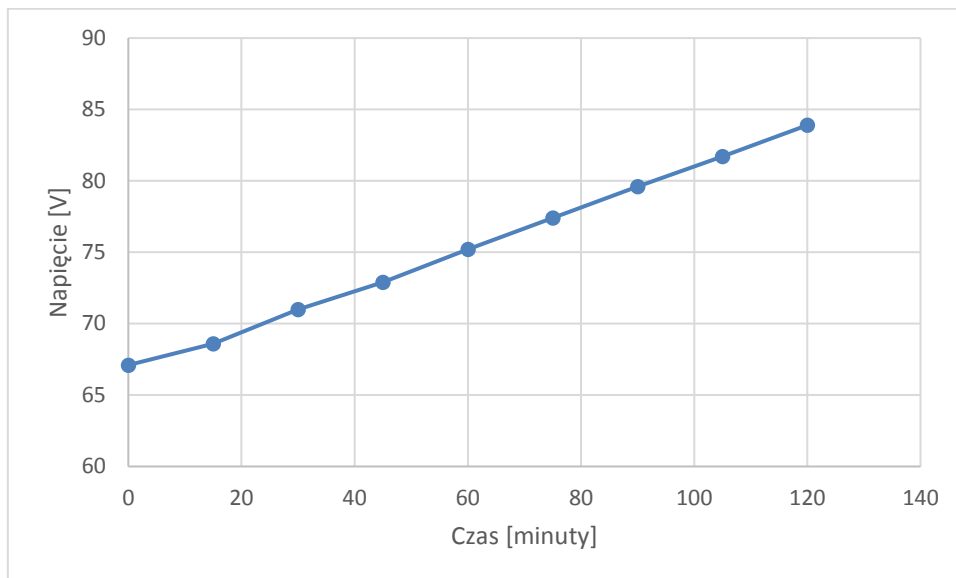


Wykres 44. Szósta seria ładowania akumulatorów ołowiowych bez BMS

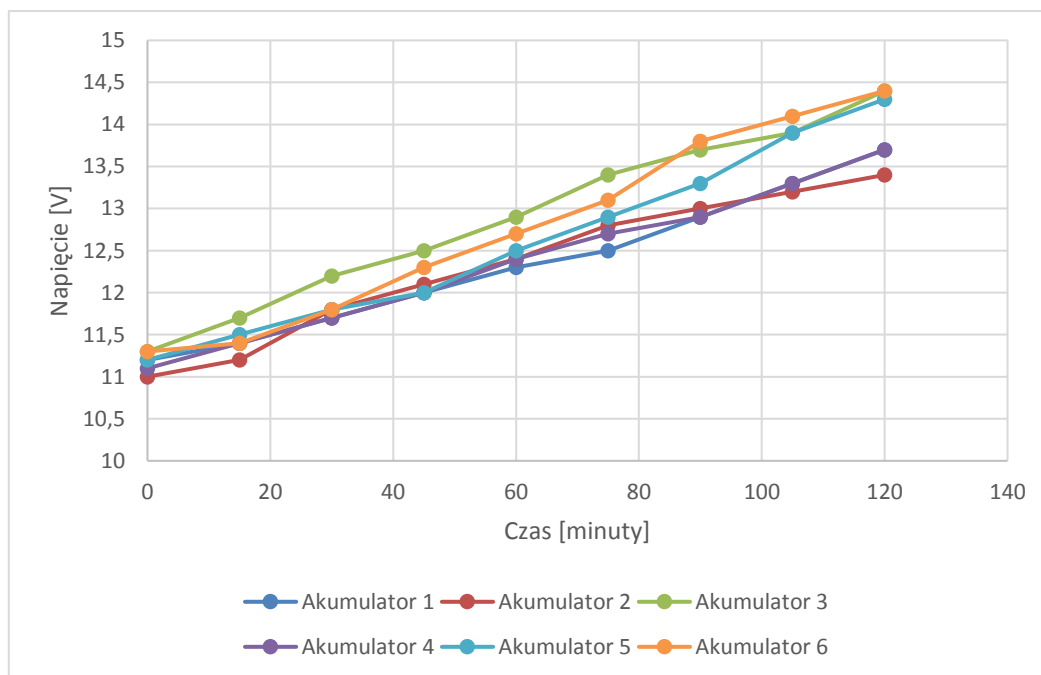


Tabela 27. Siódma seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,1	42A	86,4 V	11,2	11	11,3	11,1	11,2	11,3
15	68,6	42A	86,4 V	11,4	11,2	11,7	11,4	11,5	11,4
30	71	42A	86,4 V	11,7	11,8	12,2	11,7	11,8	11,8
45	72,9	42A	86,4 V	12	12,1	12,5	12	12	12,3
60	75,2	42A	86,4 V	12,3	12,4	12,9	12,4	12,5	12,7
75	77,4	42A	86,4 V	12,5	12,8	13,4	12,7	12,9	13,1
90	79,6	42A	86,4 V	12,9	13	13,7	12,9	13,3	13,8
105	81,7	42A	86,4 V	13,3	13,2	13,9	13,3	13,9	14,1
120	83,9	42A	86,4 V	13,7	13,4	14,4	13,7	14,3	14,4



Wykres 45. Napięcie stringu akumulatorów ołowowych podczas ładowania bez BMS

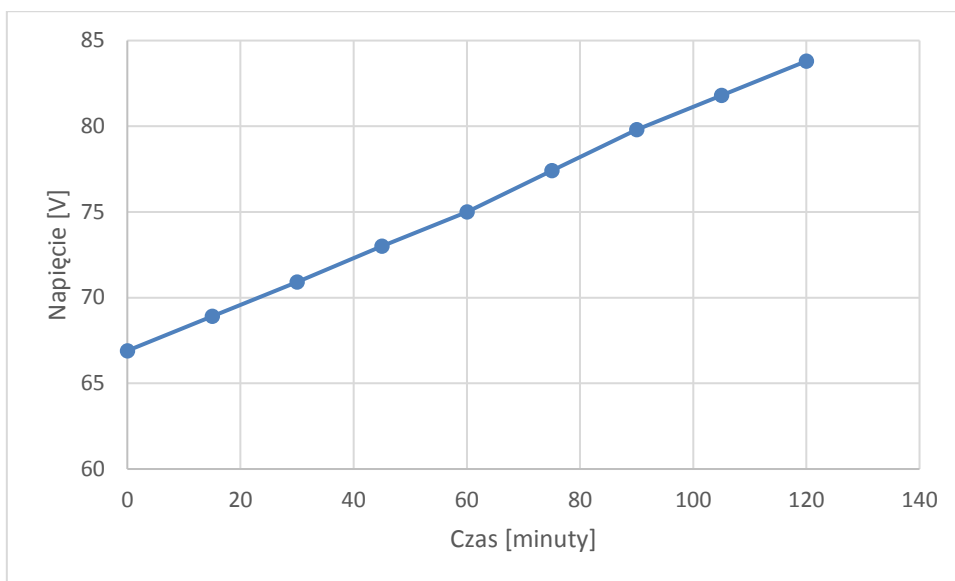


Wykres 46. Siódma seria ładowania pakietu akumulatorów ołowowych bez BMS

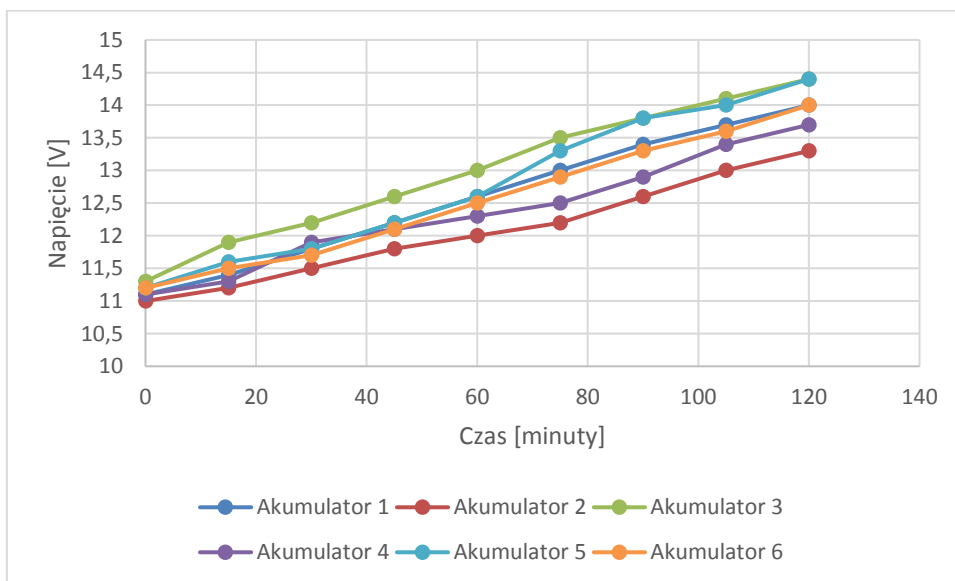


Tabela 28. Ósma seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	66,9	42A	86,4 V	11,1	11	11,3	11,1	11,2	11,2
15	68,9	42A	86,4 V	11,4	11,2	11,9	11,3	11,6	11,5
30	70,9	42A	86,4 V	11,8	11,5	12,2	11,9	11,8	11,7
45	73	42A	86,4 V	12,2	11,8	12,6	12,1	12,2	12,1
60	75	42A	86,4 V	12,6	12	13	12,3	12,6	12,5
75	77,4	42A	86,4 V	13	12,2	13,5	12,5	13,3	12,9
90	79,8	42A	86,4 V	13,4	12,6	13,8	12,9	13,8	13,3
105	81,8	42A	86,4 V	13,7	13	14,1	13,4	14	13,6
120	83,8	42A	86,4 V	14	13,3	14,4	13,7	14,4	14



Wykres 47. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS

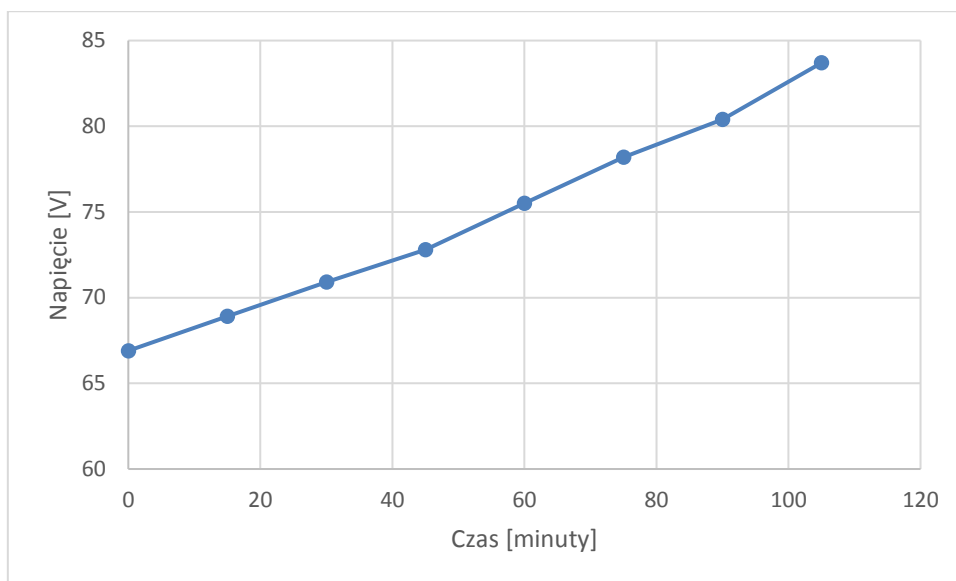


Wykres 48. Ósma seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

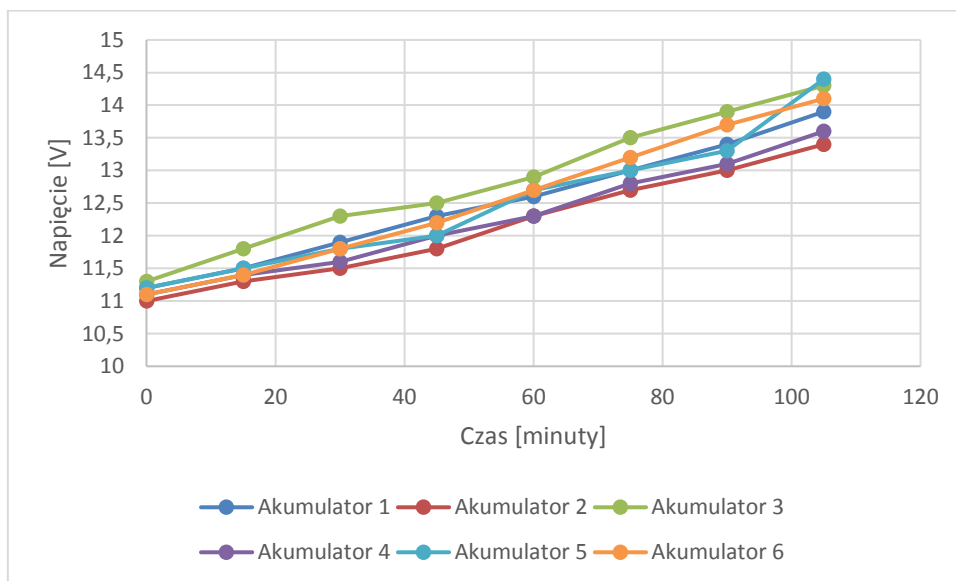


Tabela 29. Dziewiąta seria ładowania akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	66,9	42A	86,4 V	11,2	11	11,3	11,1	11,2	11,1
15	68,9	42A	86,4 V	11,5	11,3	11,8	11,4	11,5	11,4
30	70,9	42A	86,4 V	11,9	11,5	12,3	11,6	11,8	11,8
45	72,8	42A	86,4 V	12,3	11,8	12,5	12	12	12,2
60	75,5	42A	86,4 V	12,6	12,3	12,9	12,3	12,7	12,7
75	78,2	42A	86,4 V	13	12,7	13,5	12,8	13	13,2
90	80,4	42A	86,4 V	13,4	13	13,9	13,1	13,3	13,7
105	83,7	42A	86,4 V	13,9	13,4	14,3	13,6	14,4	14,1



Wykres 49. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS

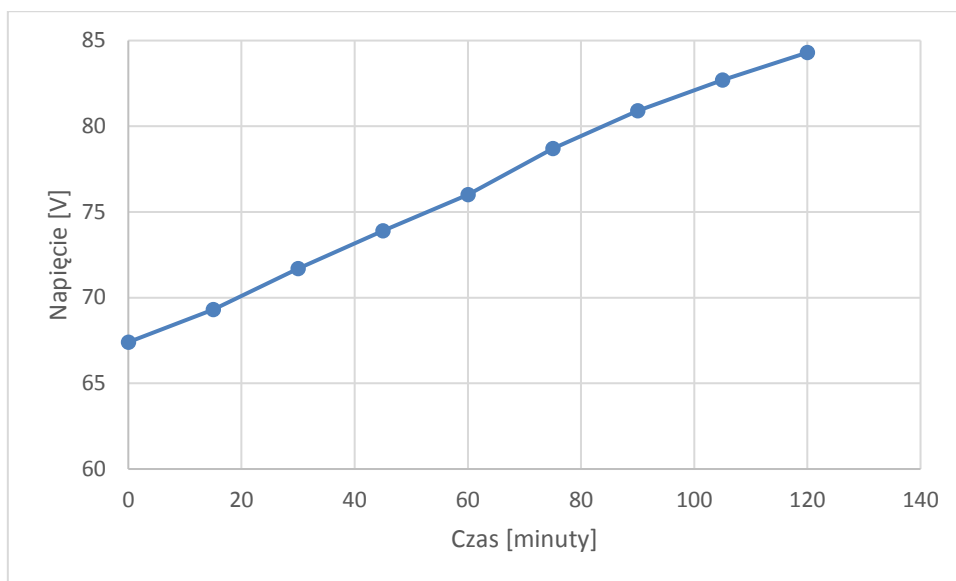


Wykres 50. Dziewięć seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

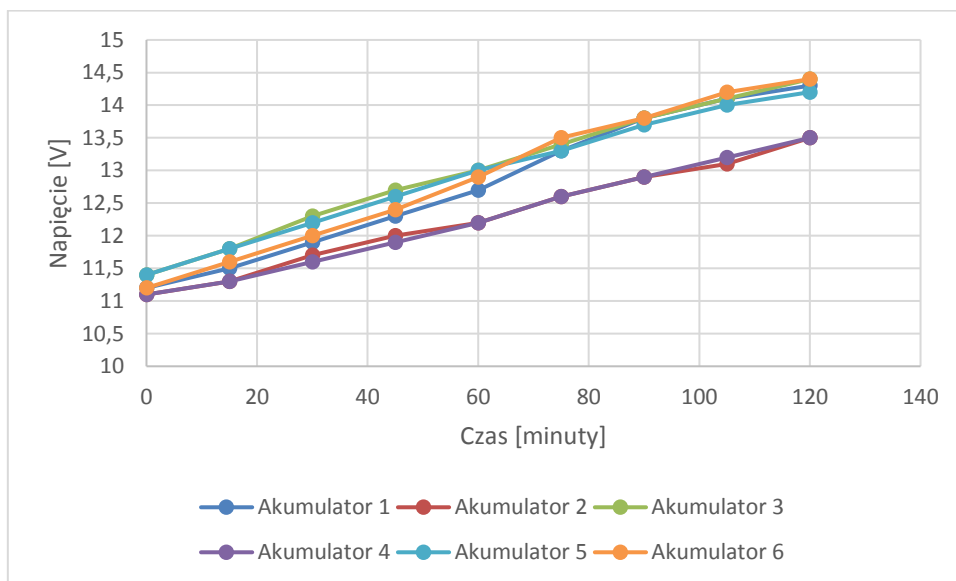


Tabela 30. Dziesiąta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów	Prąd ładowania	Maksymalne napięcie akumulatora	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,4	42A	86,4 V	11,2	11,1	11,4	11,1	11,4	11,2
15	69,3	42A	86,4 V	11,5	11,3	11,8	11,3	11,8	11,6
30	71,7	42A	86,4 V	11,9	11,7	12,3	11,6	12,2	12
45	73,9	42A	86,4 V	12,3	12	12,7	11,9	12,6	12,4
60	76	42A	86,4 V	12,7	12,2	13	12,2	13	12,9
75	78,7	42A	86,4 V	13,3	12,6	13,4	12,6	13,3	13,5
90	80,9	42A	86,4 V	13,8	12,9	13,8	12,9	13,7	13,8
105	82,7	42A	86,4 V	14,1	13,1	14,1	13,2	14	14,2
120	84,3	42A	86,4 V	14,3	13,5	14,4	13,5	14,2	14,4



Wykres 51. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS



Wykres 52. Dziesiąta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

6.5 Rozładowanie pakietu akumulatorów (ołowiowy z elektrolitem ciekłym) bez systemu BMS

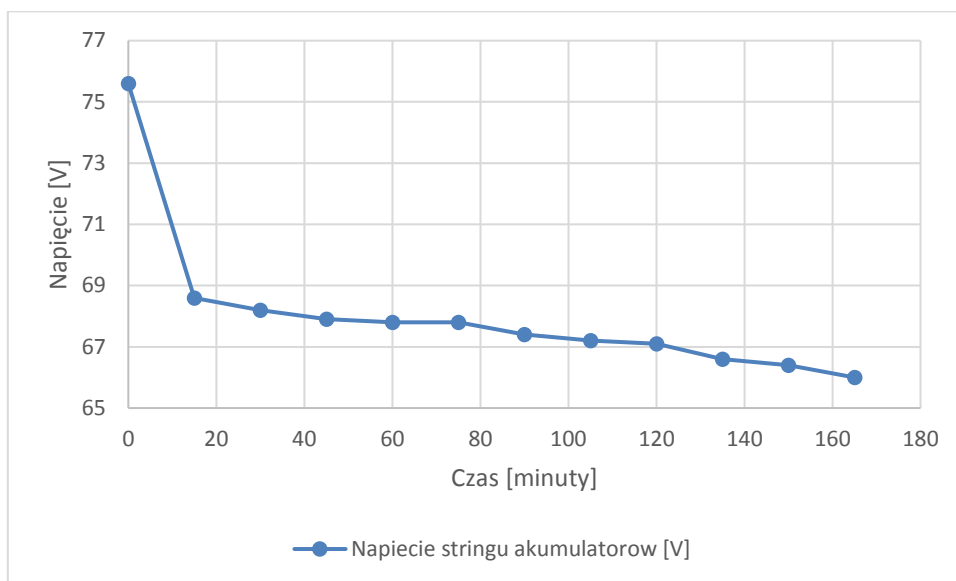
Zanim rozpoczęto pomiary rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym konieczne było doprowadzenie całego zestawu do pełnego doładowania. Doładowanie następowało indywidualnie dla każdego akumulatora, do momentu uzyskania wartości napięcia 14,4V. Mając napięcie końcowe całego pakietu akumulatorów, które jest równe 86,4V, rozpoczynamy rozładowanie zespołu zasilającego prądem 42A, czyli 2,5-godzinnym. Proces rozładowania i ponownego ładowania został powtórzony 10-krotnie. Każda seria rozładowania kończyła się osiągnięciem wartości minimalnego napięcia – 10,8V, przynajmniej na jednym z akumulatorów. Po procesie rozładowania do napięcia krytycznego następował proces ładowania całego zestawu prądem 10A (0,1C) do osiągnięcia przez jakikolwiek akumulator napięcia pełnego ładowania 14,4V. W wyniku wielokrotnych badań uzyskano niezbędną wiedzę na temat stanu pojemności danych akumulatorów, który z akumulatorów zachował największą pojemność. Tym samym została stwierdzona niedoskonałość układu szeregowego połączeń akumulatorów, ponieważ poszczególne egzemplarze zachowują się w niejednakowy sposób. W rezultacie szeregowe łączenie sześciu akumulatorów nie jest najkorzystniejszym rozwiązaniem w celu osiągnięcia największego napięcia, ponieważ poszczególnego akumulatory nie posiadają takich samych parametrów. W związku z tym w celu uzyskania optymalnych wyników akumulatorów połączonych szeregowo, zalecane jest wyposażenie każdego akumulatora w system BMS (Battery Management System).

Przedstawione w dalszej części raportu tabele nr 31-40 oraz wykresy nr 53-72 prezentują serie dziesięciokrotnego rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez użycia BMS. Na podstawie otrzymanych pomiarów można wyznaczyć najmocniejsze oraz najsłabsze ogniwo spośród całego stringu. Akumulatory o największym spadku pojemności uzyskują minimalne napięcie rozładowania w najkrótszym czasie (akumulator nr 4 i 2). Natomiast akumulator, którego czas rozładowania jest dłuższy ma mniejszy spadek pojemności, czyli jest mocniejszy eksploatacyjnie (akumulator 3 i 5).

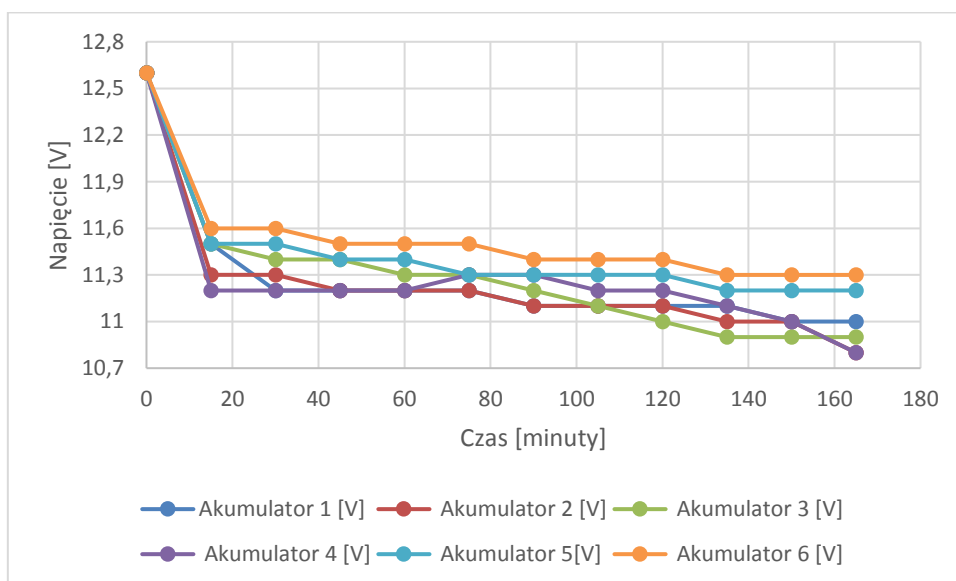


Tabela 31. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z płynnym elektrolitem w stringu bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5[V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42A	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	68,6	42A	86,4	11,5	11,3	11,5	11,2	11,5	11,6
30	68,2	42A	86,4	11,2	11,3	11,4	11,2	11,5	11,6
45	67,9	42A	86,4	11,2	11,2	11,4	11,2	11,4	11,5
60	67,8	42A	86,4	11,2	11,2	11,3	11,2	11,4	11,5
75	67,8	42A	86,4	11,2	11,2	11,3	11,3	11,3	11,5
90	67,4	42A	86,4	11,1	11,1	11,2	11,3	11,3	11,4
105	67,2	42A	86,4	11,1	11,1	11,1	11,2	11,3	11,4
120	67,1	42A	86,4	11,1	11,1	11	11,2	11,3	11,4
135	66,6	42A	86,4	11,1	11	10,9	11,1	11,2	11,3
150	66,4	42A	86,4	11	11	10,9	11	11,2	11,3
165	66	42A	86,4	11	10,8	10,9	10,8	11,2	11,3



Wykres 53. Napięcie pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem płynnym podczas rozładowania

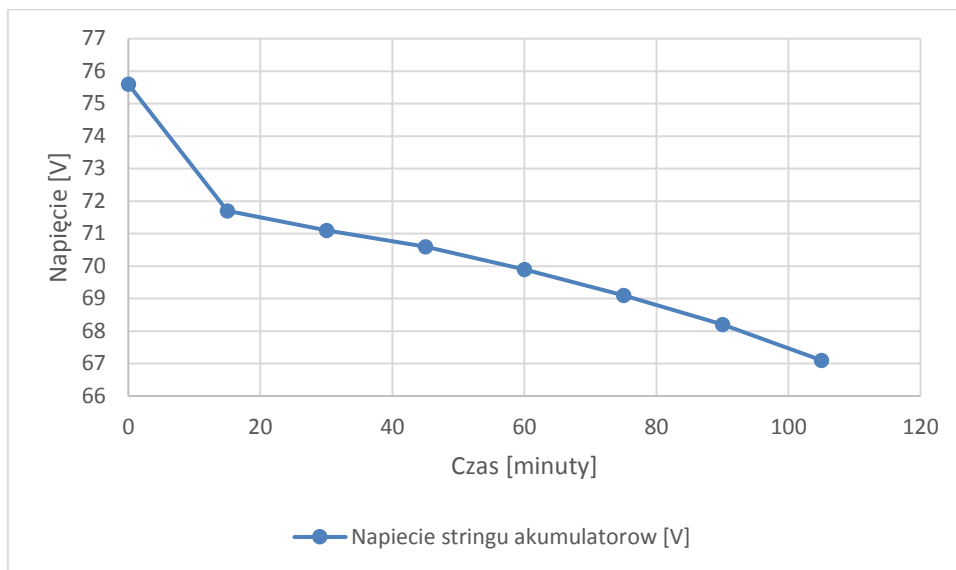


Wykres 54. Pierwsza seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

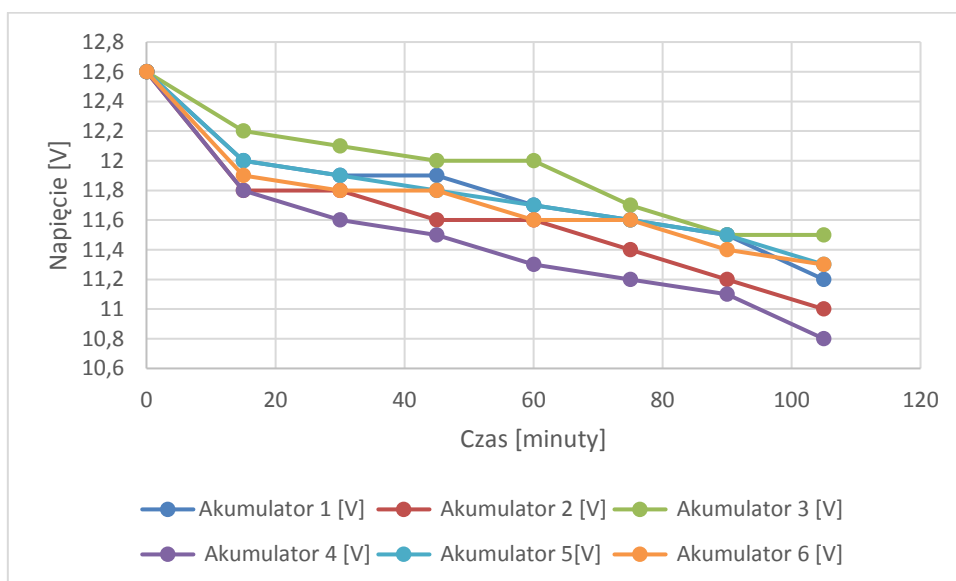


Tabela 32. Druga seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42A	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,7	42A	86,4	12	11,8	12,2	11,8	12	11,9
30	71,1	42A	86,4	11,9	11,8	12,1	11,6	11,9	11,8
45	70,6	42A	86,4	11,9	11,6	12	11,5	11,8	11,8
60	69,9	42A	86,4	11,7	11,6	12	11,3	11,7	11,6
75	69,1	42A	86,4	11,6	11,4	11,7	11,2	11,6	11,6
90	68,2	42A	86,4	11,5	11,2	11,5	11,1	11,5	11,4
105	67,1	42A	86,4	11,2	11	11,5	10,8	11,3	11,3



Wykres 55. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS

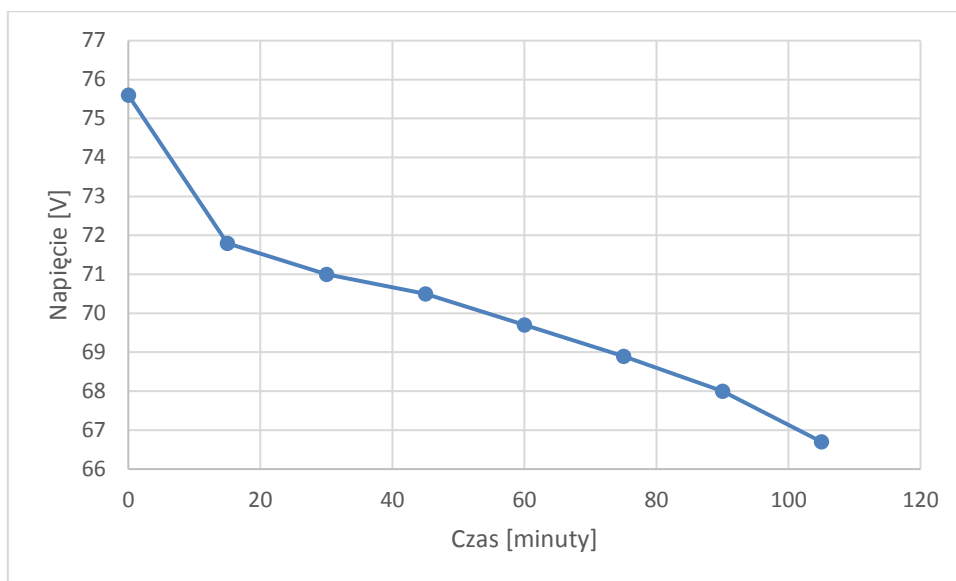


Wykres 56. Druga seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

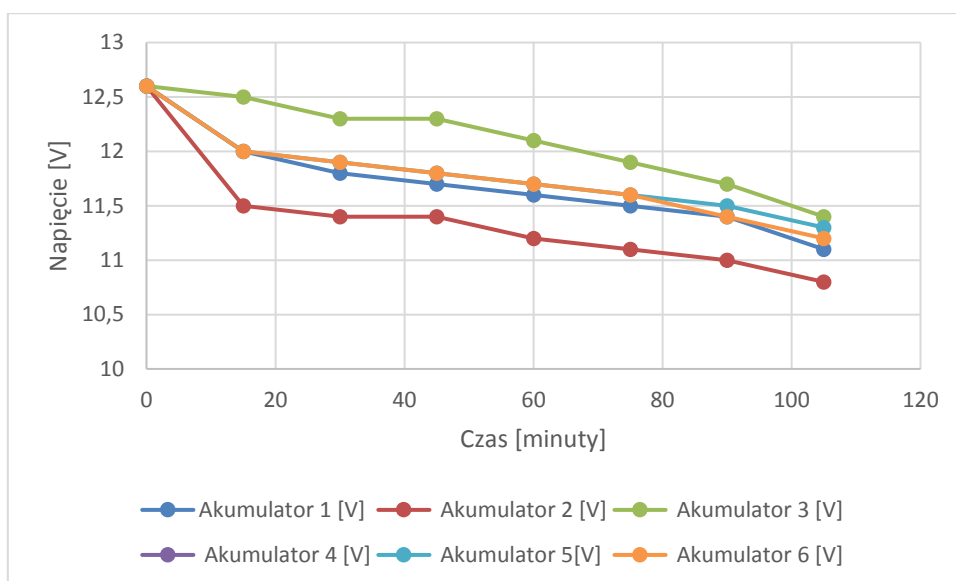


Tabela 33. Trzecia seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42A	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,8	42A	86,4	12	11,5	12,5	11,8	12	12
30	71	42A	86,4	11,8	11,4	12,3	11,7	11,9	11,9
45	70,5	42A	86,4	11,7	11,4	12,3	11,5	11,8	11,8
60	69,7	42A	86,4	11,6	11,2	12,1	11,4	11,7	11,7
75	68,9	42A	86,4	11,5	11,1	11,9	11,2	11,6	11,6
90	68	42A	86,4	11,4	11	11,7	11	11,5	11,4
105	66,7	42A	86,4	11,1	10,8	11,4	10,9	11,3	11,2



Wykres 57. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS

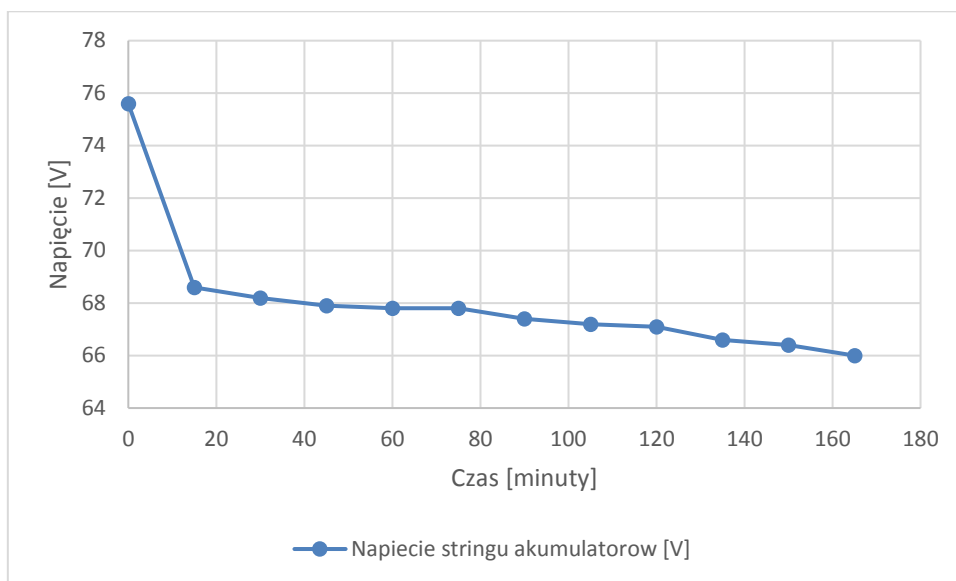


Wykres 58. Trzecia seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

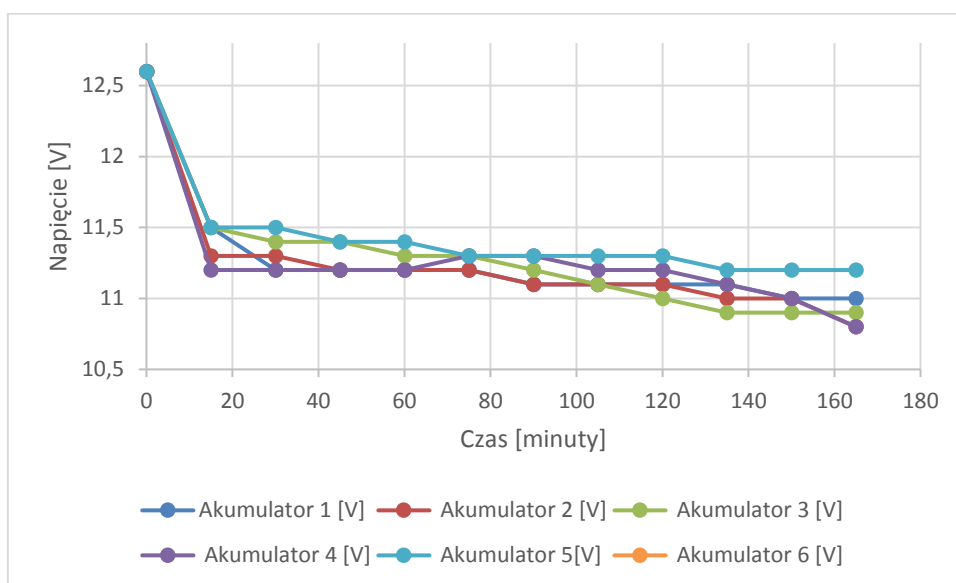


Tabela 34. Czwarta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	68,6	42	86,4	11,5	11,3	11,5	11,2	11,5	11,6
30	68,2	42	86,4	11,2	11,3	11,4	11,2	11,5	11,6
45	67,9	42	86,4	11,2	11,2	11,4	11,2	11,4	11,5
60	67,8	42	86,4	11,2	11,2	11,3	11,2	11,4	11,5
75	67,8	42	86,4	11,2	11,2	11,3	11,3	11,3	11,5
90	67,4	42	86,4	11,1	11,1	11,2	11,3	11,3	11,4
105	67,2	42	86,4	11,1	11,1	11,1	11,2	11,3	11,4
120	67,1	42	86,4	11,1	11,1	11	11,2	11,3	11,4
135	66,6	42	86,4	11,1	11	10,9	11,1	11,2	11,3
150	66,4	42	86,4	11	11	10,9	11	11,2	11,3
165	66	42	86,4	11	10,8	10,9	10,8	11,2	11,3



Wykres 59. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS

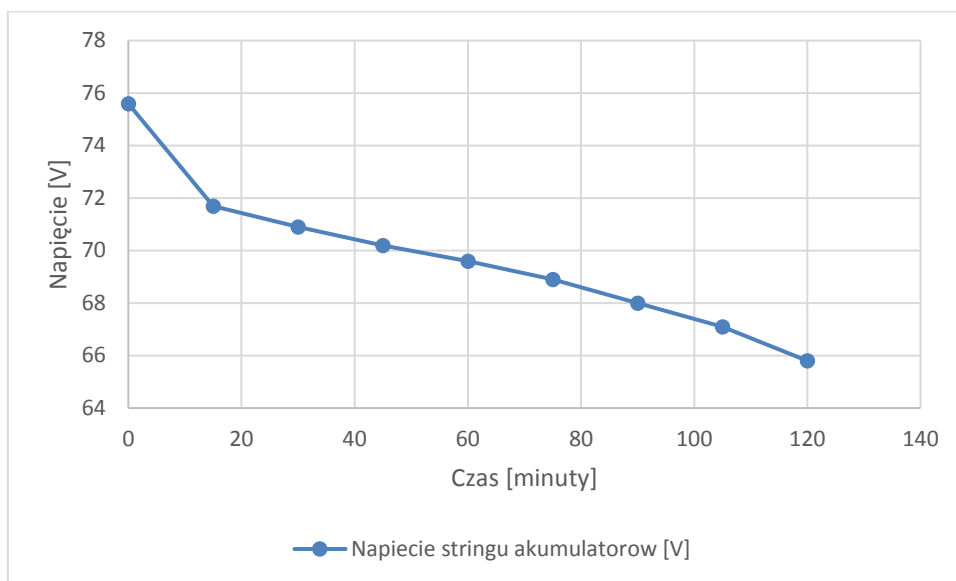


Wykres 60. Czwarta seria rozładowania pakietu akumulatorów bez BMS

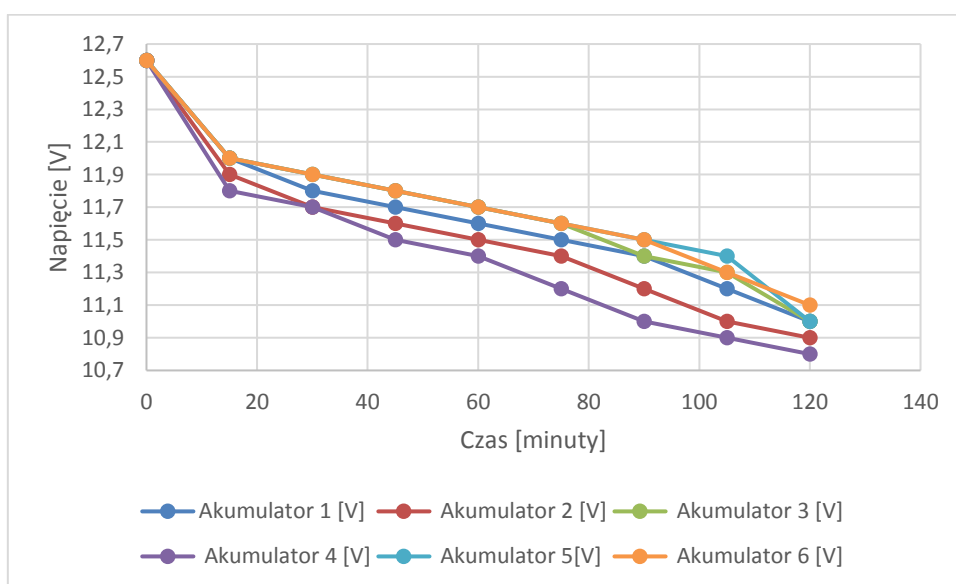


Tabela 35. Piąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,7	42	86,4	12	11,9	12	11,8	12	12
30	70,9	42	86,4	11,8	11,7	11,9	11,7	11,9	11,9
45	70,2	42	86,4	11,7	11,6	11,8	11,5	11,8	11,8
60	69,6	42	86,4	11,6	11,5	11,7	11,4	11,7	11,7
75	68,9	42	86,4	11,5	11,4	11,6	11,2	11,6	11,6
90	68	42	86,4	11,4	11,2	11,4	11	11,5	11,5
105	67,1	42	86,4	11,2	11	11,3	10,9	11,4	11,3
120	65,8	42	86,4	11	10,9	11	10,8	11	11,1



Wykres 61. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS

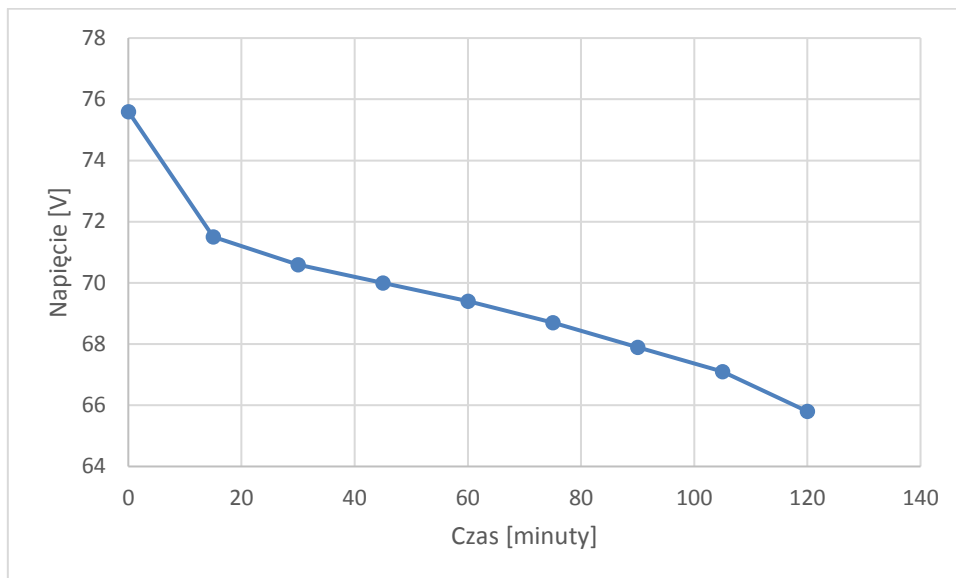


Wykres 62. Piąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

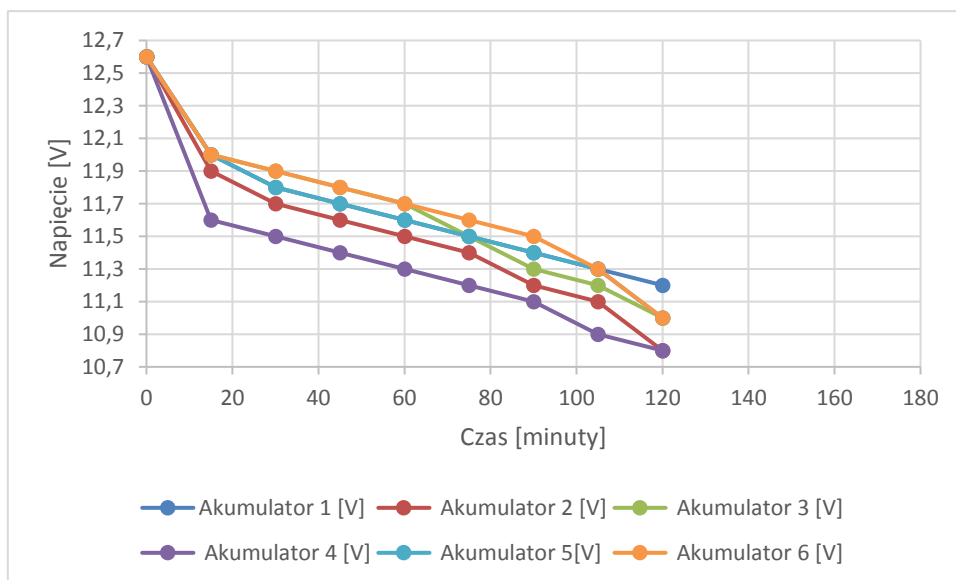


Tabela 36. Szósta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,5	42	86,4	12	11,9	12	11,6	12	12
30	70,6	42	86,4	11,8	11,7	11,9	11,5	11,8	11,9
45	70	42	86,4	11,7	11,6	11,8	11,4	11,7	11,8
60	69,4	42	86,4	11,6	11,5	11,7	11,3	11,6	11,7
75	68,7	42	86,4	11,5	11,4	11,5	11,2	11,5	11,6
90	67,9	42	86,4	11,4	11,2	11,3	11,1	11,4	11,5
105	67,1	42	86,4	11,3	11,1	11,2	10,9	11,3	11,3
120	65,8	42	86,4	11,2	10,8	11	10,8	11	11



Wykres 63. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS

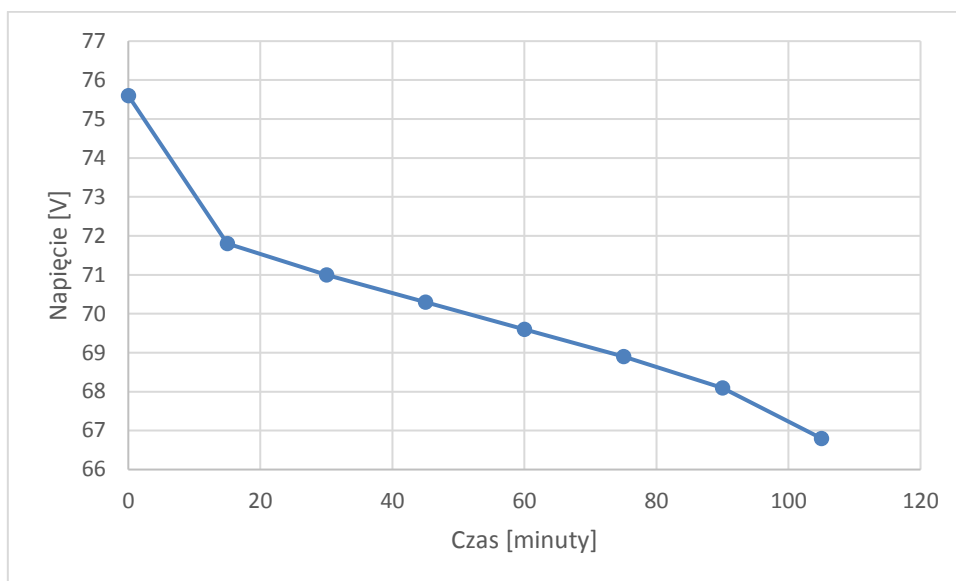


Wykres 64. Szósta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

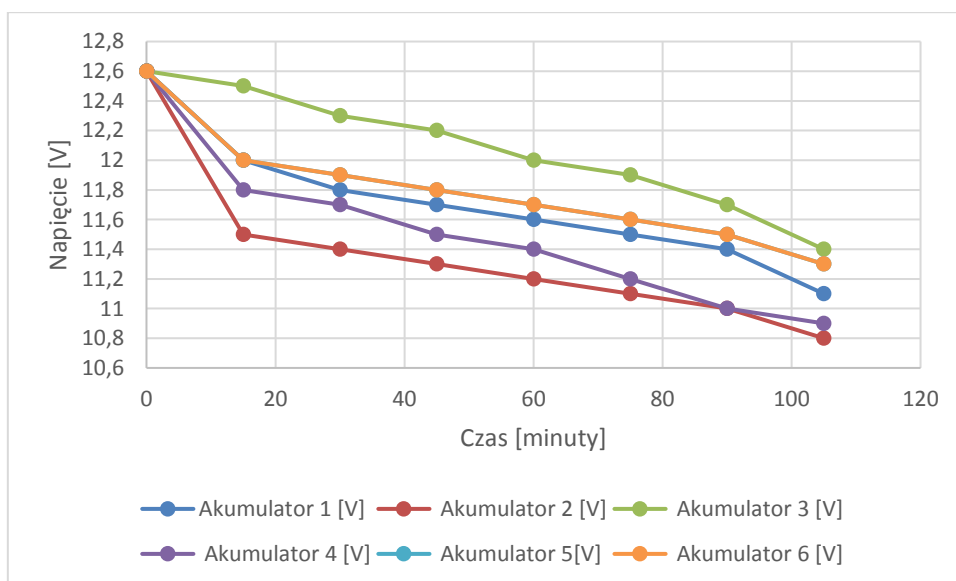


Tabela 37. Siódma seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,8	42	86,4	12	11,5	12,5	11,8	12	12
30	71	42	86,4	11,8	11,4	12,3	11,7	11,9	11,9
45	70,3	42	86,4	11,7	11,3	12,2	11,5	11,8	11,8
60	69,6	42	86,4	11,6	11,2	12	11,4	11,7	11,7
75	68,9	42	86,4	11,5	11,1	11,9	11,2	11,6	11,6
90	68,1	42	86,4	11,4	11	11,7	11	11,5	11,5
105	66,8	42	86,4	11,1	10,8	11,4	10,9	11,3	11,3



Wykres 65. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych bez BMS

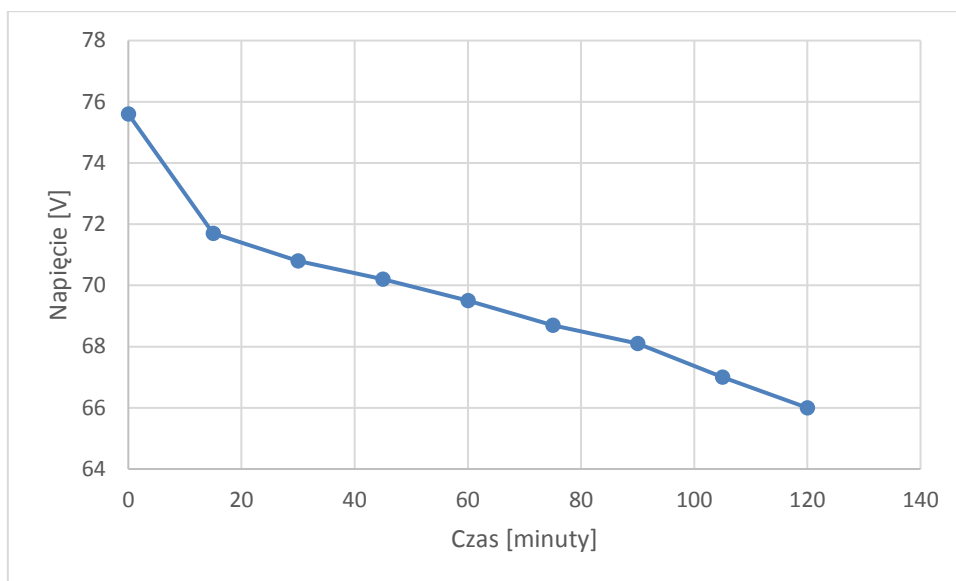


Wykres 66. Siódma seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

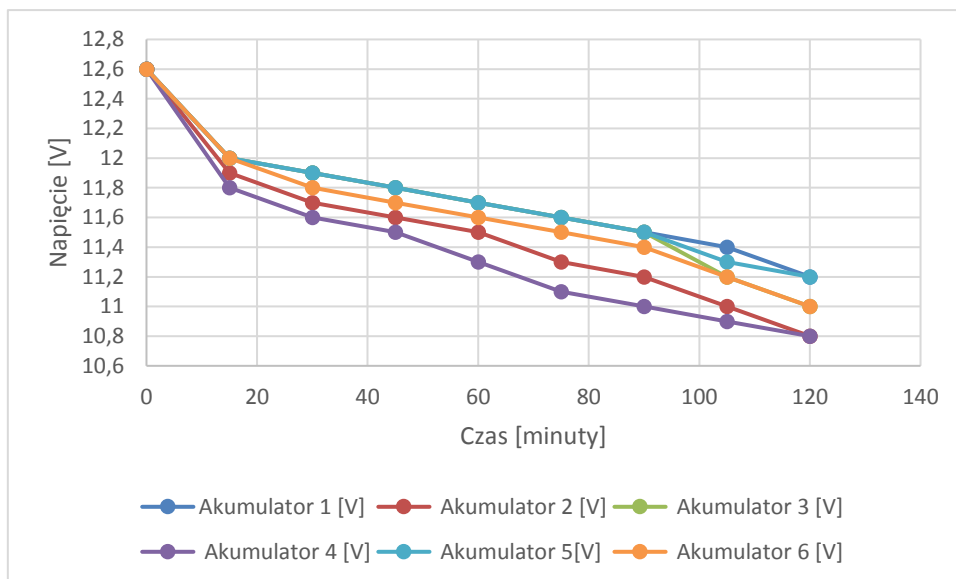


Tabela 38. Ósma seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,7	42	86,4	12	11,9	12	11,8	12	12
30	70,8	42	86,4	11,9	11,7	11,9	11,6	11,9	11,8
45	70,2	42	86,4	11,8	11,6	11,8	11,5	11,8	11,7
60	69,5	42	86,4	11,7	11,5	11,7	11,3	11,7	11,6
75	68,7	42	86,4	11,6	11,3	11,6	11,1	11,6	11,5
90	68,1	42	86,4	11,5	11,2	11,5	11	11,5	11,4
105	67	42	86,4	11,4	11	11,2	10,9	11,3	11,2
120	66	42	86,4	11,2	10,8	11	10,8	11,2	11



Wykres 67. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych bez BMS

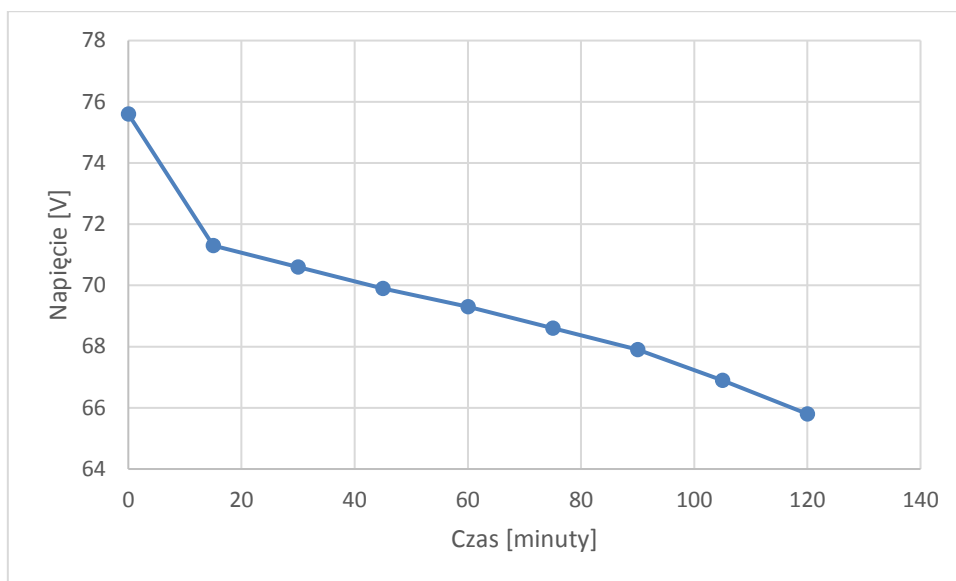


Wykres 68. Ósma seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

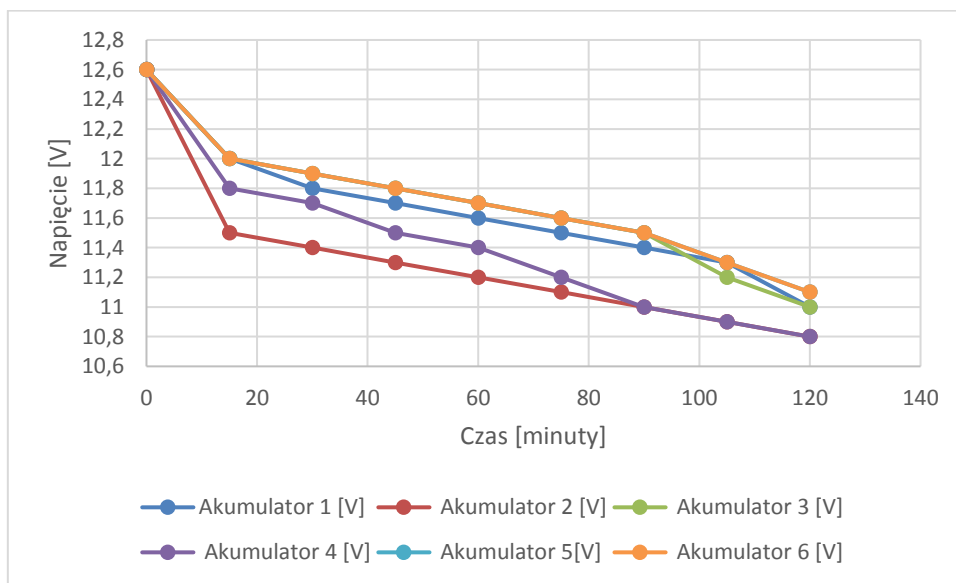


Tabela 39. Dziewiąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,3	42	86,4	12	11,5	12	11,8	12	12
30	70,6	42	86,4	11,8	11,4	11,9	11,7	11,9	11,9
45	69,9	42	86,4	11,7	11,3	11,8	11,5	11,8	11,8
60	69,3	42	86,4	11,6	11,2	11,7	11,4	11,7	11,7
75	68,6	42	86,4	11,5	11,1	11,6	11,2	11,6	11,6
90	67,9	42	86,4	11,4	11	11,5	11	11,5	11,5
105	66,9	42	86,4	11,3	10,9	11,2	10,9	11,3	11,3
120	65,8	42	86,4	11	10,8	11	10,8	11,1	11,1



Wykres 69. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych bez BMS

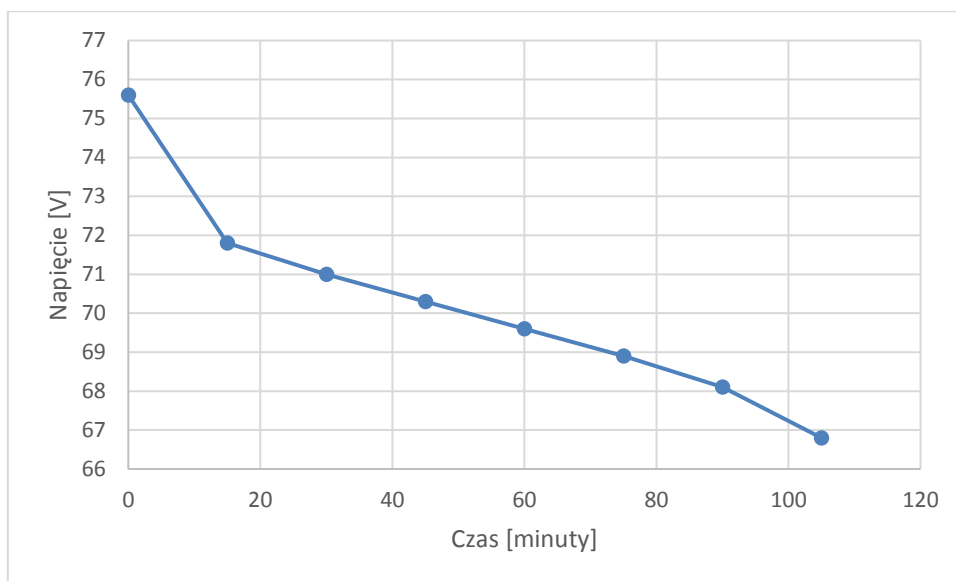


Wykres 70. Seria dziewięciu rozładowań pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

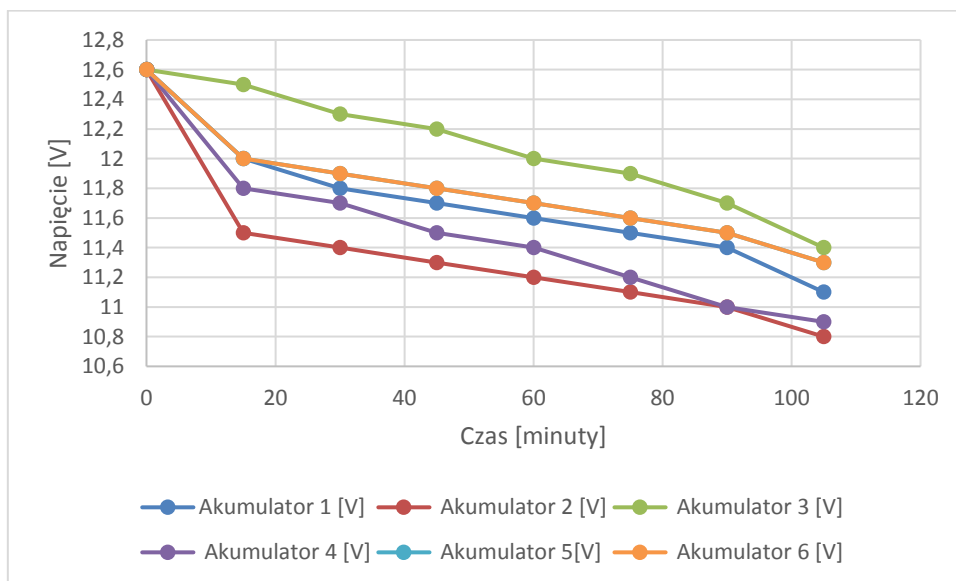


Tabela 40. Dziesiąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	42	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,8	42	86,4	12	11,5	12,5	11,8	12	12
30	71	42	86,4	11,8	11,4	12,3	11,7	11,9	11,9
45	70,3	42	86,4	11,7	11,3	12,2	11,5	11,8	11,8
60	69,6	42	86,4	11,6	11,2	12	11,4	11,7	11,7
75	68,9	42	86,4	11,5	11,1	11,9	11,2	11,6	11,6
90	68,1	42	86,4	11,4	11	11,7	11	11,5	11,5
105	66,8	42	86,4	11,1	10,8	11,4	10,9	11,3	11,3



Wykres 71. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS



Wykres 72. Dziesiąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS

6.6 Instalacja laboratoryjna złożona z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS – proces ładowania

Dalsze badania zestawu akumulatorów z ciekłym elektrolitem polega na przeprowadzeniu serii pomiarów z udziałem BMS (Battery Management System). Jest to system układu nadzoru akumulatorów dedykowany do akumulatorów ołowiowych z ciekłym elektrolitem. Badanie ładowania/rozładowania akumulatorów mają na celu optymalizację ich procesów, przede wszystkim za pośrednictwem systemu zarządzania energią (BMS). System BMS jest kluczowym komponentem dla poprawnego i optymalnego działania akumulatorów wieloogniwowych. Poprzez pomiary oraz kontrolę głównych parametrów akumulatorów, monitoruje on ich stan, zapewniając tym samym bezpieczeństwo. Podstawową funkcją BMS jest monitorowanie i kontrola ogniów przed działaniem w niesprzyjających warunkach.

Akumulatory ołowiowe z elektrolitem ciekłym zostały połączone w instalację laboratoryjną (Zdjęcie 20) za pomocą najbardziej optymalnego połączenia mechanicznego (klemy). Do każdego akumulatora została dołączona dedykowana płytki BMS Slave, która wykonuje pomiary automatycznie. W celu bardziej szczegółowej kontroli należy wykonać również pomiary napięć na poszczególnych akumulatorach oraz wartości prądu ładowania/rozładowania.

W obszarze optymalizacji procesu będą poszukiwane rozwiązania prowadzące do zwiększenia zdolności magazynowania energii, zwiększenia żywotności, pojemności akumulatora oraz skrócenia czasu ich ładowania. Zmiana algorytmów (procesu działania BMS) ma na celu uzyskanie coraz lepszych parametrów. Taki proces pozwoli ocenić czy nastąpiła poprawa wyników.

Seria dziesięciokrotnego ładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym została przedstawiona poprzez poniższe tabele 41-50 oraz wykresy 61-80. String akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym jest ładowany prądem o wartości 10A. Ładowanie pakietu następuje do momentu uzyskania maksymalnego napięcia 14,4V na przynajmniej jednym z akumulatorów. Wówczas przy akumulatorze z maksymalnym napięciem ładowania zostaje uruchomiony balanser, który ogranicza prąd ładowania do wartości 1A (skuteczny proces balansowania). Balanser pracuje do momentu pełnego naładowania całego stringu akumulatorów, aby uniknąć uszkodzenia akumulatorów z powodu dużego prądu oraz napięcia. W analogiczny sposób balanser działa przy

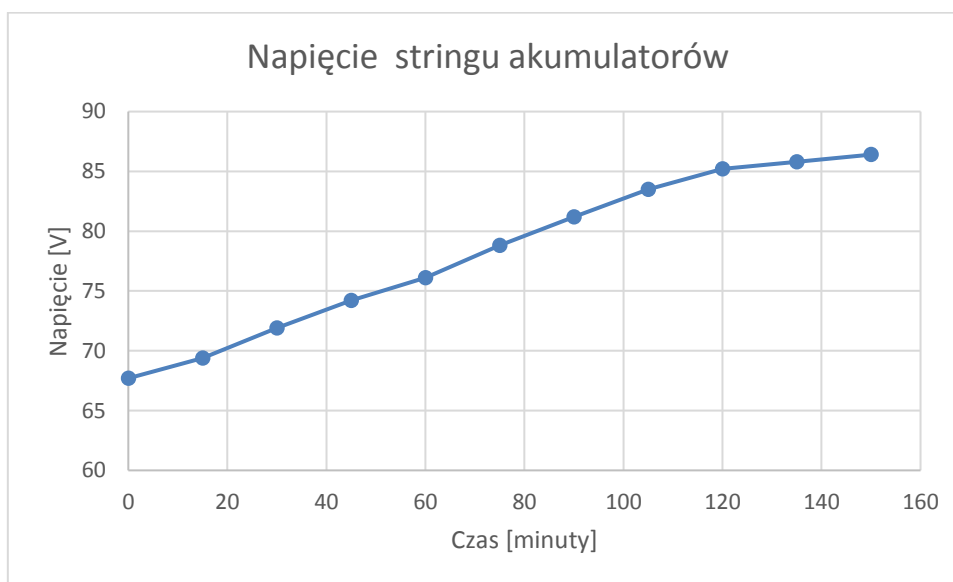
każdym akumulatorze ze stringu. Całkowite naładowanie pakietu akumulatorów nastąpi, gdy wszystkie akumulatory osiągną napięcie balansowania 14,4V. Wówczas ładowanie zostaje zakończone. Na podstawie uzyskanych pomiarów np. w tabeli 41, można wywnioskować, że akumulator o mniejszej pojemności to akumulator 2 i 4, ponieważ czas ładowania jest krótszy oraz te akumulatory najczęściej rozpoczynają proces balansowania. Największą pojemność wykazuje akumulator 3 (tabela 42,) którego ładowanie zajmuje najwięcej czasu.



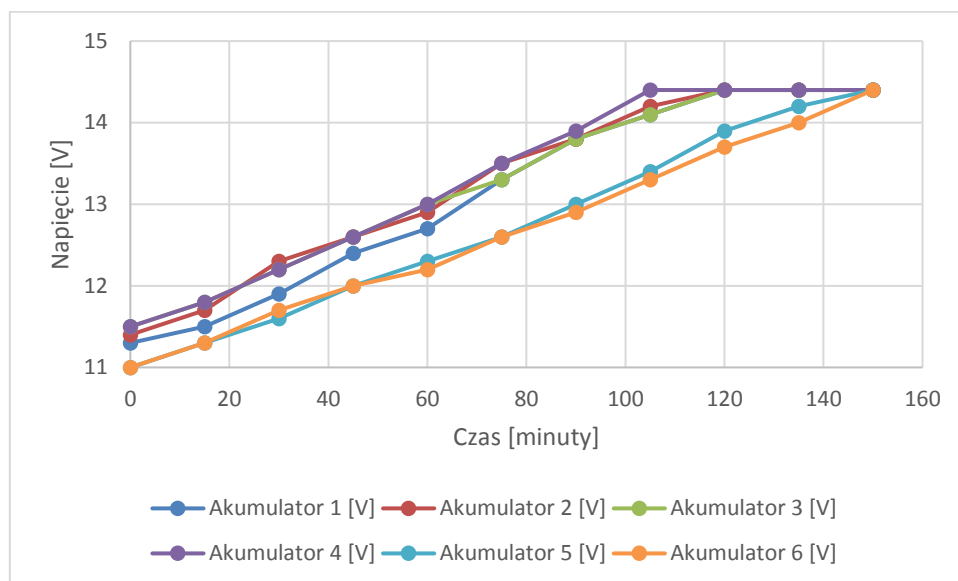
Zdjęcie 21. Połączenie w string akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 41. Pierwszy cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,7	10	86,4	11,3	11,4	11,5	11,5	11	11
15	69,4	10	86,4	11,5	11,7	11,8	11,8	11,3	11,3
30	71,9	10	86,4	11,9	12,3	12,2	12,2	11,6	11,7
45	74,2	10	86,4	12,4	12,6	12,6	12,6	12	12
60	76,1	10	86,4	12,7	12,9	13	13	12,3	12,2
75	78,8	10	86,4	13,3	13,5	13,3	13,5	12,6	12,6
90	81,2	10	86,4	13,8	13,8	13,8	13,9	13	12,9
105	83,5	1	86,4	14,1	14,2	14,1	14,4	13,4	13,3
120	85,2	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	13,9	13,7
135	85,8	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,2	14
150	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



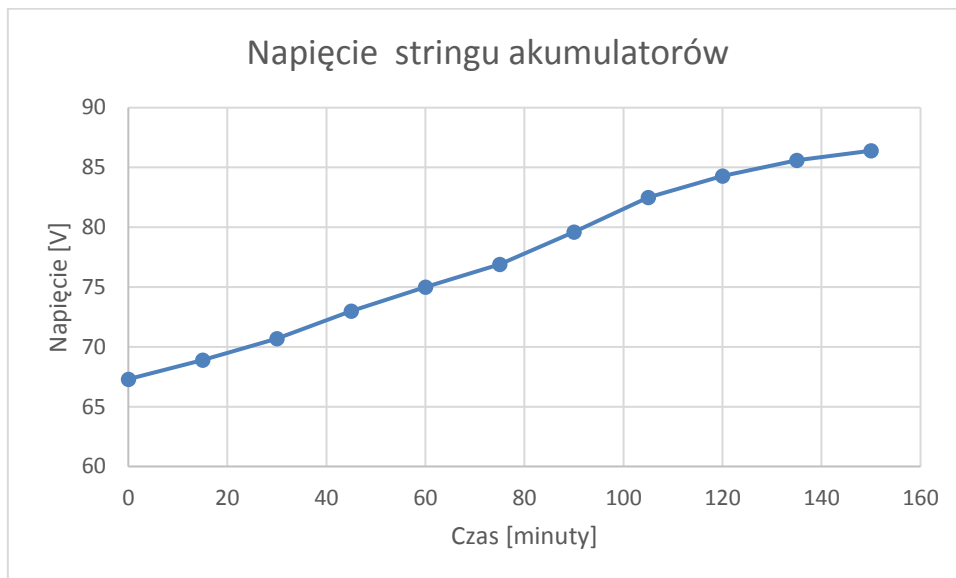
Wykres 73. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS



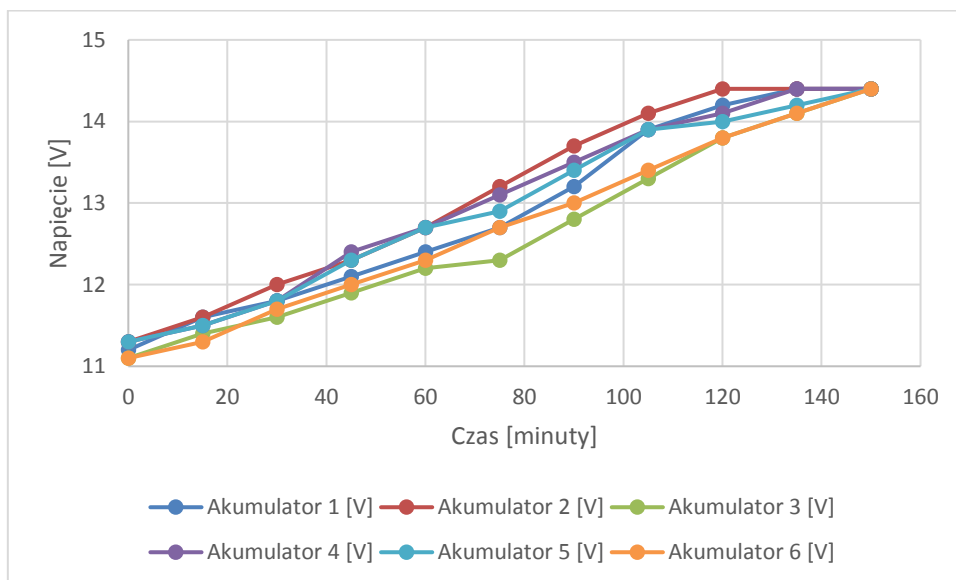
Wykres 74. Pierwszy cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 42. Drugi cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,3	10	86,4	11,2	11,3	11,1	11,3	11,3	11,1
15	68,9	10	86,4	11,6	11,6	11,4	11,5	11,5	11,3
30	70,7	10	86,4	11,8	12,0	11,6	11,8	11,8	11,7
45	73	10	86,4	12,1	12,3	11,9	12,4	12,3	12,0
60	75	10	86,4	12,4	12,7	12,2	12,7	12,7	12,3
75	76,9	10	86,4	12,7	13,2	12,3	13,1	12,9	12,7
90	79,6	10	86,4	13,2	13,7	12,8	13,5	13,4	13,0
105	82,5	10	86,4	13,9	14,1	13,3	13,9	13,9	13,4
120	84,3	1	86,4	14,2	14,4	13,8	14,1	14,0	13,8
135	85,6	1	86,4	14,4	14,4	14,1	14,4	14,2	14,1
150	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



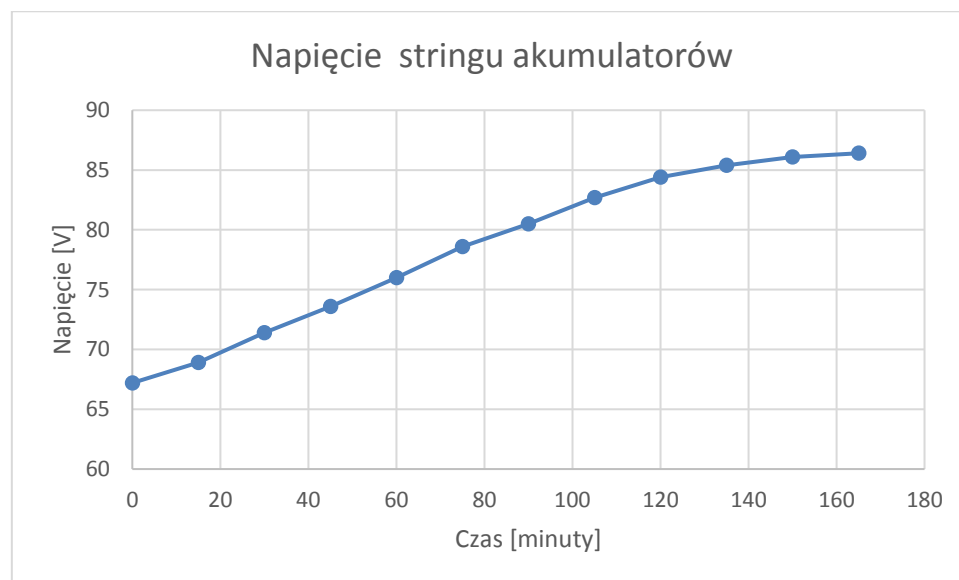
Wykres 75. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS

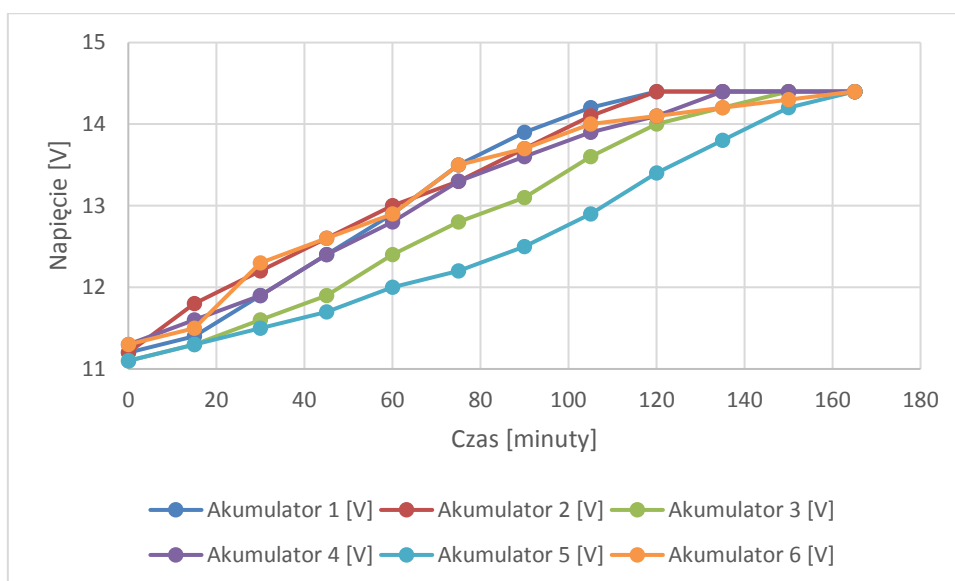


Wykres 76. Drugi cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 43. Trzeci cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów żelowych z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,2	10	86,4	11,2	11,2	11,1	11,3	11,1	11,3
15	68,9	10	86,4	11,4	11,8	11,3	11,6	11,3	11,5
30	71,4	10	86,4	11,9	12,2	11,6	11,9	11,5	12,3
45	73,6	10	86,4	12,4	12,6	11,9	12,4	11,7	12,6
60	76	10	86,4	12,9	13	12,4	12,8	12	12,9
75	78,6	10	86,4	13,5	13,3	12,8	13,3	12,2	13,5
90	80,5	10	86,4	13,9	13,7	13,1	13,6	12,5	13,7
105	82,7	10	86,4	14,2	14,1	13,6	13,9	12,9	14
120	84,4	1	86,4	14,4	14,4	14	14,1	13,4	14,1
135	85,4	1	86,4	14,4	14,4	14,2	14,4	13,8	14,2
150	86,1	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,2	14,3
165	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4

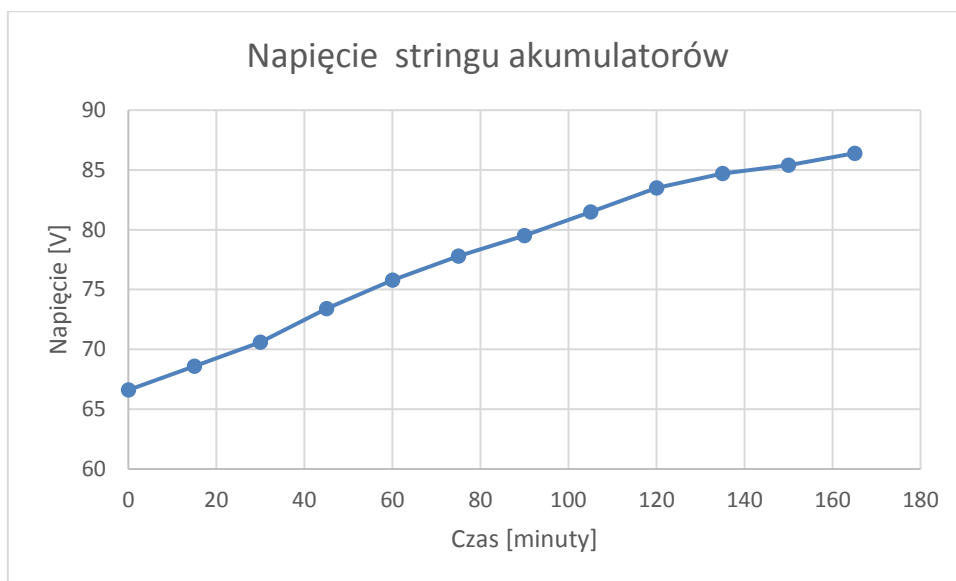

Wykres 77. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS



Wykres 78. Trzeci cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 44. Czwarta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	66,6	10	86,4	11,1	11,2	11	11,2	11	11,1
15	68,6	10	86,4	11,5	11,5	11,3	11,5	11,4	11,4
30	70,6	10	86,4	11,7	12	11,5	11,8	11,8	11,8
45	73,4	10	86,4	12,3	12,4	11,8	12	12,3	12,6
60	75,8	10	86,4	12,8	12,8	12	12,7	12,5	13
75	77,8	10	86,4	13	13,2	12,3	13	12,9	13,4
90	79,5	10	86,4	13,2	13,6	12,5	13,3	13,1	13,8
105	81,5	10	86,4	13,6	14	12,7	13,9	13,3	14
120	83,5	1	86,4	13,9	14,2	13,2	14,4	13,6	14,2
135	84,7	1	86,4	14	14,4	13,6	14,4	13,9	14,4
150	85,4	1	86,4	14,2	14,4	13,9	14,4	14,1	14,4
165	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4

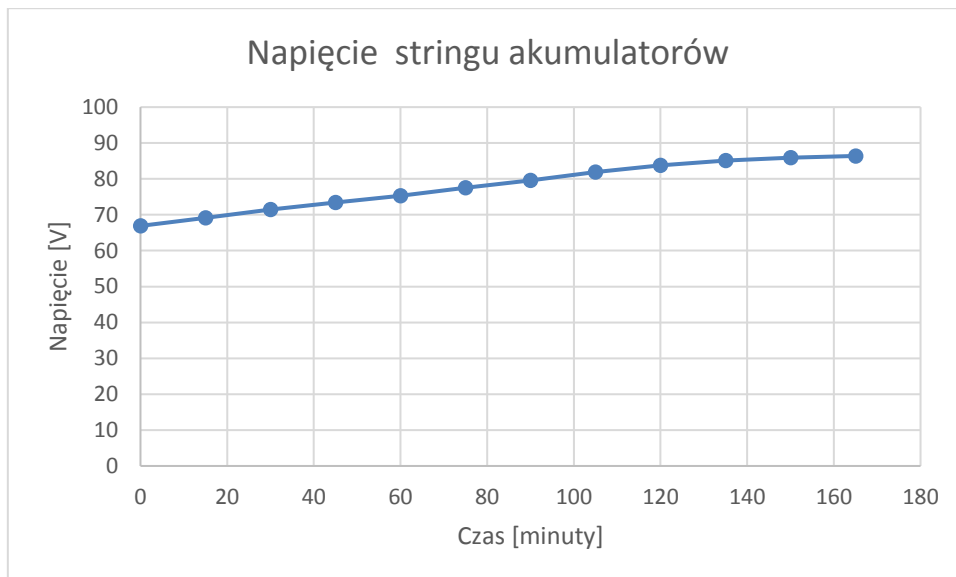


Wykres 79. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS

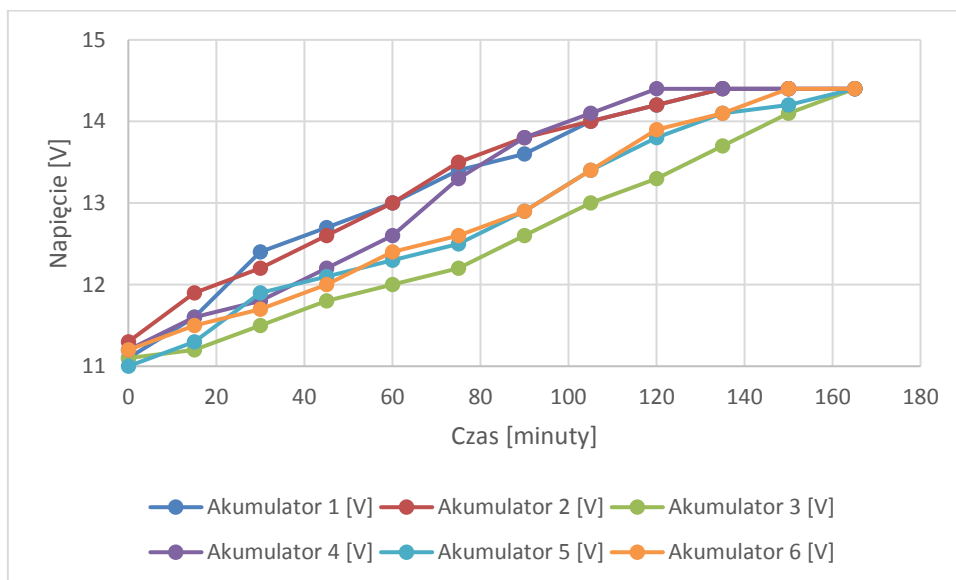
Wykres 80. Czwarta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 45. Piąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	66,9	10	86,4	11,1	11,3	11,1	11,2	11	11,2
15	69,1	10	86,4	11,6	11,9	11,2	11,6	11,3	11,5
30	71,5	10	86,4	12,4	12,2	11,5	11,8	11,9	11,7
45	73,4	10	86,4	12,7	12,6	11,8	12,2	12,1	12
60	75,3	10	86,4	13	13	12	12,6	12,3	12,4
75	77,5	10	86,4	13,4	13,5	12,2	13,3	12,5	12,6
90	79,6	10	86,4	13,6	13,8	12,6	13,8	12,9	12,9
105	81,9	10	86,4	14	14	13	14,1	13,4	13,4
120	83,8	1	86,4	14,2	14,2	13,3	14,4	13,8	13,9
135	85,1	1	86,4	14,4	14,4	13,7	14,4	14,1	14,1
150	85,9	1	86,4	14,4	14,4	14,1	14,4	14,2	14,4
165	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



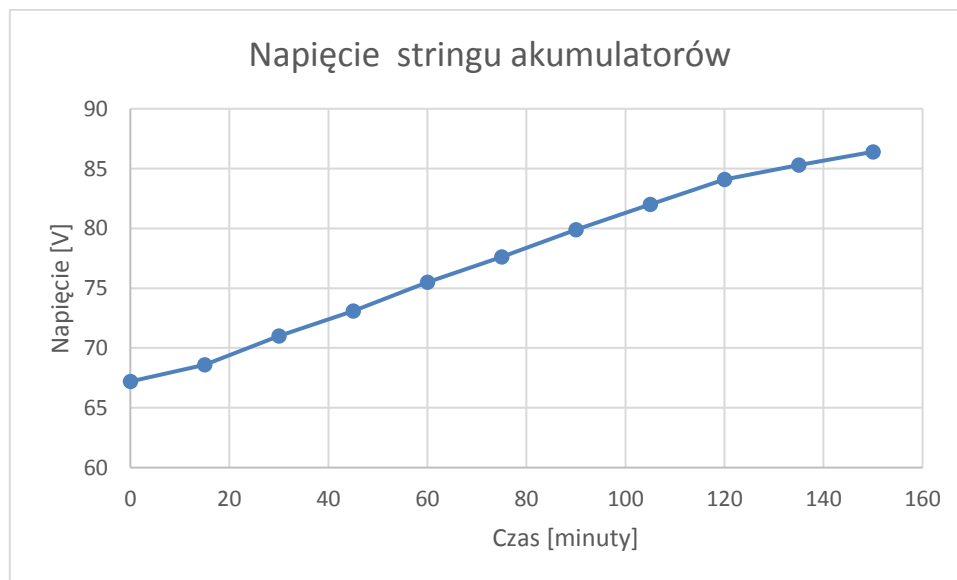
Wykres 81. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS



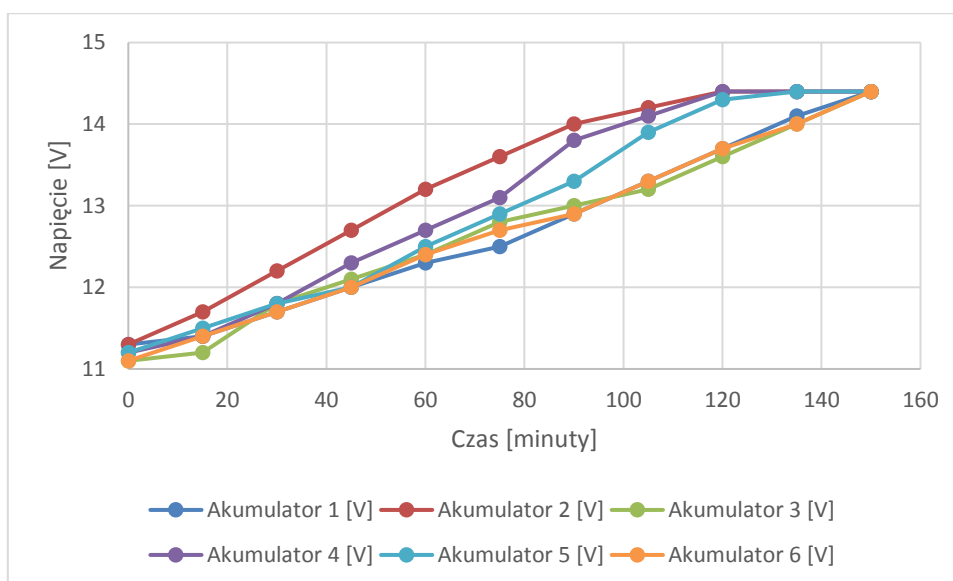
Wykres 82. Piąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 46. Szósty cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,2	10	86,4	11,3	11,3	11,1	11,2	11,2	11,1
15	68,6	10	86,4	11,4	11,7	11,2	11,4	11,5	11,4
30	71	10	86,4	11,7	12,2	11,8	11,8	11,8	11,7
45	73,1	10	86,4	12	12,7	12,1	12,3	12	12
60	75,5	10	86,4	12,3	13,2	12,4	12,7	12,5	12,4
75	77,6	10	86,4	12,5	13,6	12,8	13,1	12,9	12,7
90	79,9	10	86,4	12,9	14	13	13,8	13,3	12,9
105	82	10	86,4	13,3	14,2	13,2	14,1	13,9	13,3
120	84,1	1	86,4	13,7	14,4	13,6	14,4	14,3	13,7
135	85,3	1	86,4	14,1	14,4	14	14,4	14,4	14
150	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



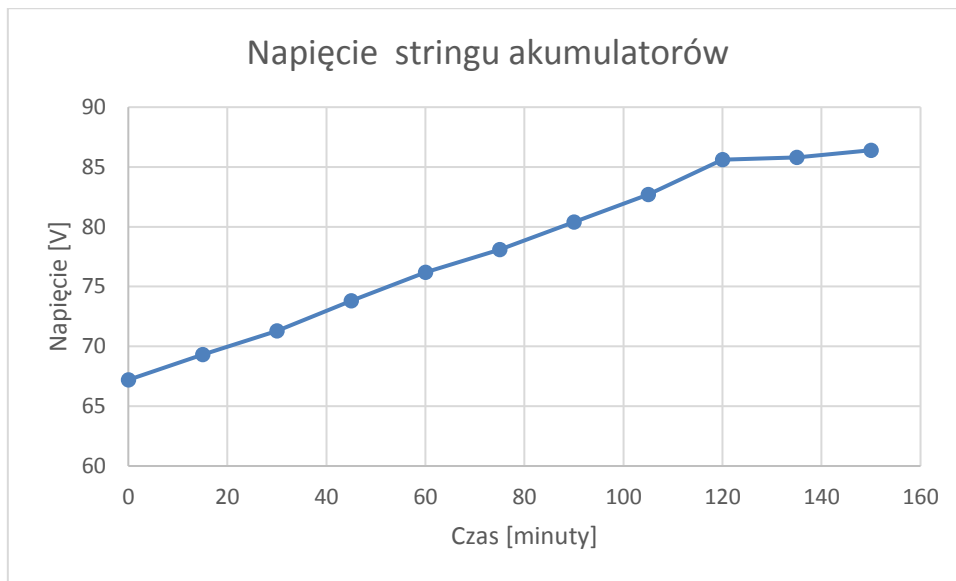
Wykres 83. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS



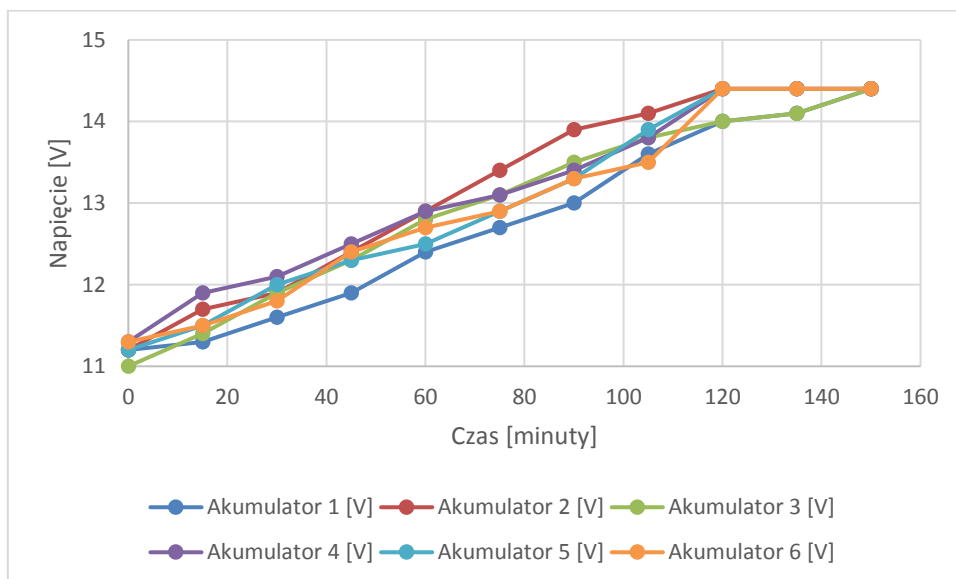
Wykres 84. Szósty cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 47. Siódmy cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,2	10	86,4	11,2	11,2	11	11,3	11,2	11,3
15	69,3	10	86,4	11,3	11,7	11,4	11,9	11,5	11,5
30	71,3	10	86,4	11,6	11,9	11,9	12,1	12	11,8
45	73,8	10	86,4	11,9	12,4	12,3	12,5	12,3	12,4
60	76,2	10	86,4	12,4	12,9	12,8	12,9	12,5	12,7
75	78,1	10	86,4	12,7	13,4	13,1	13,1	12,9	12,9
90	80,4	10	86,4	13	13,9	13,5	13,4	13,3	13,3
105	82,7	10	86,4	13,6	14,1	13,8	13,8	13,9	13,5
120	85,6	1	86,4	14	14,4	14	14,4	14,4	14,4
135	85,8	1	86,4	14,1	14,4	14,1	14,4	14,4	14,4
150	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



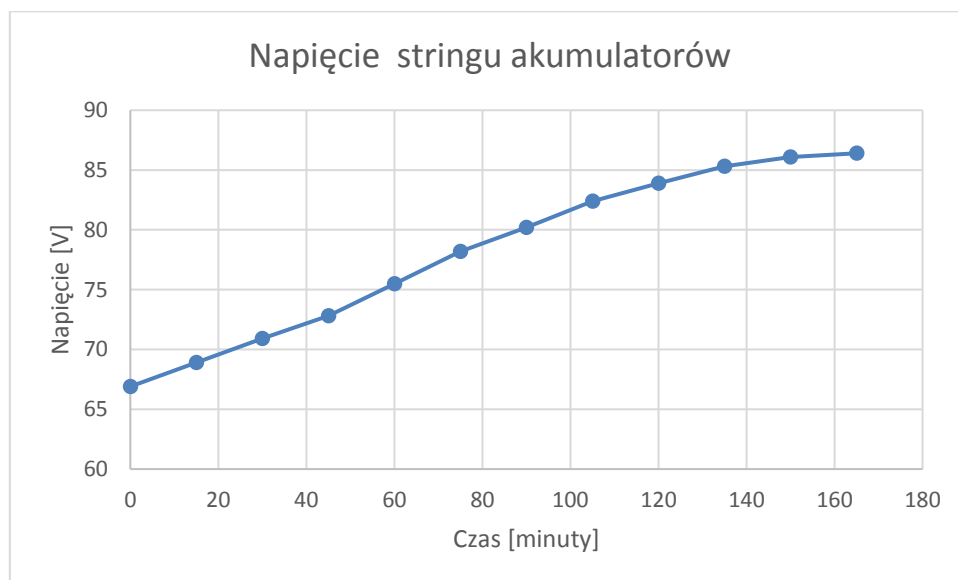
Wykres 85. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS

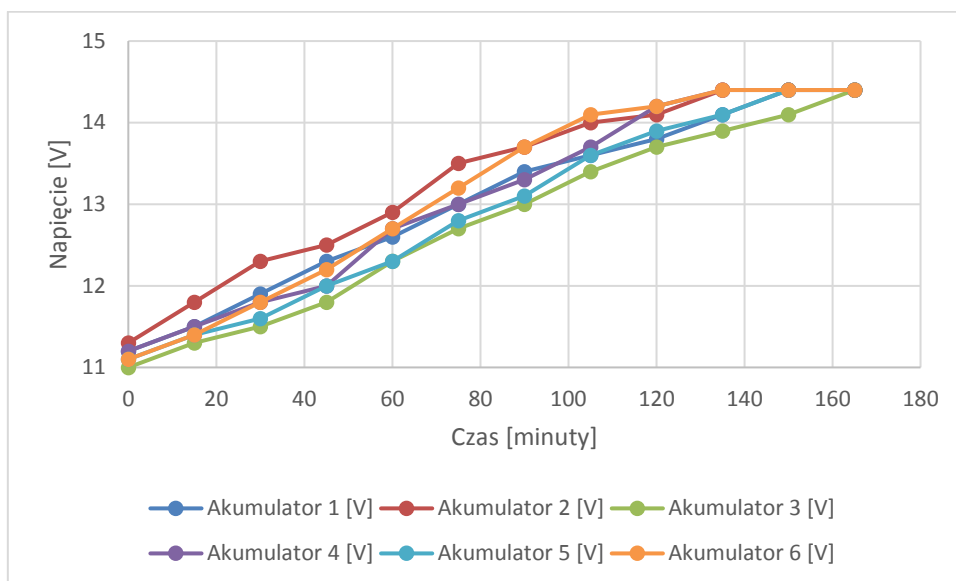


Wykres 86. Siódmy cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 48. Ósma seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	66,9	10	86,4	11,2	11,3	11	11,2	11,1	11,1
15	68,9	10	86,4	11,5	11,8	11,3	11,5	11,4	11,4
30	70,9	10	86,4	11,9	12,3	11,5	11,8	11,6	11,8
45	72,8	10	86,4	12,3	12,5	11,8	12	12	12,2
60	75,5	10	86,4	12,6	12,9	12,3	12,7	12,3	12,7
75	78,2	10	86,4	13	13,5	12,7	13	12,8	13,2
90	80,2	10	86,4	13,4	13,7	13	13,3	13,1	13,7
105	82,4	10	86,4	13,6	14	13,4	13,7	13,6	14,1
120	83,9	10	86,4	13,8	14,1	13,7	14,2	13,9	14,2
135	85,3	1	86,4	14,1	14,4	13,9	14,4	14,1	14,4
150	86,1	1	86,4	14,4	14,4	14,1	14,4	14,4	14,4
165	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4

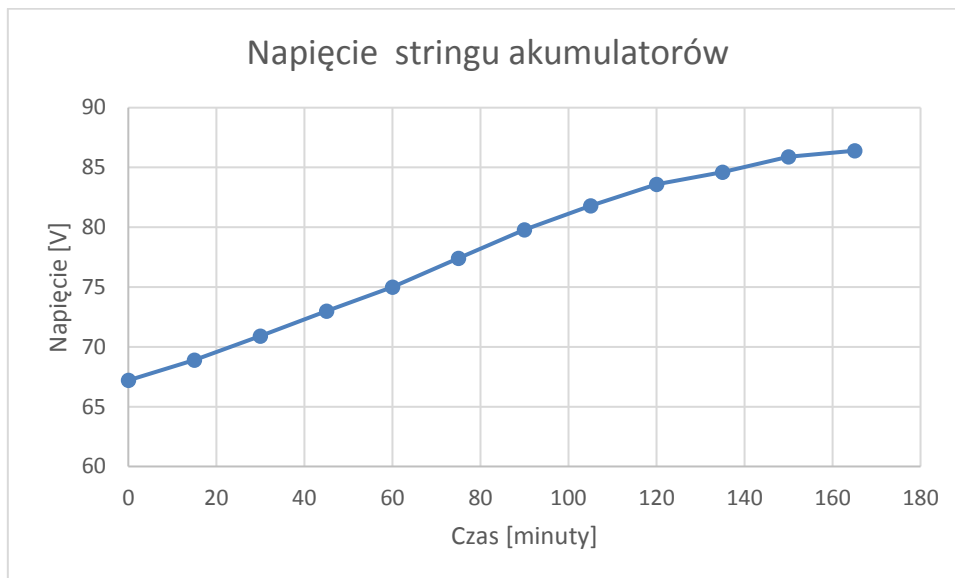

Wykres 87. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS



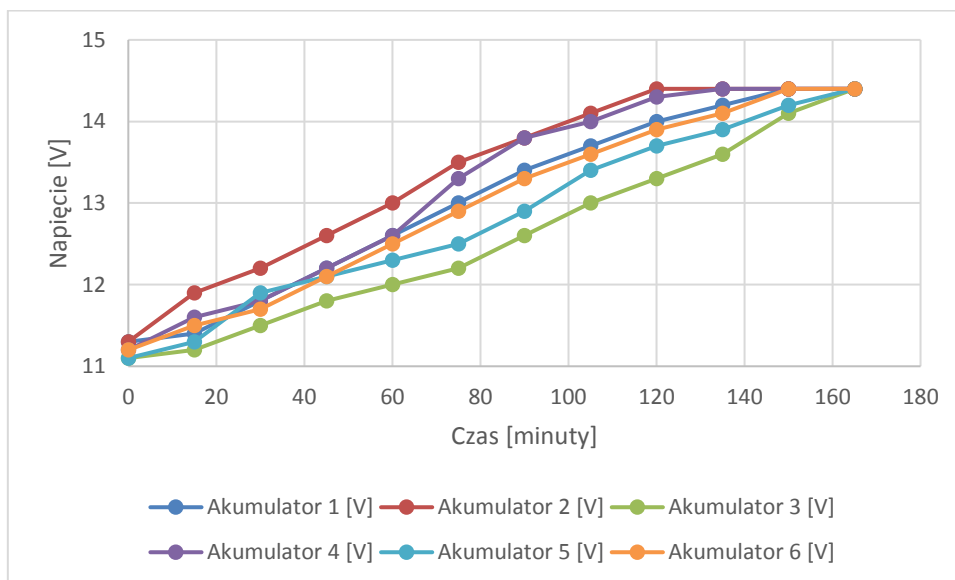
Wykres 88. Ósma seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 49. Dziewiąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,2	10	86,4	11,3	11,3	11,1	11,2	11,1	11,2
15	68,9	10	86,4	11,4	11,9	11,2	11,6	11,3	11,5
30	70,9	10	86,4	11,8	12,2	11,5	11,8	11,9	11,7
45	73	10	86,4	12,2	12,6	11,8	12,2	12,1	12,1
60	75	10	86,4	12,6	13	12	12,6	12,3	12,5
75	77,4	10	86,4	13	13,5	12,2	13,3	12,5	12,9
90	79,8	10	86,4	13,4	13,8	12,6	13,8	12,9	13,3
105	81,8	10	86,4	13,7	14,1	13	14	13,4	13,6
120	83,6	1	86,4	14	14,4	13,3	14,3	13,7	13,9
135	84,6	1	86,4	14,2	14,4	13,6	14,4	13,9	14,1
150	85,9	1	86,4	14,4	14,4	14,1	14,4	14,2	14,4
165	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



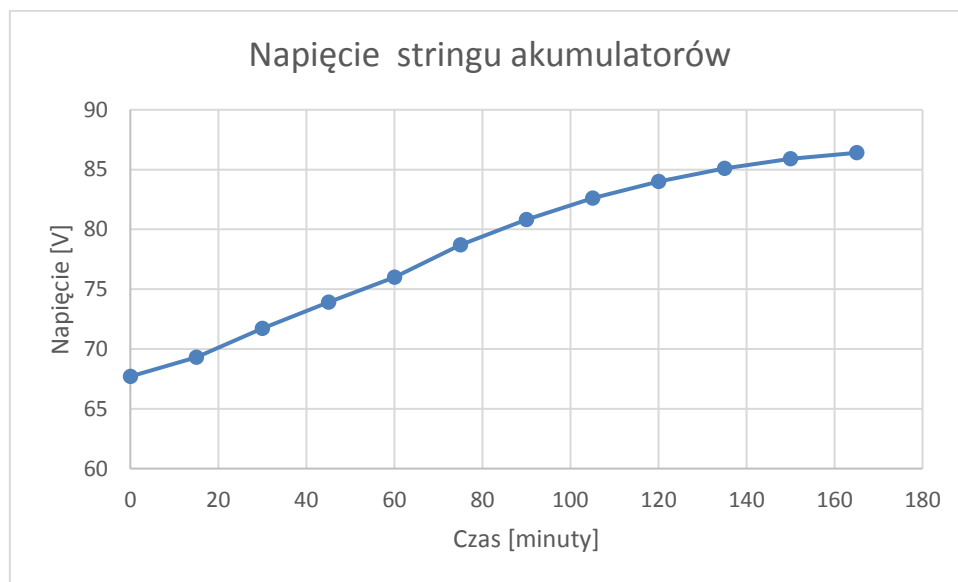
Wykres 89. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS

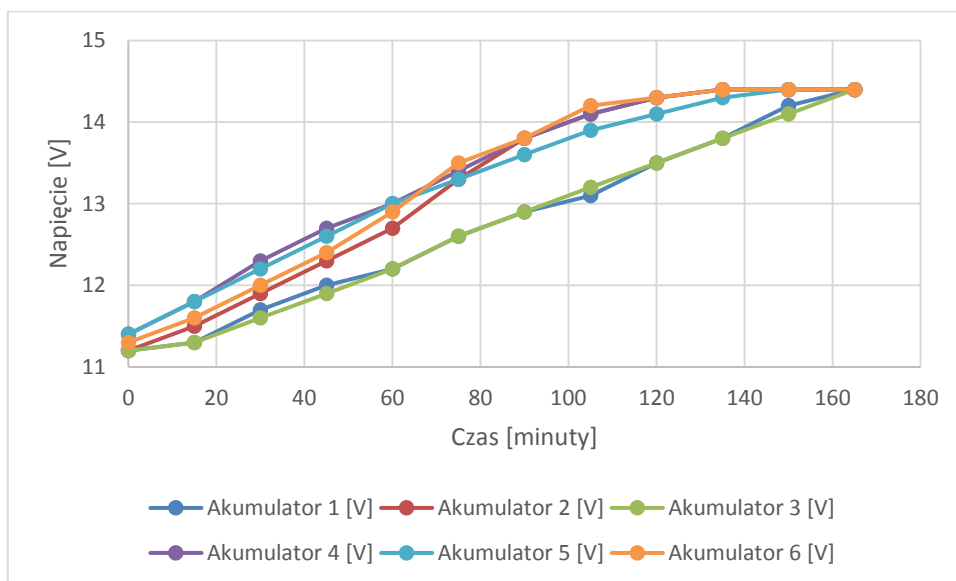


Wykres 90. Dziewiąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Tabela 50. Dziesiąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	67,7	10	86,4	11,2	11,2	11,2	11,4	11,4	11,3
15	69,3	10	86,4	11,3	11,5	11,3	11,8	11,8	11,6
30	71,7	10	86,4	11,7	11,9	11,6	12,3	12,2	12
45	73,9	10	86,4	12	12,3	11,9	12,7	12,6	12,4
60	76	10	86,4	12,2	12,7	12,2	13	13	12,9
75	78,7	10	86,4	12,6	13,3	12,6	13,4	13,3	13,5
90	80,8	10	86,4	12,9	13,8	12,9	13,8	13,6	13,8
105	82,6	10	86,4	13,1	14,1	13,2	14,1	13,9	14,2
120	84	10	86,4	13,5	14,3	13,5	14,3	14,1	14,3
135	85,1	1	86,4	13,8	14,4	13,8	14,4	14,3	14,4
150	85,9	1	86,4	14,2	14,4	14,1	14,4	14,4	14,4
165	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4


Wykres 91. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS



Wykres 92. Dziesiąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS

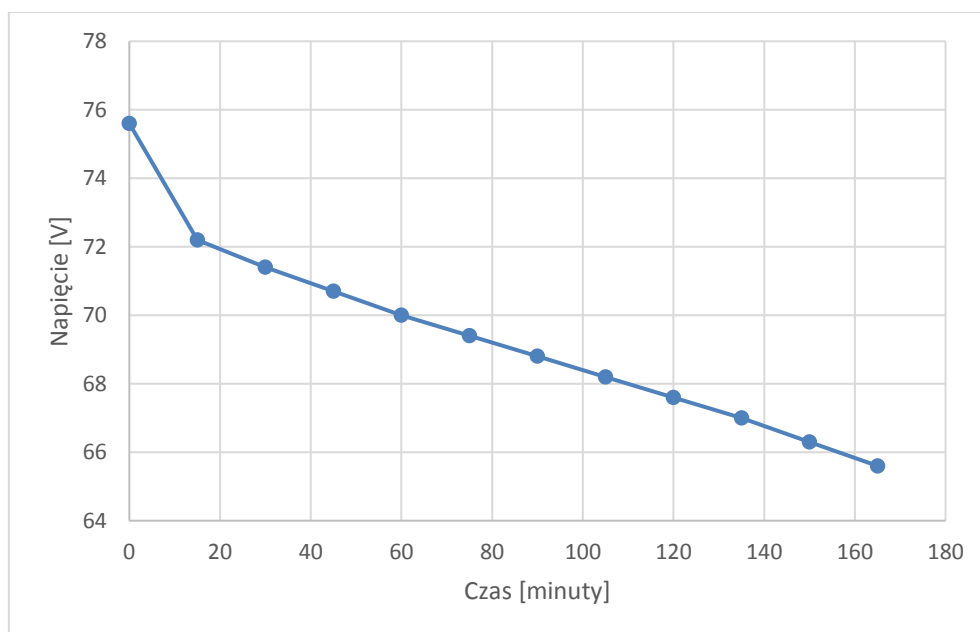
6.7 Instalacja laboratoryjna złożona z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS – proces rozładowania

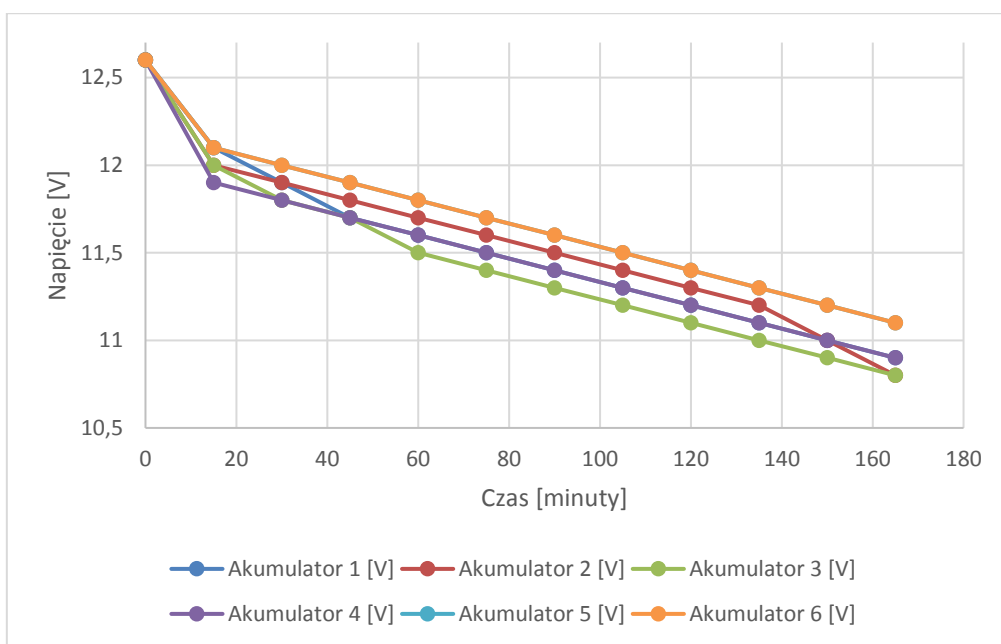
Przed rozpoczęciem cykli rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS konieczne jest doładowanie całego zestawu do pełnego napięcia 14,4V. Wyjściowe napięcie akumulatorów połączonych w string ma wartość 86,4V i wtedy rozpoczyna się proces rozładowania prądem 30A. Proces rozładowania oraz powtórnego ładowania zostaje powtórzony dziesięciokrotnie. W celu uzyskania optymalnych wyników akumulatorów połączonych szeregowo zalecane jest wyposażenie każdego z nich w system nadzoru BMS (Battery Management System). System BMS jest kluczowym komponentem dla poprawnego i optymalnego działania akumulatorów wieloogniowych. Proces rozładowania stringu ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS został powtórzony dziesięciokrotnie, dla uzyskania jak najefektywniejszej oceny stanu pojemności badanych akumulatorów. Rozładowanie trwało do momentu osiągnięcia minimalnego napięcia rozładowania, czyli 10,8V na którymkolwiek akumulatorze- wówczas rozładowanie zostaje wstrzymane. Zastosowanie systemu nadzoru BMS do pomiaru oraz kontroli głównych parametrów akumulatorów zapewnia bezpieczeństwo w całym cyklu. Funkcja stałego monitoringu pojedynczych ogniw sprawia, że są one chronione przed uszkodzeniami. Zastosowany system BMS powoduje, że akumulatory mają większą pojemność, a użytkowanie w ściśle określonych parametrach nadzorowanych przez BMS powoduje wydłużenie czasu użytkowania (trwałość akumulatorów).

W wyniku wielokrotnych badań uzyskano niezbędną wiedzę na temat stanu pojemności danych akumulatorów oraz który z nich zachował największą pojemność. Przedstawione w dalszej części wykresy 93-112 i tabele 51-60 opisują serie dziesięciokrotnego rozładowania stringu akumulatorów. Na podstawie wyników można wyznaczyć akumulator o największej i najmniejszej pojemności w stringu. Akumulatory o najmniejszym spadku pojemności uzyskują minimalne napięcie rozładowania w dłuższym czasie. Akumulator, który rozładował się jako pierwszy spowoduje zatrzymanie procesu, a akumulatory z większą pojemnością zachowują resztę nie oddanej jeszcze energii. W tabeli 55 akumulator nr 2 rozładowuje się w czasie 120 minut, podczas gdy napięcie akumulatora nr 3 ma w tym czasie wartości 11,4V.

Tabela 51. Pierwsza seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	30	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	72,2	30	86,4	12,1	12	12	11,9	12,1	12,1
30	71,4	30	86,4	11,9	11,9	11,8	11,8	12	12
45	70,7	30	86,4	11,7	11,8	11,7	11,7	11,9	11,9
60	70	30	86,4	11,6	11,7	11,5	11,6	11,8	11,8
75	69,4	30	86,4	11,5	11,6	11,4	11,5	11,7	11,7
90	68,8	30	86,4	11,4	11,5	11,3	11,4	11,6	11,6
105	68,2	30	86,4	11,3	11,4	11,2	11,3	11,5	11,5
120	67,6	30	86,4	11,2	11,3	11,1	11,2	11,4	11,4
135	67	30	86,4	11,1	11,2	11	11,1	11,3	11,3
150	66,3	30	86,4	11	11	10,9	11	11,2	11,2
165	65,6	30A	86,4	10,9	10,8	10,8	10,9	11,1	11,1

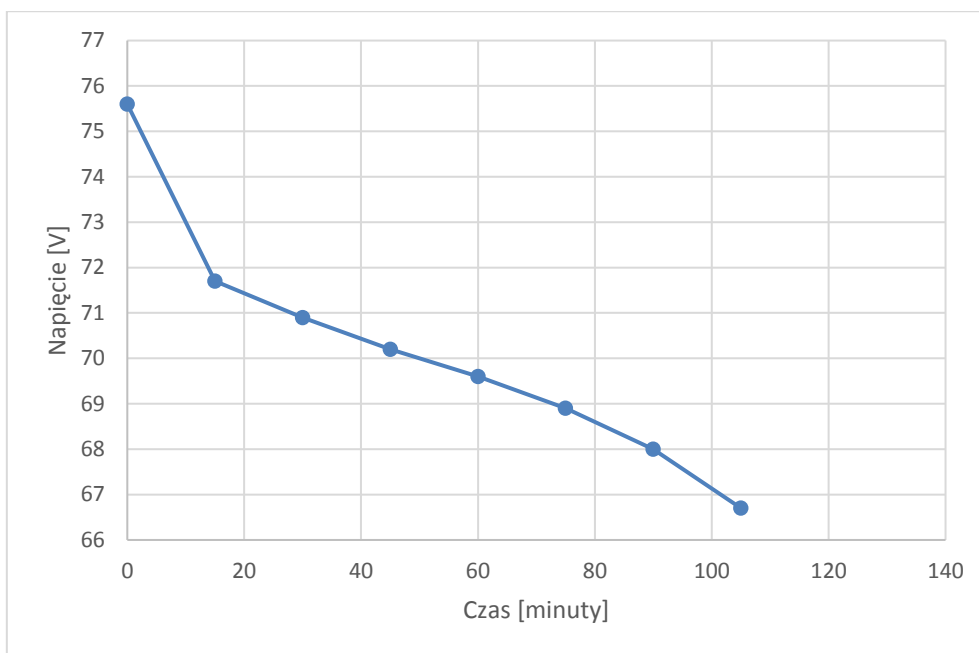

Wykres 93. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- pierwsza seria



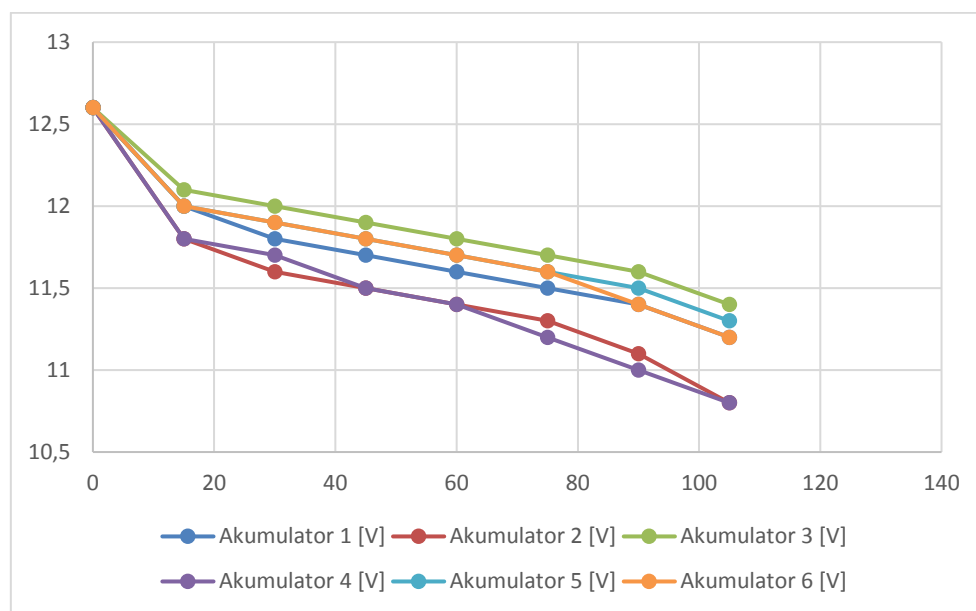
Wykres 94. Pierwsza seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Tabela 52. Druga seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	30	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,7	30	86,4	12	11,8	12,1	11,8	12	12
30	70,9	30	86,4	11,8	11,6	12	11,7	11,9	11,9
45	70,2	30	86,4	11,7	11,5	11,9	11,5	11,8	11,8
60	69,6	30	86,4	11,6	11,4	11,8	11,4	11,7	11,7
75	68,9	30	86,4	11,5	11,3	11,7	11,2	11,6	11,6
90	68	30	86,4	11,4	11,1	11,6	11	11,5	11,4
105	66,7	30	86,4	11,2	10,8	11,4	10,8	11,3	11,2



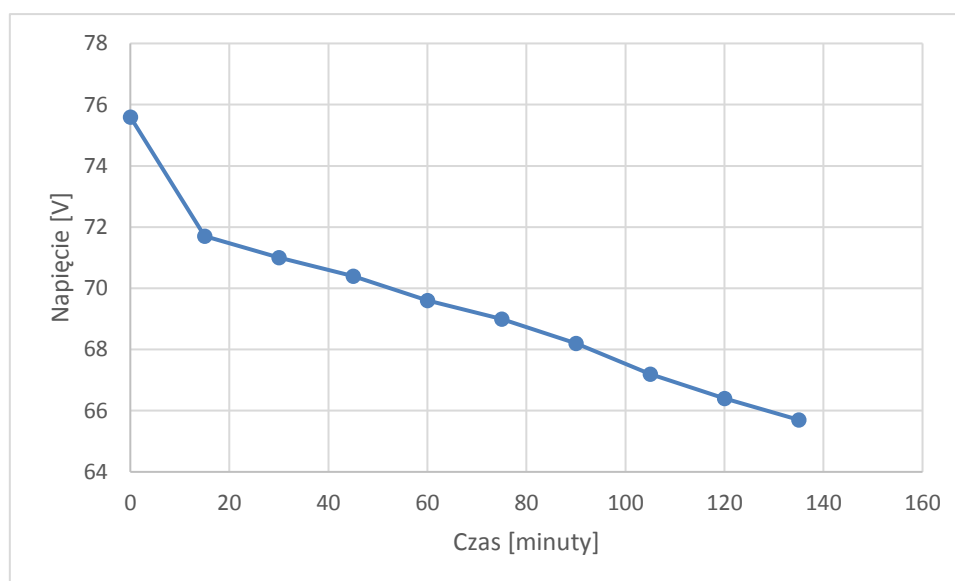
Wykres 95. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- druga seria

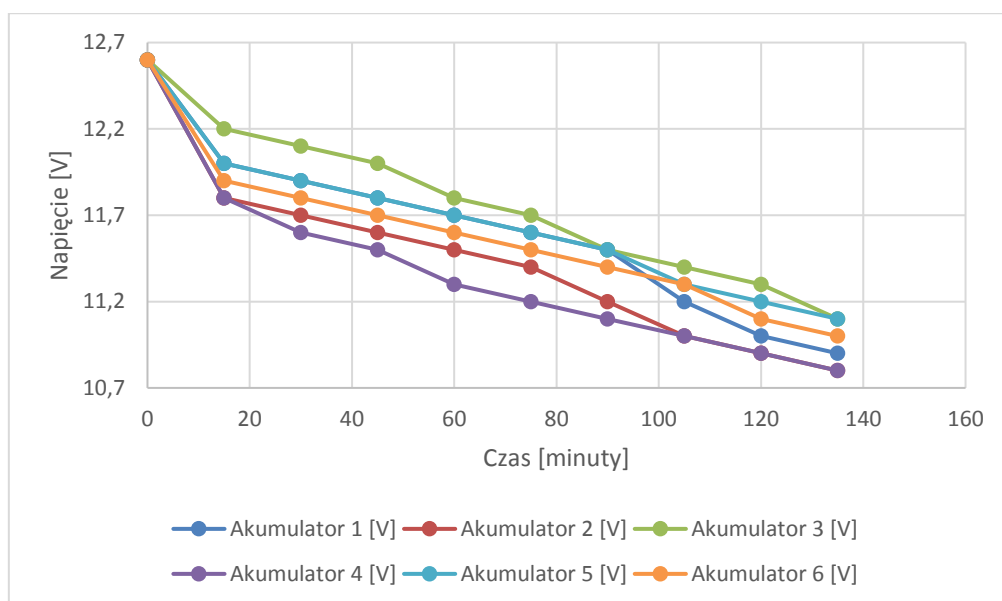


Wykres 96. Druga seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Tabela 53. Trzecia seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	30	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,7	30	86,4	12	11,8	12,2	11,8	12	11,9
30	71	30	86,4	11,9	11,7	12,1	11,6	11,9	11,8
45	70,4	30	86,4	11,8	11,6	12	11,5	11,8	11,7
60	69,6	30	86,4	11,7	11,5	11,8	11,3	11,7	11,6
75	69	30	86,4	11,6	11,4	11,7	11,2	11,6	11,5
90	68,2	30	86,4	11,5	11,2	11,5	11,1	11,5	11,4
105	67,2	30	86,4	11,2	11	11,4	11	11,3	11,3
120	66,4	30	86,4	11	10,9	11,3	10,9	11,2	11,1
135	65,7	30	86,4	10,9	10,8	11,1	10,8	11,1	11

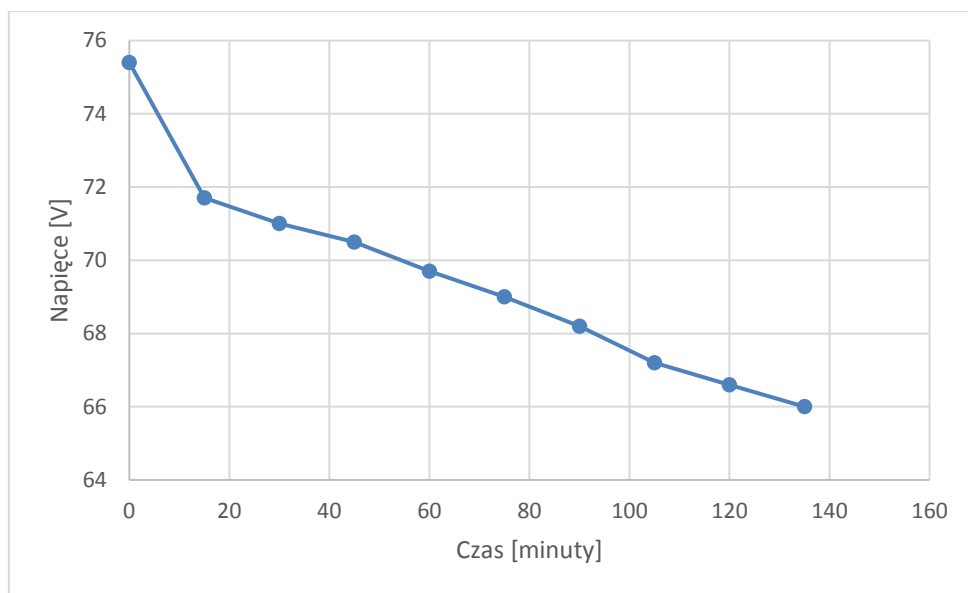

Wykres 97. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- trzecia seria



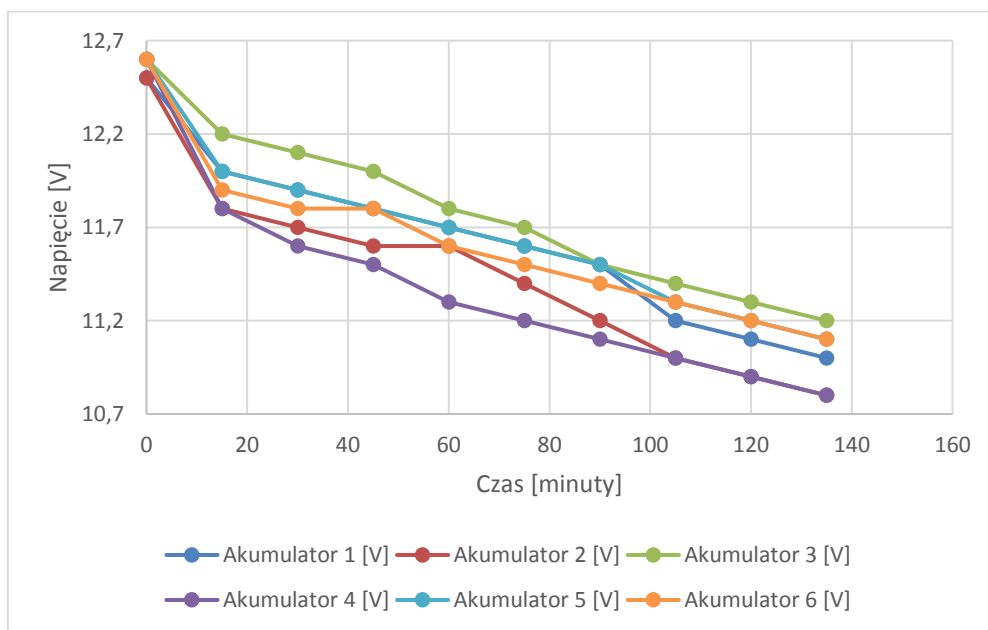
Wykres 98. Trzecia seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciepłym z użyciem systemu BMS

Tabela 54. Czwarta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciepłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,4	30	86,4	12,5	12,5	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,7	30	86,4	12	11,8	12,2	11,8	12	11,9
30	71	30	86,4	11,9	11,7	12,1	11,6	11,9	11,8
45	70,5	30	86,4	11,8	11,6	12	11,5	11,8	11,8
60	69,7	30	86,4	11,7	11,6	11,8	11,3	11,7	11,6
75	69	30	86,4	11,6	11,4	11,7	11,2	11,6	11,5
90	68,2	30	86,4	11,5	11,2	11,5	11,1	11,5	11,4
105	67,2	30	86,4	11,2	11	11,4	11	11,3	11,3
120	66,6	30	86,4	11,1	10,9	11,3	10,9	11,2	11,2
135	66	30	86,4	11	10,8	11,2	10,8	11,1	11,1



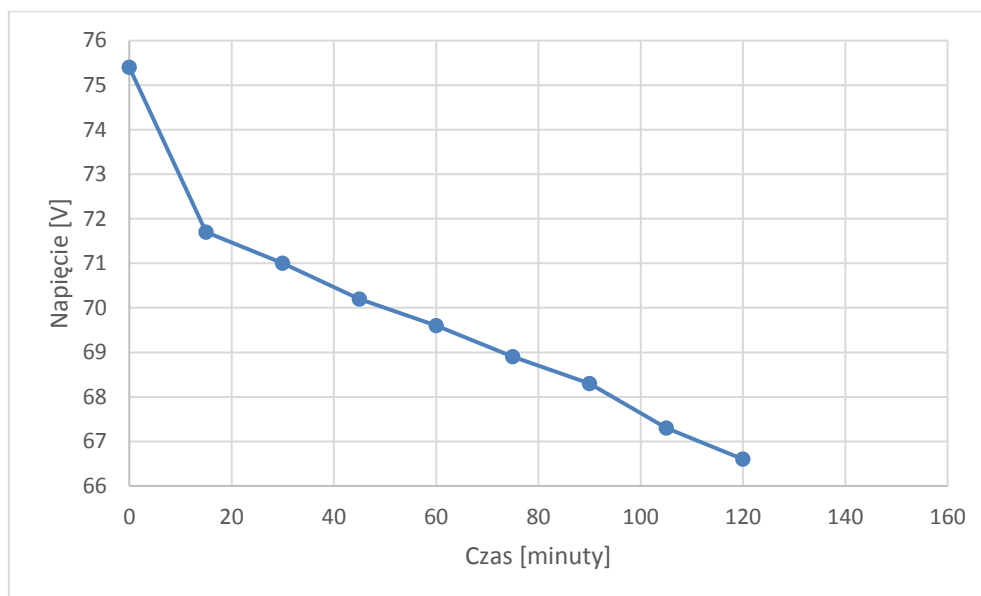
Wykres 99. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- czwarta seria

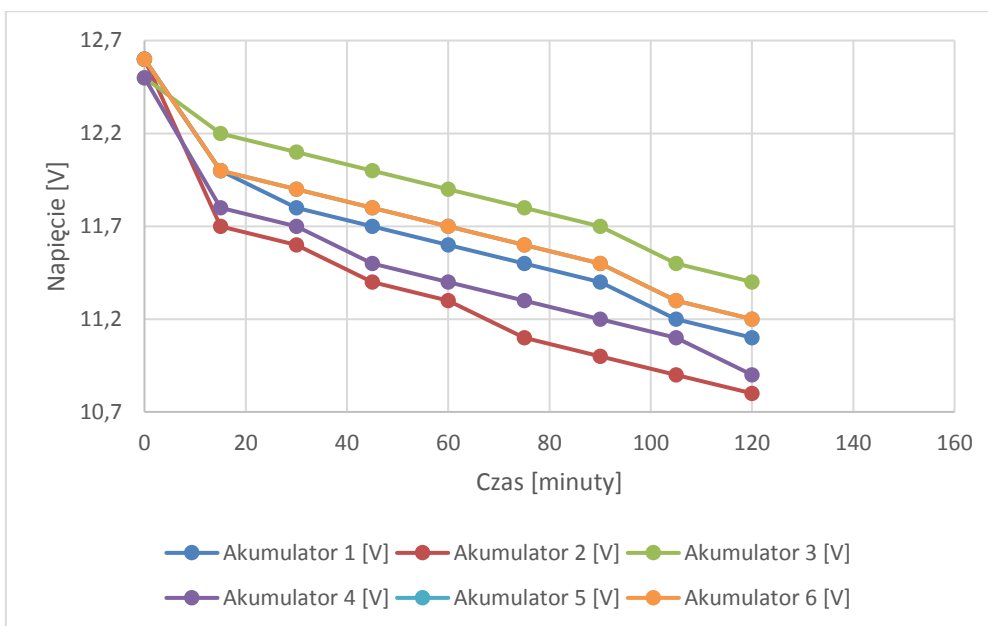


Wykres 100. Czwarta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Tabela 55. Piąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,4	30A	86,4 V	12,6	12,6	12,5	12,5	12,6	12,6
15	71,7	30A	86,4 V	12	11,7	12,2	11,8	12	12
30	71	30A	86,4 V	11,8	11,6	12,1	11,7	11,9	11,9
45	70,2	30A	86,4 V	11,7	11,4	12	11,5	11,8	11,8
60	69,6	30A	86,4 V	11,6	11,3	11,9	11,4	11,7	11,7
75	68,9	30A	86,4 V	11,5	11,1	11,8	11,3	11,6	11,6
90	68,3	30A	86,4 V	11,4	11	11,7	11,2	11,5	11,5
105	67,3	30A	86,4 V	11,2	10,9	11,5	11,1	11,3	11,3
120	66,6	30A	86,4 V	11,1	10,8	11,4	10,9	11,2	11,2

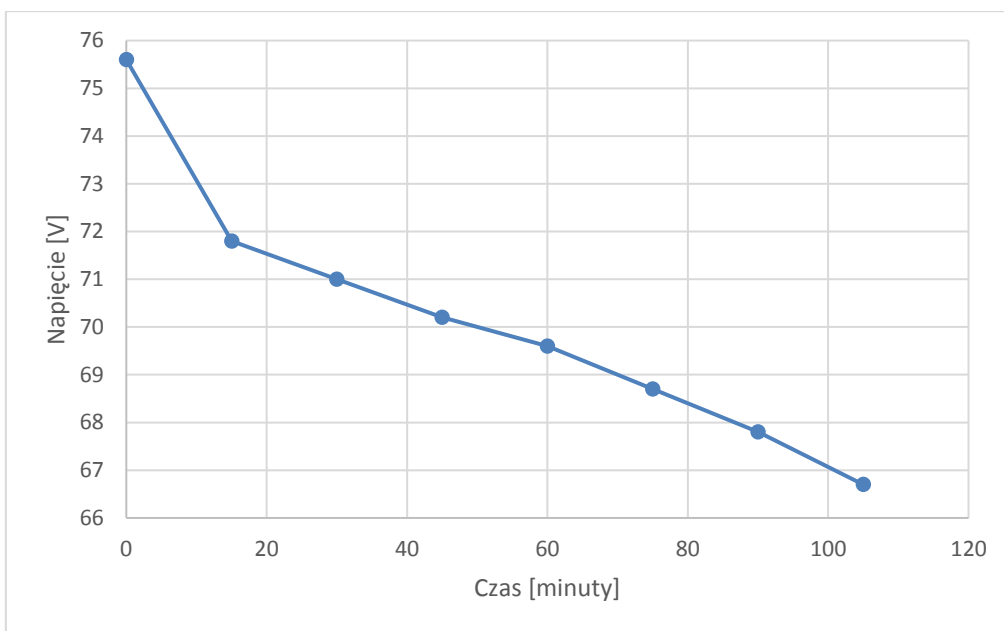

Wykres 101. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- piąta seria



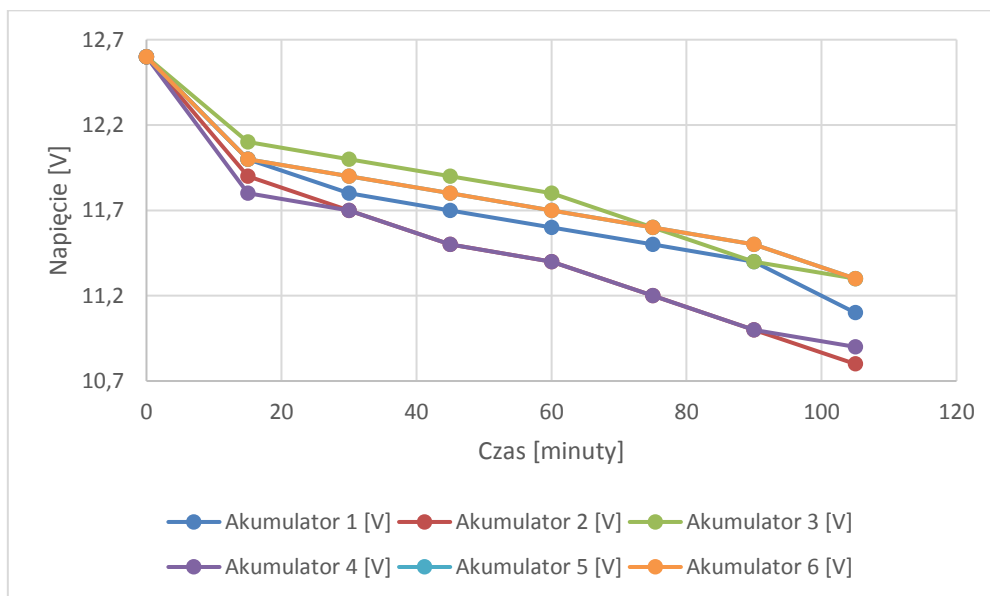
Wykres 102. Piąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Tabela 56. Szósta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	30	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,8	30	86,4	12	11,9	12,1	11,8	12	12
30	71	30	86,4	11,8	11,7	12	11,7	11,9	11,9
45	70,2	30	86,4	11,7	11,5	11,9	11,5	11,8	11,8
60	69,6	30	86,4	11,6	11,4	11,8	11,4	11,7	11,7
75	68,7	30	86,4	11,5	11,2	11,6	11,2	11,6	11,6
90	67,8	30	86,4	11,4	11	11,4	11	11,5	11,5
105	66,7	30	86,4	11,1	10,8	11,3	10,9	11,3	11,3



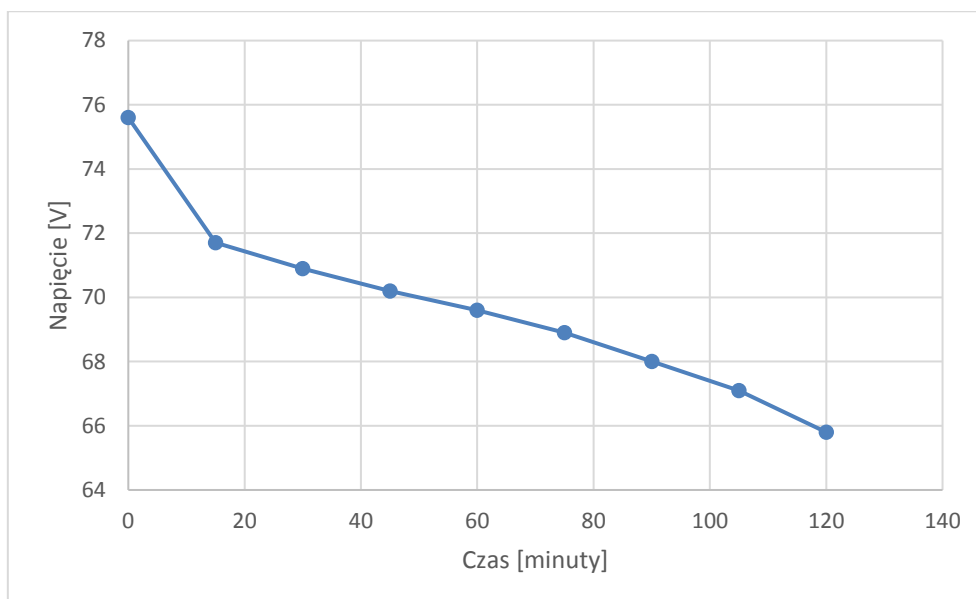
Wykres 103. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- szósta seria

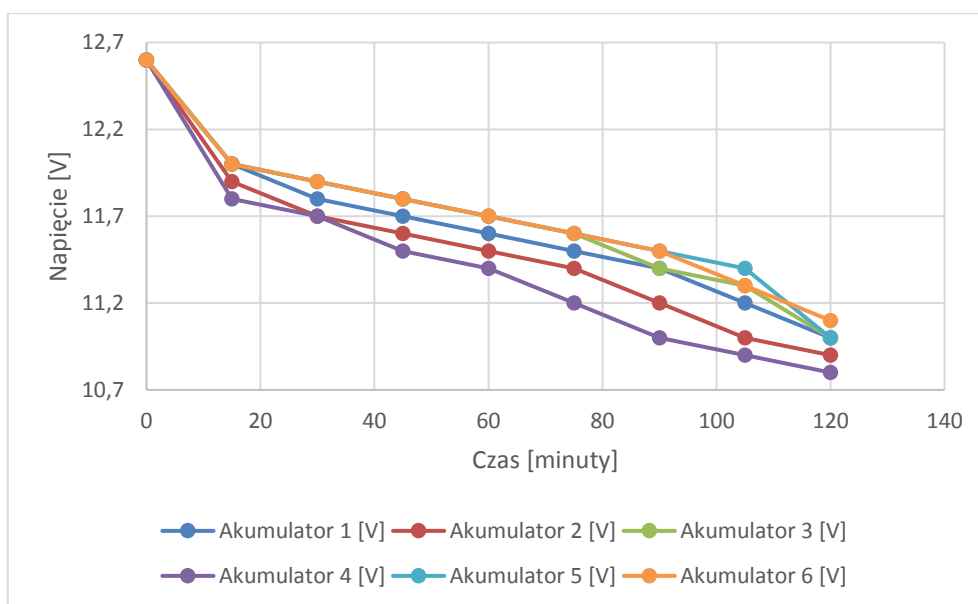


Wykres 104. Szósta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Tabela 57. Siódma seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	30	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,7	30	86,4	12	11,9	12	11,8	12	12
30	70,9	30	86,4	11,8	11,7	11,9	11,7	11,9	11,9
45	70,2	30	86,4	11,7	11,6	11,8	11,5	11,8	11,8
60	69,6	30	86,4	11,6	11,5	11,7	11,4	11,7	11,7
75	68,9	30	86,4	11,5	11,4	11,6	11,2	11,6	11,6
90	68	30	86,4	11,4	11,2	11,4	11	11,5	11,5
105	67,1	30	86,4	11,2	11	11,3	10,9	11,4	11,3
120	65,8	30	86,4	11	10,9	11	10,8	11	11,1

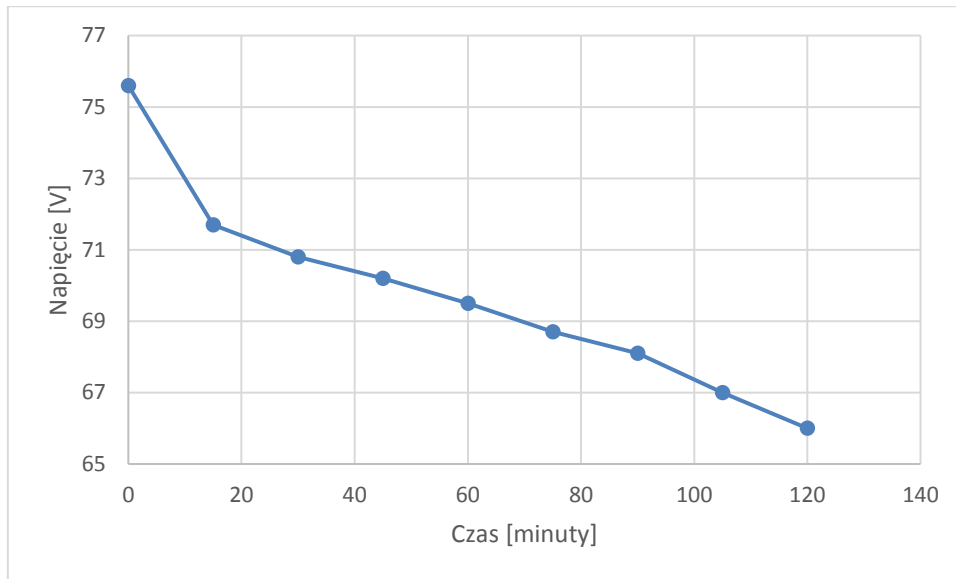

Wykres 105. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- siódma seria



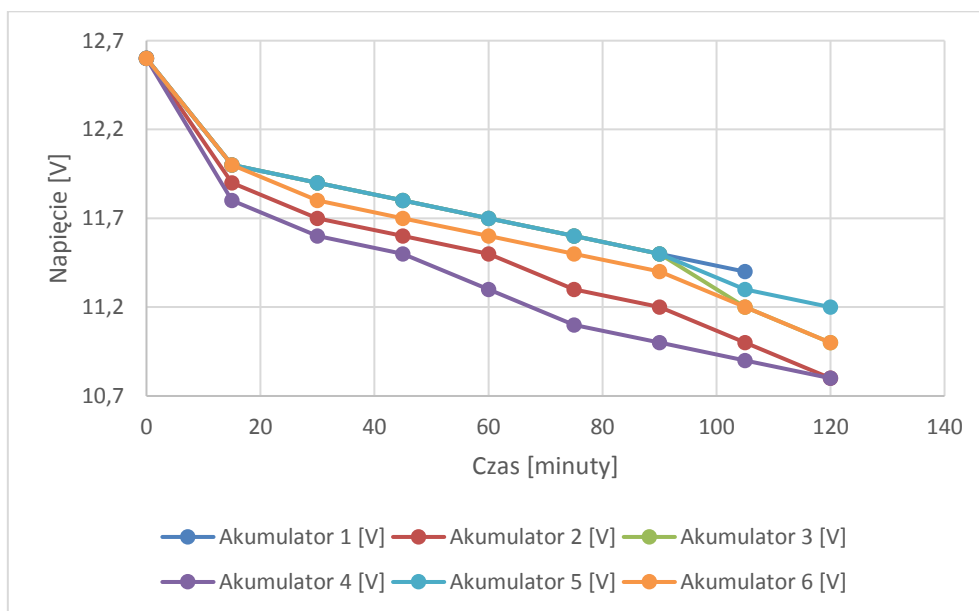
Wykres 106. Siódma seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Tabela 58. Ósma seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	30	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,7	30	86,4	12	11,9	12	11,8	12	12
30	70,8	30	86,4	11,9	11,7	11,9	11,6	11,9	11,8
45	70,2	30	86,4	11,8	11,6	11,8	11,5	11,8	11,7
60	69,5	30	86,4	11,7	11,5	11,7	11,3	11,7	11,6
75	68,7	30	86,4	11,6	11,3	11,6	11,1	11,6	11,5
90	68,1	30	86,4	11,5	11,2	11,5	11	11,5	11,4
105	67	30	86,4	11,4	11	11,2	10,9	11,3	11,2
120	66	30	86,4	11,2	10,8	11	10,8	11,2	11



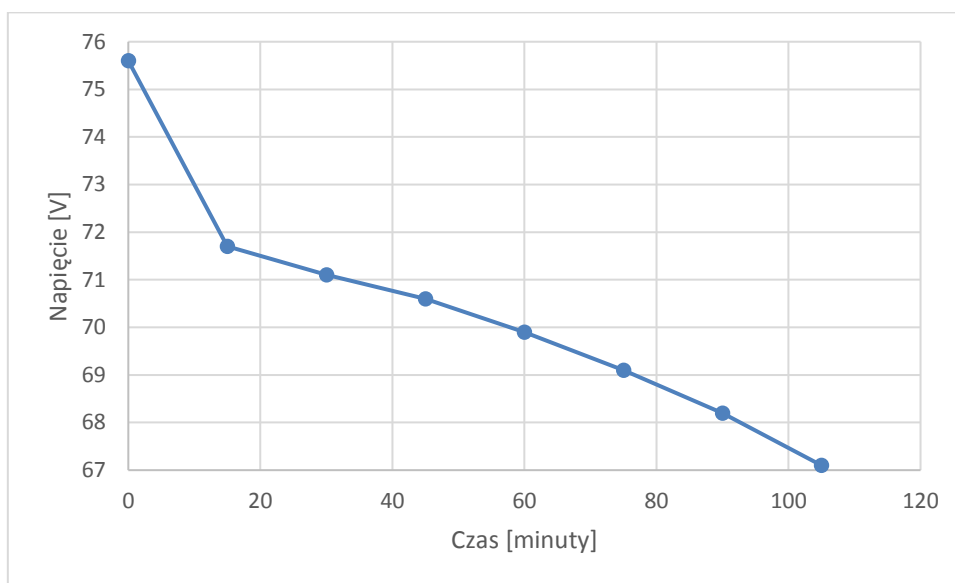
Wykres 107. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- ósma seria



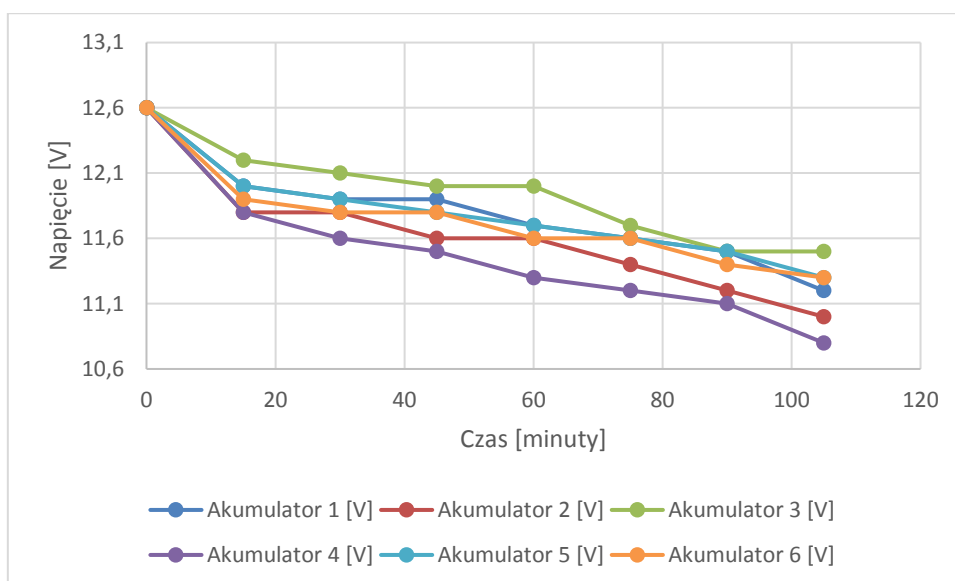
Wykres 108. Ósma seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Tabela 59. Dziewiąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	30	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,7	30	86,4	12	11,8	12,2	11,8	12	11,9
30	71,1	30	86,4	11,9	11,8	12,1	11,6	11,9	11,8
45	70,6	30	86,4	11,9	11,6	12	11,5	11,8	11,8
60	69,9	30	86,4	11,7	11,6	12	11,3	11,7	11,6
75	69,1	30	86,4	11,6	11,4	11,7	11,2	11,6	11,6
90	68,2	30	86,4	11,5	11,2	11,5	11,1	11,5	11,4
105	67,1	30	86,4	11,2	11	11,5	10,8	11,3	11,3



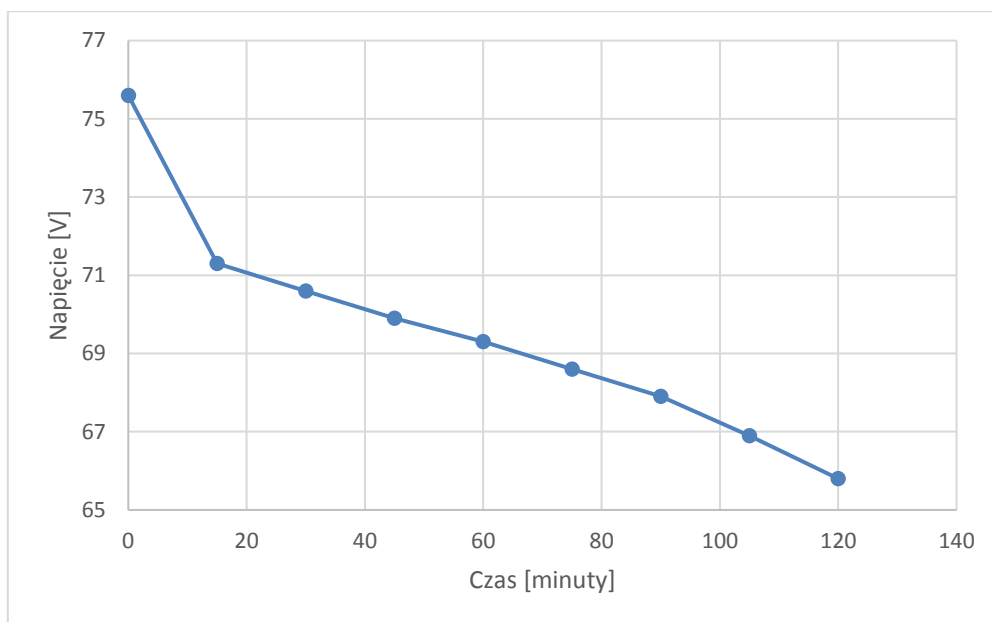
Wykres 109. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- dziewiąta seria



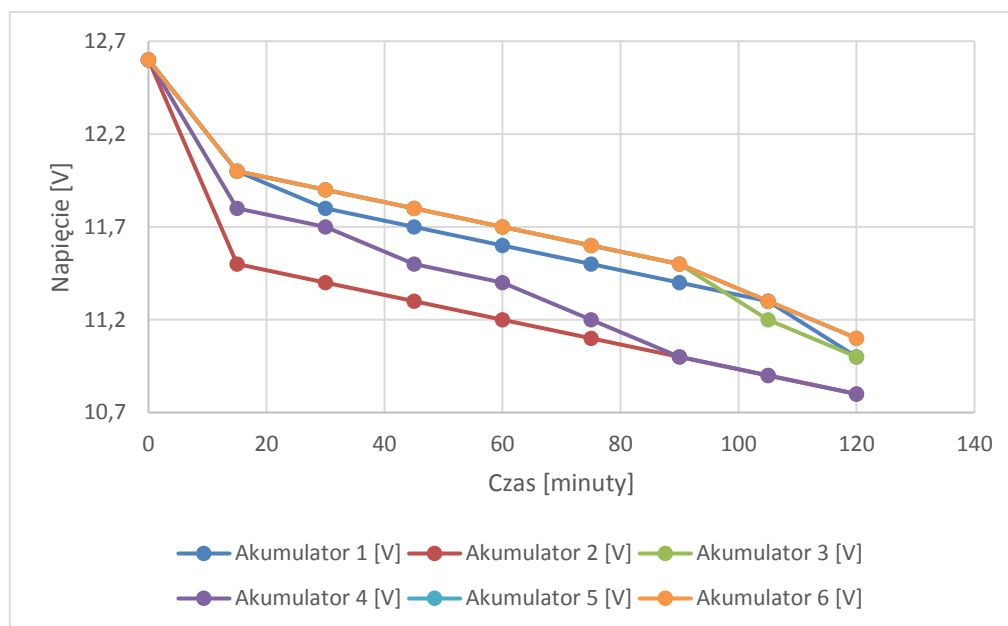
Wykres 110. Dwieście seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Tabela 60. Dwieście seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]
0	75,6	30	86,4	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
15	71,3	30	86,4	12	11,5	12	11,8	12	12
30	70,6	30	86,4	11,8	11,4	11,9	11,7	11,9	11,9
45	69,9	30	86,4	11,7	11,3	11,8	11,5	11,8	11,8
60	69,3	30	86,4	11,6	11,2	11,7	11,4	11,7	11,7
75	68,6	30	86,4	11,5	11,1	11,6	11,2	11,6	11,6
90	67,9	30	86,4	11,4	11	11,5	11	11,5	11,5
105	66,9	30	86,4	11,3	10,9	11,2	10,9	11,3	11,3
120	65,8	30	86,4	11	10,8	11	10,8	11,1	11,1



Wykres 111. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- dziesiąta seria



Wykres 112. Dziesiąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS

7 Akumulatory ołowiowe z elektrolitem żelowym

Akumulatora ołowiowy z elektrolitem w postaci żelu należą do grupy akumulatorów bezobsługowych, gdyż nie wymagają uzupełniania wody i ciągłej konserwacji elektrolitu. Akumulatory posiadają elektrolit w postaci żelu (żelowany kwas siarkowy), dzięki dodatkowi krzemionki. Umożliwia to zwiększenie odporności akumulatora na uszkodzenia mechaniczne oraz pomaga zoptymalizować proces ładowania. Ponadto są to ogniwa bezpieczne w eksploatacji, gdyż są całkowicie szczelne i nieszkodliwe dla otoczenia - nie istnieje ryzyko wycieku żrącego gazu. Każde ogniwo akumulatorów bezobsługowych posiada jednokierunkowy samuszczelniający się zawór, który otwiera się w przypadku wzrostu ciśnienia wewnątrz akumulatorów (np. przy przeładowaniu) i wypuszcza gazy na zewnątrz chroniąc pojemnik przed rozsądzeniem. Akumulatory żelowe wykorzystują proces rekombinacji, czyli reakcje chemiczne, dzięki którym tlen i wodór powstające przy przeładowaniu i w klasycznym ogniwie wydalone do atmosfery, pozostają w akumulatorze w postaci wody i eliminują konieczność jej uzupełniania. Akumulatory bezobsługowe, czyli żelowe to nic innego jak akumulatory kwasowo-ołowiowe, oparte na ogniwach galwanicznych zbudowanych z elektrody ołowiowej, elektrody z tlenku ołowiu(IV) (PbO_2) oraz około 37% roztworu kwasu siarkowego w postaci żelu, spełniającego rolę elektrolitu. Istotną kwestią jest fakt, iż w wyniku użytkowania, elektrody mogą zacząć się kruszyć, czasami powodując nawet zwarcie wewnątrz ogniwa. Ponadto są wrażliwe na długoterminowe rozładowania, ale są dosyć łatwe w ładowaniu. Prąd ładowania maleje ze wzrostem napięcia i przy całkowitym naładowaniu jest wielokrotnie mniejszy niż początkowy.

7.1 Badanie cykli ładowania indywidualnego – cykl rozruchowy

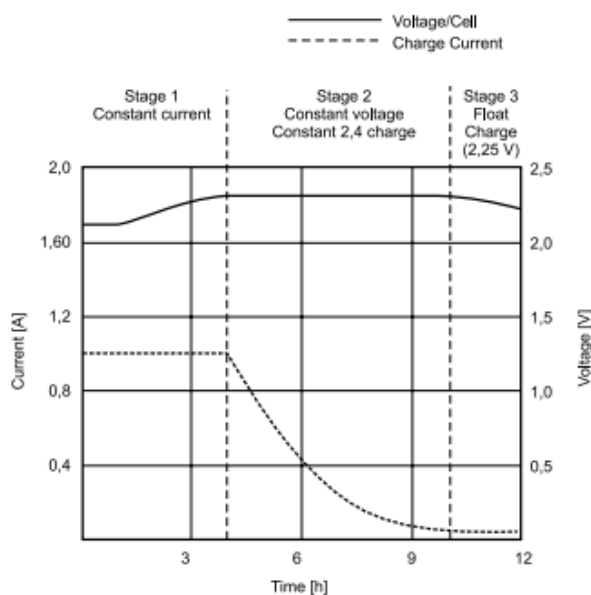
W przypadku nowozakupionych akumulatorów ołowiowych z elektrolitem w postaci żelu pierwszy etap prac badawczo-rozwojowych będzie polegał na wykonaniu cykli rozruchowych ładowania-rozładowania, aby zapewnić pełne naładowanie i wyrównanie napięć na poszczególnych ogniwach. Proces ten polega na naładowaniu każdego pojedynczego akumulatora do poziomu ustalonej wartości maksymalnej - 14,4V. Prąd ładowania nie może przekroczyć wartości 0,1C. Kolejną czynnością jest rozładowanie pojedynczego akumulatora do poziomu minimalnego napięcia-10,8. Cykl rozruchowy należy powtórzyć pięciokrotnie. Jest to konieczna procedura do prowadzenia dalszych prac badawczych, mimo iż akumulatory były nowe to jednak stan ich naładowania nie wynosił 100%. Przeprowadzenie procesu rozruchowego wymaga przygotowania stanowiska badawczego zgodnie ze schematem przedstawionym na Rysunku20. Prace badawczo-pomiarowe na tym etapie są sterowane oraz rejestrowane za pomocą ładowarki wchodzącej w skład wymaganego wyposażenia stanowiska.

Użytkując akumulator należy pamiętać o temperaturze, w jakiej będzie eksploatowany. Znamionowa temperatura pracy akumulatorów żelowych wynosi 20°C. Praca w podwyższonej temperaturze powoduje skrócenie ich żywotności, np. akumulator eksploatowany w 33°C zachowa 50% projektowanej żywotności. Z racji tego należy umieszczać akumulatory z dala od urządzeń będących źródłem ciepła (np. transformator, radiator). Wskazane jest również zachowanie bezpiecznego odstępów wokół akumulatora (1,5 cm) oraz zastosowanie urządzenia z otworami wentylacyjnymi w obudowie dla zapewnienia swobodnej cyrkulacji powietrza (wykorzystać efektywną naturalną bądź wymuszoną wentylację).

Ładowanie akumulatorów żelowych powinno odbywać się metodą CC-CV (constant current ; constant voltage) czyli, co najmniej dwufazowo - wtedy akumulator będzie odpowiednio naładowany i nie ulegnie przedwczesnemu zużyciu. W I etapie ładowanie powinno odbywać się stałym prądem w zakresie 10-30% pojemności nominalnej akumulatora. Korzystne dla ogniwa jest ustawienie małego prądu ładowania, czyli nawet 5-10% pojemności ładowanego akumulatora, np. dla baterii 100Ah będzie to prąd w zakresie 5-10A, na tym etapie napięcie na zaciskach akumulatora stopniowo rośnie (energia jest magazynowana). Drugi etap ładowania następuje przy stopniowo malejącym prądzie i utrzymaniu stałego napięcia. Na tym etapie napięcie ładowania nie powinno przekraczać 14,5-15V. Z wyższym napięciem akumulator ładuje się szybciej. Z punktu widzenia czasu użytkowania nie jest to jednak dobre rozwiązanie, ponieważ jeśli akumulator będzie tak szybko ładowany - jego pojemność będzie dość szybko malała. W II etapie korzystniej jest, aby napięcie

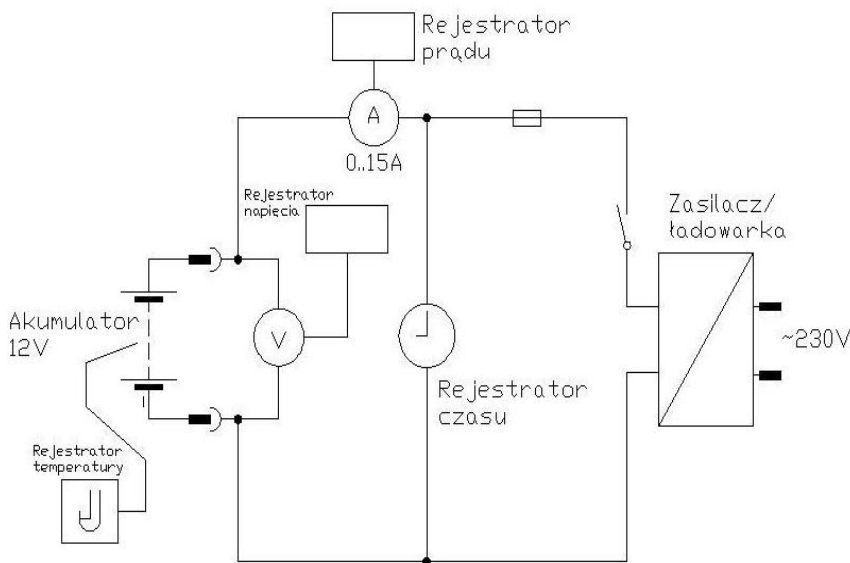
ładowania było mniejsze niż 14,5V - wpływa to pozytywnie na stan akumulatora. Producent zaleca stosowanie minimalnego napięcia ładowania. Ładowarki często posiadają jeszcze III etap - czyli podtrzymanie akumulatora w stanie gotowości. Na tym etapie napięcie obniżane jest do poziomu buforowego, zwykle 13,5-13,8V, a w obwodzie powinien płynąć minimalny prąd (kilka mA/1Ah pojemności akumulatora). Warto dodać, że w czasie użytkowania elektrody mogą zacząć się kruszyć. Powodując czasem nawet zwarcie wewnątrz ogniwa. Ponadto są wrażliwe na długoterminowe rozładowanie. Prąd ładowania maleje ze wzrostem napięcia i przy całkowitym naładowaniu jest wielokrotnie mniejszy niż początkowy. Część producentów zaleca ładowanie w trybie stałego prądu - a potem od pewnego momentu stałym napięciem, co przedstawia wykres 113.

Schemat pojedynczego ładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym został przedstawiony na rysunku 20.



Wykres 113. Ładowanie akumulatora ołowiowego z elektrolitem żelowym metodą CC-CV

Proces ładowania



Rysunek 20. Schemat ładowania akumulatora z elektrolitem żelowym

W utworzonym układzie pomiarowym ładowania akumulatorów żelowych biorą udział rejestratory prądu, napięcia, czasu i temperatury, dzięki którym łatwo można określić pewne charakterystyki akumulatora i ocenić jego kondycję. Przeprowadzona na tym etapie seria ładowania sześciu akumulatorów umożliwi właściwą ocenę techniczną baterii. W procesie badawczym udział bierze sześć akumulatorów żelowych Koyosonic o napięciu nominalnym 12V oraz pojemności 110Ah. Proces ładowania jest sterowany oraz rejestrowany za pomocą ładowarki, która wchodzi w skład wyposażenia stanowiska pomiarowego. Prace badawczo-pomiarowe będą polegały na przeprowadzeniu dziesięciokrotnych cykli ładowanie/rozładowanie każdego akumulatora (indywidualnie) w celu uzyskania rzeczywistych parametrów akumulatorów.

Na etapie ładowania do akumulatorów dostarczany jest prąd o wartości 11A. Zalecane jest ładowanie prądem poniżej wartości 30A, aby nie doszło do uszkodzenia lub przeładowania akumulatora. Przeładowanie jest zawsze bardzo szkodliwe i może bezpowrotnie zmniejszyć pojemność akumulatora. Prąd ładowania maleje ze wzrostem napięcia i przy maksymalnym naładowaniu jest wielokrotnie mniejszy niż początkowy. Aby uniknąć przeładowania nie należy przekraczać maksymalnego napięcia. Ładowanie zostanie zakończone w momencie osiągnięcia stanu pełnego naładowania, czyli uzyskania maksymalnego napięcia ładowania - 14,4V.



W trakcie pomiarów cykli ładowania dla akumulatorów żelowych monitorowane będą podstawowe parametry tj. napięcie, prąd oraz czas trwania badania, które posłużą do wyznaczenia pojemności i mocy zgromadzonej w akumulatorze. Proces ładowania oraz rozładowania jest sterowany i rejestrowany za pomocą ładowarki ICharger. Uzyskane wyniki zostaną dołączone do raportu w formie tabeli oraz wykresów.

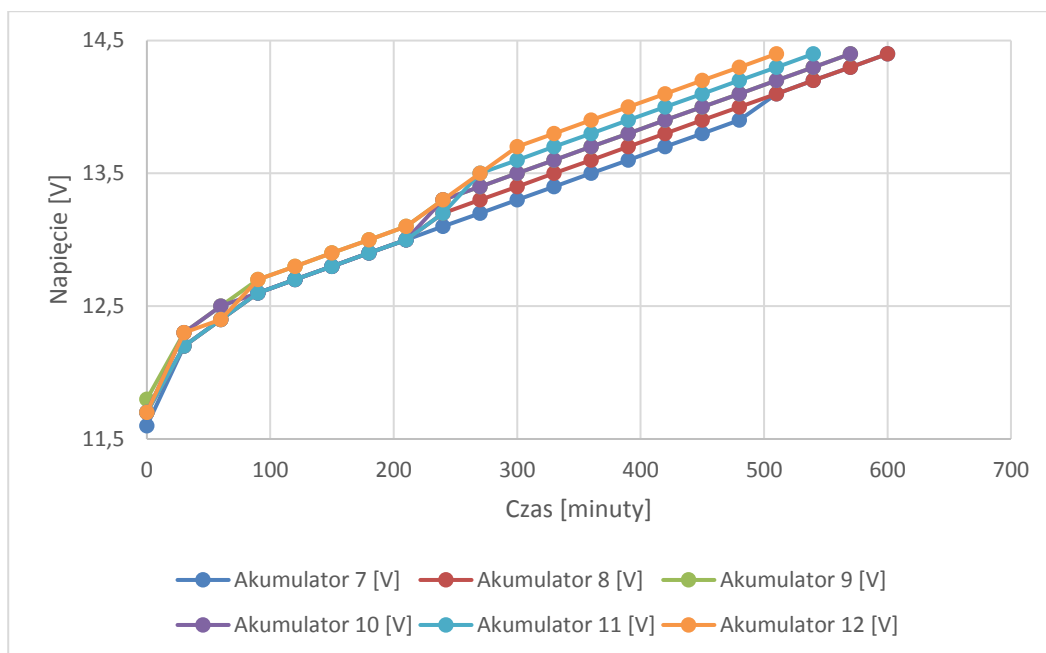
7.1.1 Tabele i wykresy ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Badanie ładowania akumulatorów żelowych odbywa się w warunkach laboratoryjnych, w optymalnej temperaturze otoczenia dla tych akumulatorów - ok. 20°C, za pomocą ładowarki wchodzącej w wyposażenie stanowiska. W tabelach przedstawiono stan napięcia na poszczególnych akumulatorach żelowych o napięciu nominalnym 12V podczas cyklu ładowania. Ładowanie zostało przeprowadzone dziesięciokrotnie, stałym prądem 10-godzinnym (11A) dla akumulatorów o pojemności 110 Ah. Następnie stałym napięciem do wartości 14,4V przy stopniowo malejącym prądzie do wartości $\leq 1A$. Poziom naładowania w nowozakupionych akumulatorach powinien być podobny, jednak nie wynosi 100%. Prąd ładowania powinien być niewielki (do 10% pojemności akumulatora) ze względu na łagodne procesy zachodzące w akumulatorach oraz żeby zorientować nowe ogniwa do właściwej pracy. Właściwe ładowanie jest istotne dla właściwości elektrycznych oraz trwałości eksploatacyjnej akumulatora w dalszym użytkowaniu.

Z otrzymanych pomiarów przedstawionych w tabelach 61-70 i na wykresach 114-123 można wywnioskować, że akumulatory żelowe są w dobrej kondycji technicznej. Najbardziej trwały eksploatacyjnie jest akumulator nr 7 i 8. W tych akumulatorach proces ładowania przebiega najłagodniej, a czas ładowania jest najdłuższy (im szybsze ładowanie, tym pojemność mniejsza). Poprawny cykl ładowania dla akumulatora 7 i 8 można zaobserwować w pierwszym ładowaniu (tabela 61). Natomiast akumulator o mniejszej pojemności, które najszybciej się ładuje i osiąga maksymalne napięcie ładowania, to akumulator 12 oraz 9 (tabela 69). Szybki proces ładowania akumulatora 12 i 9 świadczy o niskim poziomie pojemności, w stosunku do pozostałych- są słabsze pod względem magazynowania energii.

Tabela 61. Seria pierwsza ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
11,6	11,7	11,8	11,7	11,7	11,7	0
12,2	12,2	12,3	12,3	12,2	12,3	30
12,4	12,4	12,5	12,5	12,4	12,4	60
12,6	12,6	12,7	12,6	12,6	12,7	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150
12,9	12,9	13	12,9	12,9	13	180
13	13	13,1	13	13	13,1	210
13,1	13,2	13,3	13,3	13,2	13,3	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,5	270
13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360
13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,7	13,8	13,9	13,9	14	14,1	420
13,8	13,9	14	14	14,1	14,2	450
13,9	14	14,1	14,1	14,2	14,3	480
14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,4	510
14,2	14,2	14,3	14,3	14,4		540
14,3	14,3	14,4	14,4			570
14,4	14,4					600

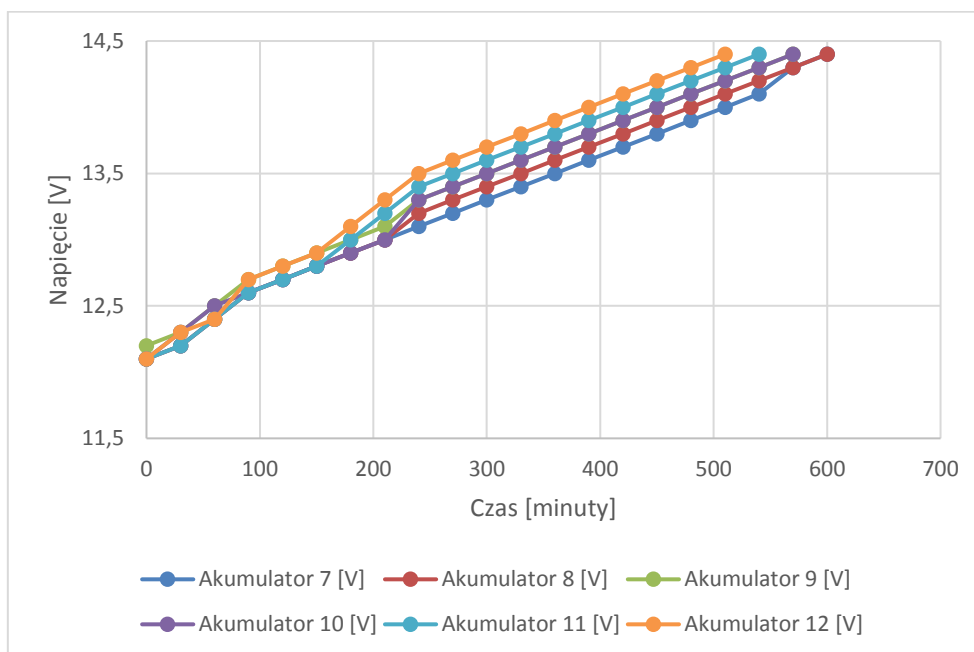


Wykres 114. Pierwsza seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 62. Druga seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
12,1	12,1	12,2	12,1	12,1	12,1	0
12,2	12,2	12,3	12,3	12,2	12,3	30
12,4	12,4	12,5	12,5	12,4	12,4	60
12,6	12,6	12,7	12,6	12,6	12,7	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150
12,9	12,9	13	12,9	13	13,1	180
13	13	13,1	13	13,2	13,3	210
13,1	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,6	270
13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360
13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,7	13,8	13,9	13,9	14	14,1	420
13,8	13,9	14	14	14,1	14,2	450
13,9	14	14,1	14,1	14,2	14,3	480

14	14,1	14,2	14,2	14,3	14,4	510
14,1	14,2	14,3	14,3	14,4		540
14,3	14,3	14,4	14,4			570
14,4	14,4					600

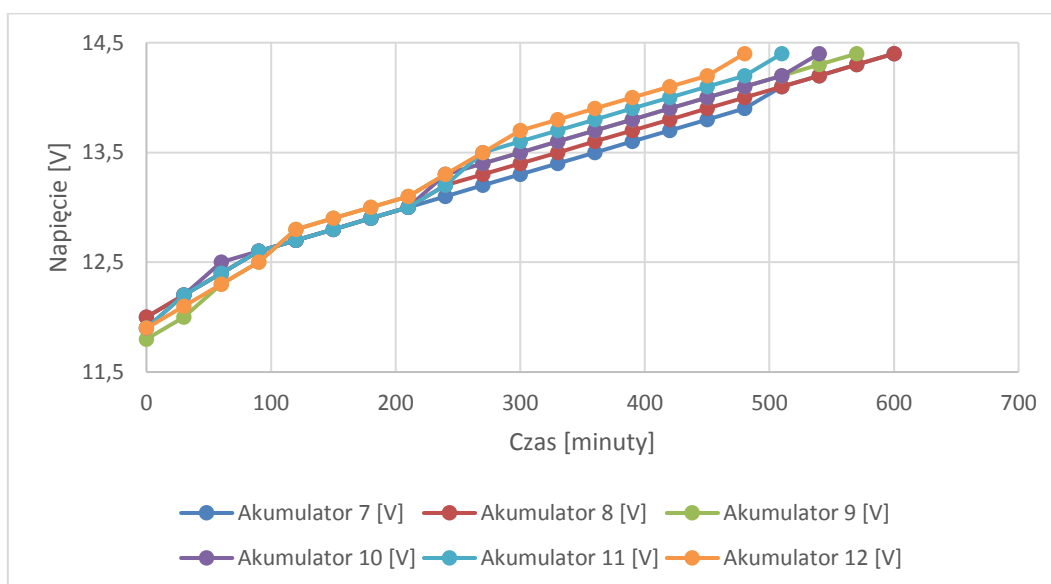


Wykres 115. Druga seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 63. Trzeci cykl ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
12	12	11,8	11,9	11,9	11,9	0
12,2	12,2	12	12,2	12,2	12,1	30
12,4	12,4	12,3	12,5	12,4	12,3	60
12,6	12,6	12,5	12,6	12,6	12,5	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150
12,9	12,9	13	12,9	12,9	13	180
13	13	13,1	13	13	13,1	210
13,1	13,2	13,3	13,3	13,2	13,3	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,5	270

13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360
13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,7	13,8	13,9	13,9	14	14,1	420
13,8	13,9	14	14	14,1	14,2	450
13,9	14	14,1	14,1	14,2	14,4	480
14,1	14,1	14,2	14,2	14,4		510
14,2	14,2	14,3	14,4			540
14,3	14,3	14,4				570
14,4	14,4					600

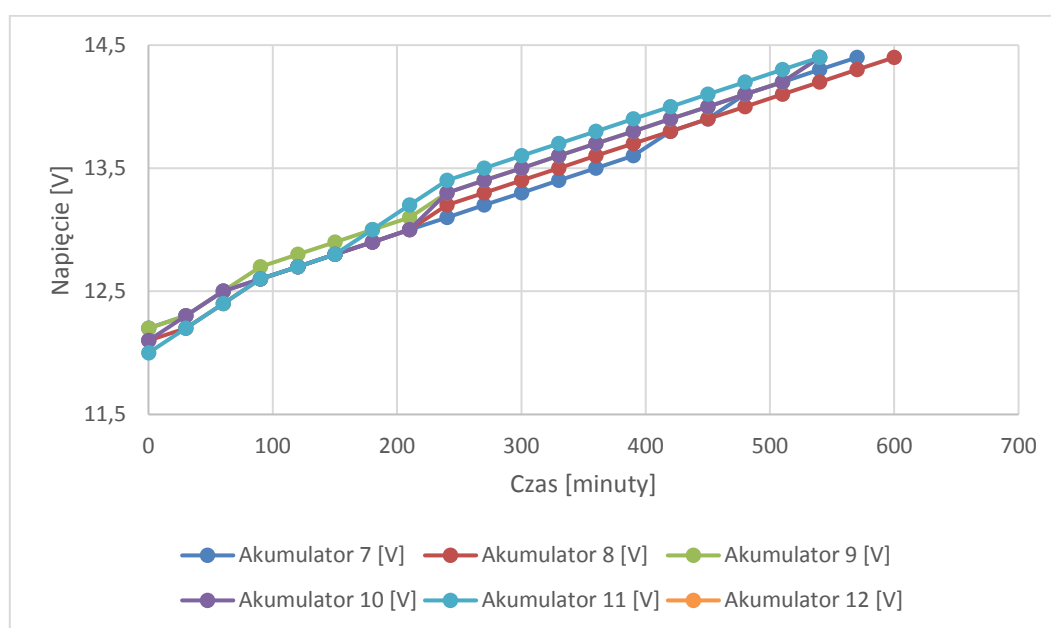


Wykres 116. Trzeci cykl ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 64. Czwarty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych

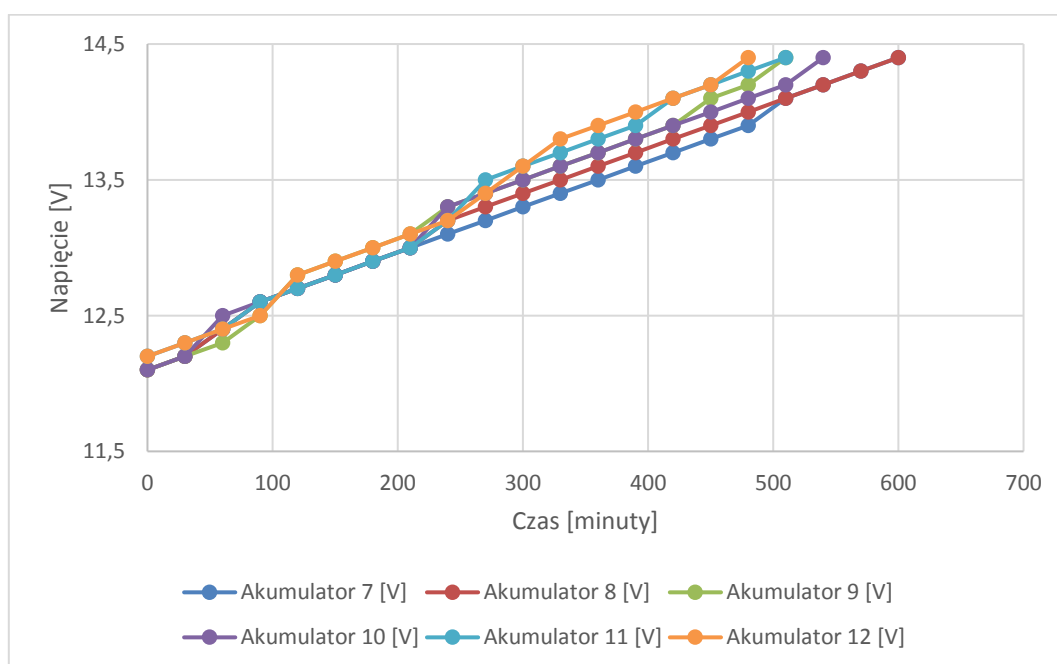
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
12,2	12,1	12,2	12,1	12	12,1	0
12,3	12,2	12,3	12,3	12,2	12,3	30
12,5	12,4	12,5	12,5	12,4	12,4	60
12,6	12,6	12,7	12,6	12,6	12,7	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150

12,9	12,9	13	12,9	13	13,1	180
13	13	13,1	13	13,2	13,3	210
13,1	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,6	270
13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360
13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,8	13,8	13,9	13,9	14	14,1	420
13,9	13,9	14	14	14,1	14,2	450
14,1	14	14,1	14,1	14,2	14,3	480
14,2	14,1	14,2	14,2	14,3	14,4	510
14,3	14,2	14,4	14,4	14,4		540
14,4	14,3					570
	14,4					600


Wykres 117. Czwarty cykl ładowania indywidualnych akumulatorów żelowych
Tabela 65. Piąty cykl ładowania indywidualnych akumulatorów żelowych

Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
12,1	12,1	12,1	12,1	12,2	12,2	0
12,2	12,2	12,2	12,2	12,3	12,3	30

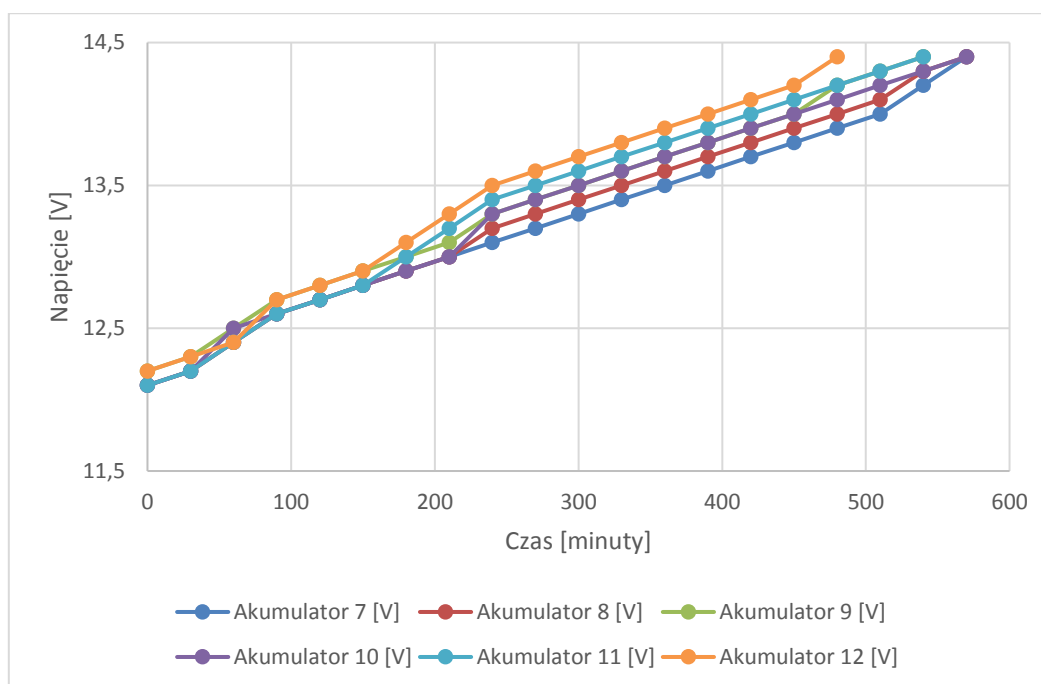
12,4	12,4	12,3	12,5	12,4	12,4	60
12,6	12,6	12,5	12,6	12,6	12,5	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150
12,9	12,9	13	12,9	12,9	13	180
13	13	13,1	13	13	13,1	210
13,1	13,2	13,3	13,3	13,2	13,2	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,4	270
13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,6	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360
13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,7	13,8	13,9	13,9	14,1	14,1	420
13,8	13,9	14,1	14	14,2	14,2	450
13,9	14	14,2	14,1	14,3	14,4	480
14,1	14,1	14,4	14,2	14,4		510
14,2	14,2		14,4			540
14,3	14,3					570
14,4	14,4					600



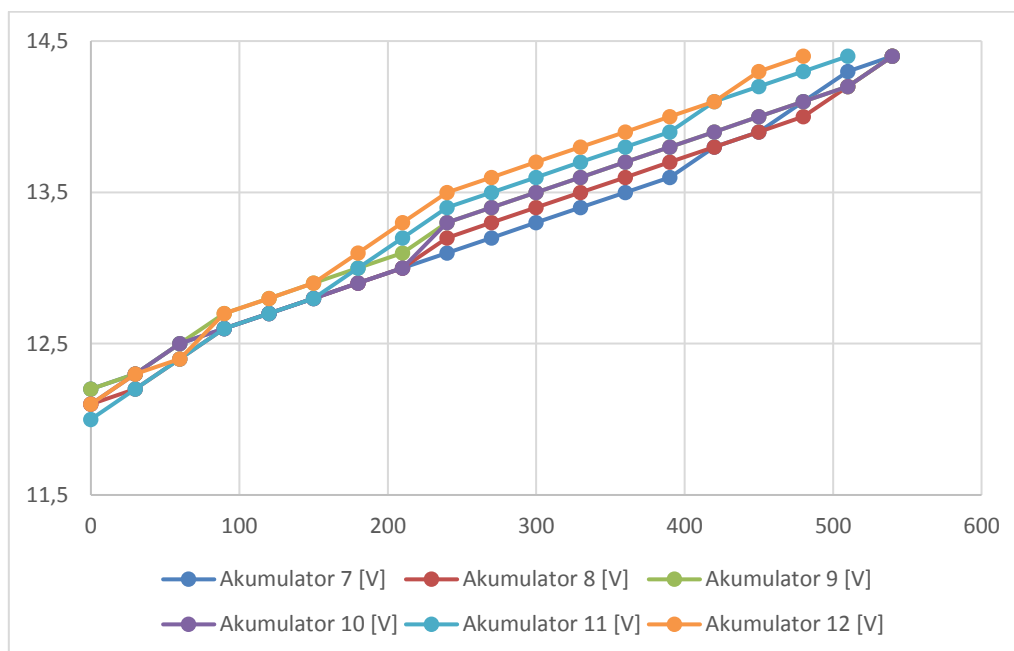
Wykres 118. Piąty cykl ładowania indywidualnych akumulatorów żelowych

Tabela 66. Szósta seria ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych

Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
12,1	12,1	12,2	12,1	12,1	12,2	0
12,2	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3	30
12,4	12,4	12,5	12,5	12,4	12,4	60
12,6	12,6	12,7	12,6	12,6	12,7	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150
12,9	12,9	13	12,9	13	13,1	180
13	13	13,1	13	13,2	13,3	210
13,1	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,6	270
13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360
13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,7	13,8	13,9	13,9	14	14,1	420
13,8	13,9	14	14	14,1	14,2	450
13,9	14	14,2	14,1	14,2	14,4	480
14	14,1	14,3	14,2	14,3		510
14,2	14,3	14,4	14,3	14,4		540
14,4	14,4		14,4			570


Wykres 119. Szósta seria ładowania akumulatorów żelowych
Tabela 67. Siódma seria ładowania akumulatorów żelowych

Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
12,2	12,1	12,2	12,1	12	12,1	0
12,3	12,2	12,3	12,3	12,2	12,3	30
12,5	12,4	12,5	12,5	12,4	12,4	60
12,6	12,6	12,7	12,6	12,6	12,7	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150
12,9	12,9	13	12,9	13	13,1	180
13	13	13,1	13	13,2	13,3	210
13,1	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,6	270
13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360
13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,8	13,8	13,9	13,9	14,1	14,1	420
13,9	13,9	14	14	14,2	14,3	450
14,1	14	14,1	14,1	14,3	14,4	480
14,3	14,2	14,2	14,2	14,4		510
14,4	14,4	14,4	14,4			540

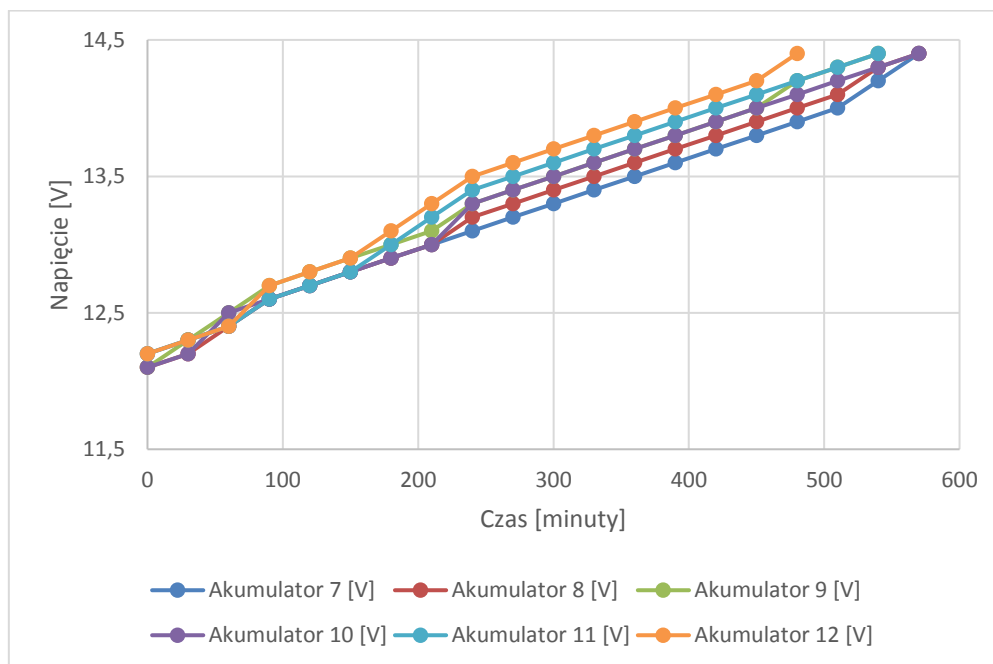


Wykres 120. Siódma seria ładowania akumulatorów żelowych

Tabela 68. Ósma seria ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych

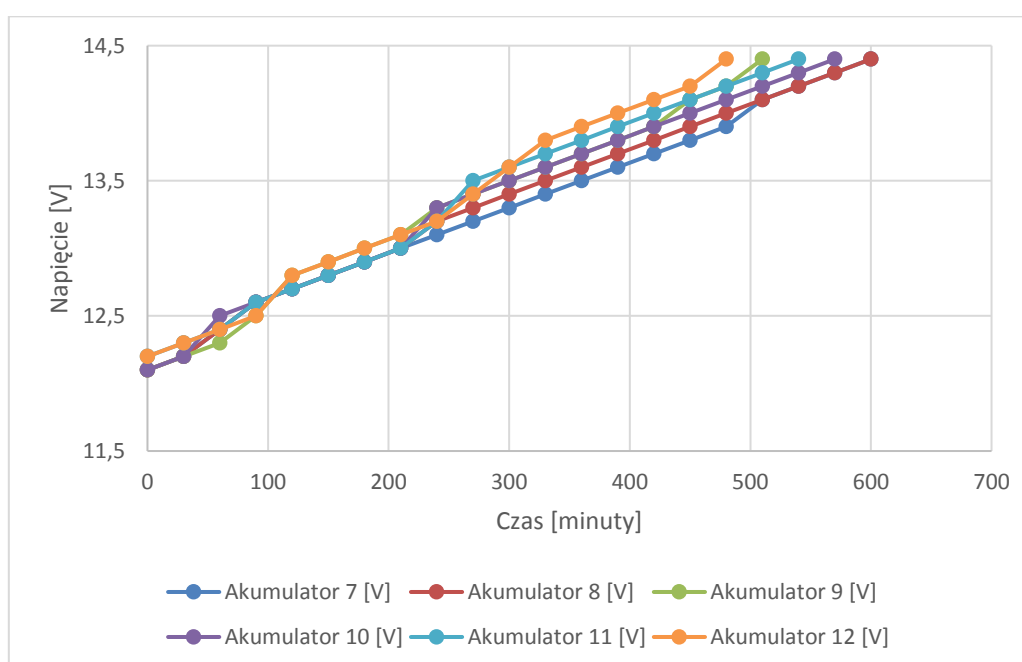
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
12,2	12,1	12,1	12,1	12,2	12,2	0
12,3	12,2	12,3	12,2	12,3	12,3	30
12,4	12,4	12,5	12,5	12,4	12,4	60
12,6	12,6	12,7	12,6	12,6	12,7	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150
12,9	12,9	13	12,9	13	13,1	180
13	13	13,1	13	13,2	13,3	210
13,1	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,6	270
13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360
13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,7	13,8	13,9	13,9	14	14,1	420
13,8	13,9	14	14	14,1	14,2	450
13,9	14	14,2	14,1	14,2	14,4	480
14	14,1	14,3	14,2	14,3		510

14,2	14,3	14,4	14,3	14,4		540
14,4	14,4		14,4			570
						600


Wykres 121. Ósma seria ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych
Tabela 69. Dziewiąty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych

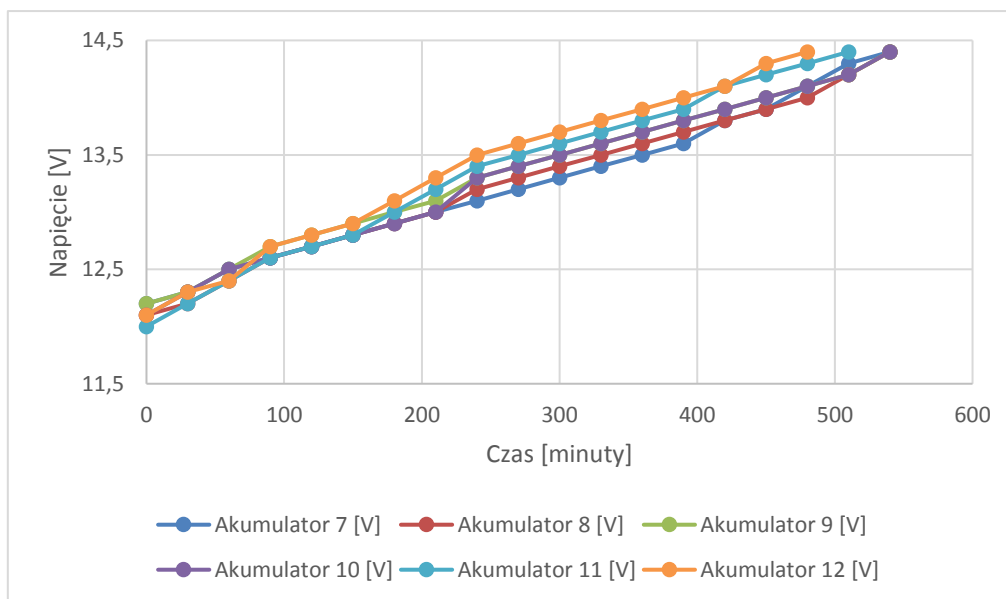
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
12,1	12,1	12,1	12,1	12,2	12,2	0
12,2	12,2	12,2	12,2	12,3	12,3	30
12,4	12,4	12,3	12,5	12,4	12,4	60
12,6	12,6	12,5	12,6	12,6	12,5	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150
12,9	12,9	13	12,9	12,9	13	180
13	13	13,1	13	13	13,1	210
13,1	13,2	13,3	13,3	13,2	13,2	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,4	270
13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,6	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360

13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,7	13,8	13,9	13,9	14	14,1	420
13,8	13,9	14,1	14	14,1	14,2	450
13,9	14	14,2	14,1	14,2	14,4	480
14,1	14,1	14,4	14,2	14,3		510
14,2	14,2		14,3	14,4		540
14,3	14,3		14,4			570
14,4	14,4					600


Wykres 122. Dziewiąty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych
Tabela 70. Dziesiąty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych

Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas ładowania [minuty]
12,2	12,1	12,2	12,1	12	12,1	0
12,3	12,2	12,3	12,3	12,2	12,3	30
12,5	12,4	12,5	12,5	12,4	12,4	60
12,6	12,6	12,7	12,6	12,6	12,7	90
12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8	120
12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9	150
12,9	12,9	13	12,9	13	13,1	180
13	13	13,1	13	13,2	13,3	210

13,1	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	240
13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,6	270
13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	300
13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	330
13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	360
13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14	390
13,8	13,8	13,9	13,9	14,1	14,1	420
13,9	13,9	14	14	14,2	14,3	450
14,1	14	14,1	14,1	14,3	14,4	480
14,3	14,2	14,2	14,2	14,4		510
14,4	14,4	14,4	14,4			540
						570
						600



Wykres 123. Dziesiąty cykl ładowania akumulatorów ołowiowych

7.2 Badanie cykli rozładowania indywidualnego – cykl rozruchowy

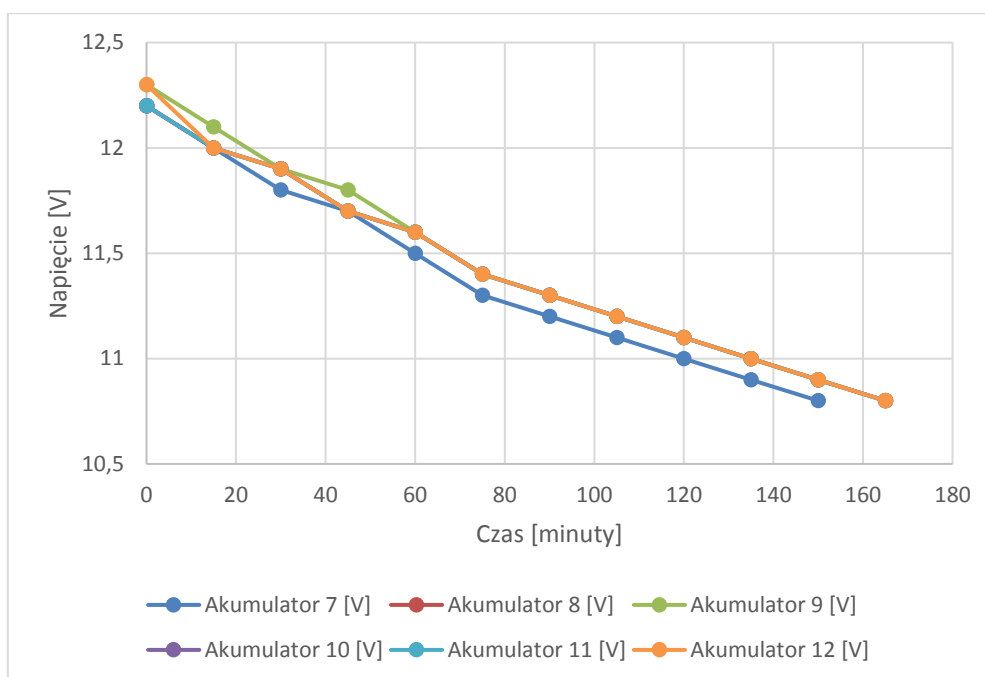
Pojemność akumulatora zależy od wielkości prądu rozładowującego, czyli jest funkcją obciążenia. Czas rozładowania zależy od prądu rozładowania. Przekroczenie prądu znamionowego skraca czas eksploatacji. Wraz ze wzrostem prądu rozładowania dostępna energia (pojemność) ulega zmniejszeniu. Pojemność akumulatora [Ah] jest wyrażona iloczynem prądu rozładowania [A] i czasu [t] do założonego napięcia końcowego. Wartość C opisuje pojemność znamionową akumulatora mierzoną przy 20-godzinnym czasie rozładowania, wyrażoną w [Ah]. Akumulatory o różnej pojemności znamionowej mają różne wartości 20-godzinnego prądu rozładowania I_{20} np. dla akumulatora o pojemności znamionowej 38 [Ah] prąd ten wynosi $38 \text{ [Ah]} / 20 \text{ [h]} = 1,9 \text{ [A]}$. Wynika stąd, że akumulator obciążony prądem rozładowania o natężeniu 1,9 [A] powinien dostarczyć energię elektryczną przez 20 godzin nie przekraczając granicy dopuszczalnego poziomu rozładowania (w tym przypadku 1,75V/ogniwo). Przekroczenie tej granicy jest dla akumulatora szkodliwe. Podczas pracy w niskich temperaturach należy uwzględnić spadek pojemności akumulatora i dobierać ją z odpowiednim zapasem. Przy temperaturze 0°C pozostaje do dyspozycji 85%, a w temperaturze -20 i -10°C odpowiednio 75% i 65% pojemności znamionowej. Szczelne akumulatory ołowiowe kwasowe są wrażliwe na powtarzające się nadmierne (zbyt głębokie) rozładowanie. Głębokie rozładowanie akumulatora powoduje ograniczenie jego możliwości magazynowania energii, zmniejszenie pojemności i skrócenie żywotności. Nadmiernie rozładowane akumulatory ulegają zasiarczeniu i powodują nieodwracalną utratę dostępnej pojemności. Jeśli chodzi o ochronę przeciw nadmiernemu rozładowaniu, to w katalogach zawarte są krzywe rozładowania i pokazane są minimalne napięcia rozładowania. Powszechnie przyjmuje się dopuszczalną granicę rozładowania 1,8V/cele, czyli 10,8V dla akumulatora 12V. Głębokie rozładowanie poniżej 10V może powodować jego uszkodzenie lub znacznie skrócić żywotność.

7.2.1 Tabele i wykresy rozładowania dla akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabele przedstawiają cykl rozładowania indywidualnego dla sześciu akumulatorów żelowych o napięciu nominalnym 12V. Rozładowanie powtarzane jest dziesięciokrotnie w celu zorientowania akumulatorów do odpowiedniej pracy oraz aby ocenić ich stan techniczny. Rozładowanie odbywa się prądem 3-godzinnym, czyli 30A (jest to maksymalny dopuszczalny prąd rozładowania, przewidziany w badaniach). Rozładowanie należy przeprowadzać w odpowiedniej temperaturze ok. 20°C oraz odpowiednio dobranym prądem. Im większy prąd, tym pojemność akumulatora ulega zmniejszeniu. W trakcie pomiarów rozładowania monitorowane będzie stan napięcia oraz czas trwania cyklu. Na podstawie pomiarów umieszczonych w tabelach można uznać, że akumulator 12 i 9 mają najmniejszą pojemność - mają mniejszą ilość zmagazynowanej energii oraz proces ich rozładowania jest najszybszy (tabela 72). Z kolei akumulatory 7 i 8, które mają największą pojemności, mają również najdłuższy cykl rozładowania (tabela 74).

Tabela 71. Pierwszy cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

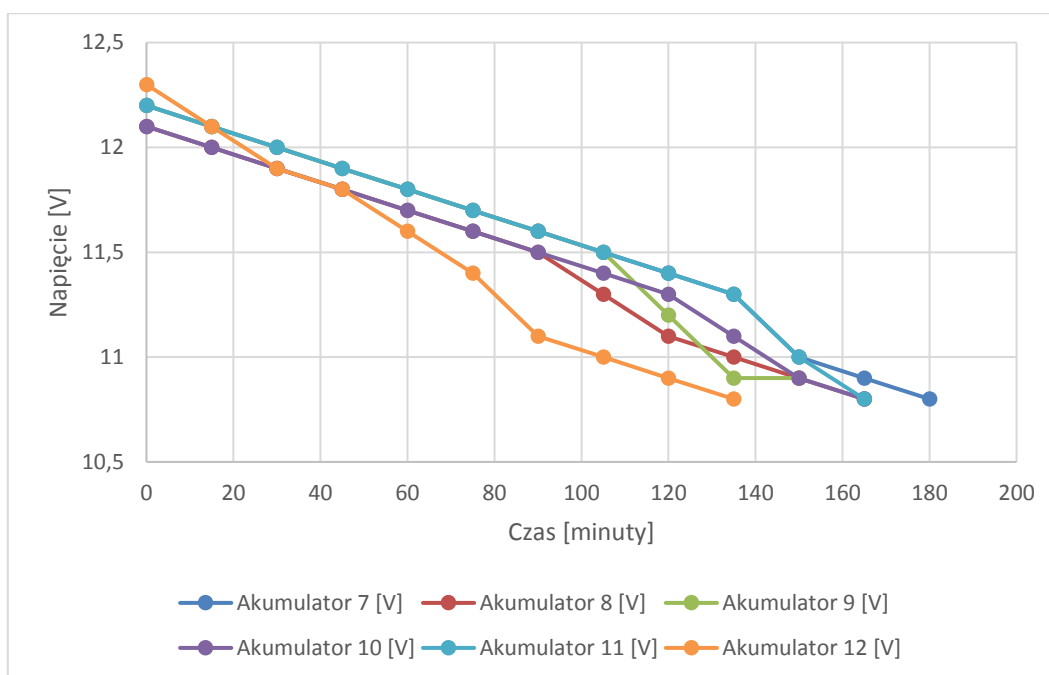
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,2	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3	0
12	12	12,1	12	12	12	15
11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	30
11,7	11,7	11,8	11,7	11,7	11,7	45
11,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	60
11,3	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	75
11,2	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	90
11,1	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	105
11	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	120
10,9	11	11	11	11	11	135
10,8	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	150
	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	165
						180



Wykres 124. Pierwszy cykl rozładowania indywidualnych akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 72. Drugi cykl rozładowania indywidualnych akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

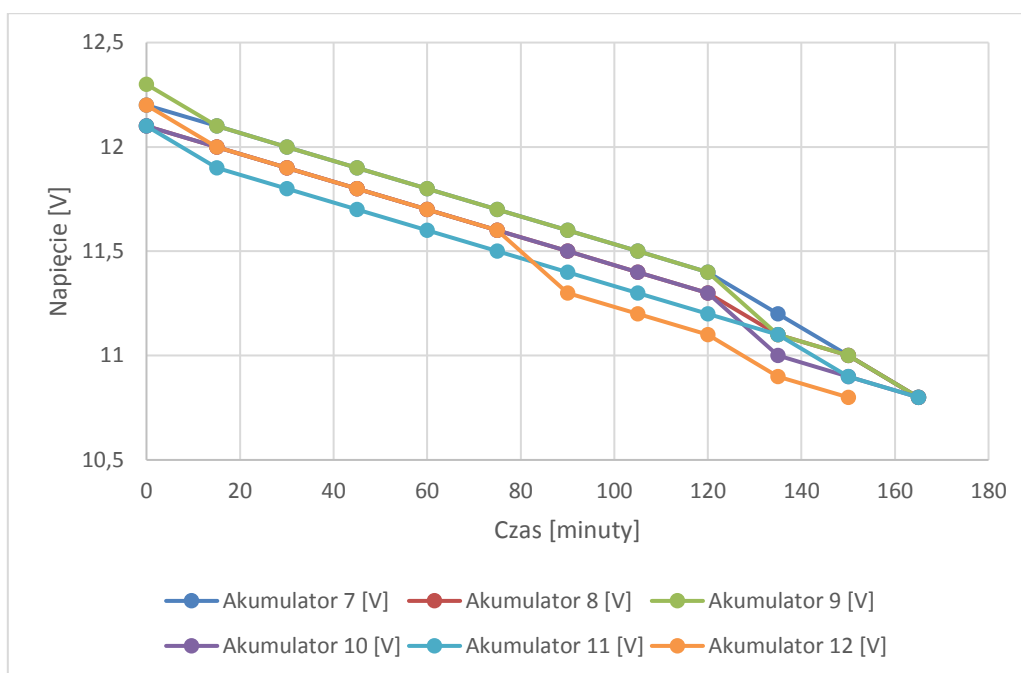
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,2	12,1	12,2	12,1	12,2	12,3	0
12,1	12	12,1	12	12,1	12,1	15
12	11,9	12	11,9	12	11,9	30
11,9	11,8	11,9	11,8	11,9	11,8	45
11,8	11,7	11,8	11,7	11,8	11,6	60
11,7	11,6	11,7	11,6	11,7	11,4	75
11,6	11,5	11,6	11,5	11,6	11,1	90
11,5	11,3	11,5	11,4	11,5	11	105
11,4	11,1	11,2	11,3	11,4	10,9	120
11,3	11	10,9	11,1	11,3	10,8	135
11	10,9	10,9	10,9	11		150
10,9	10,8		10,8	10,8		165
10,8						180



Wykres 125. Drugi cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 73. Trzeci cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

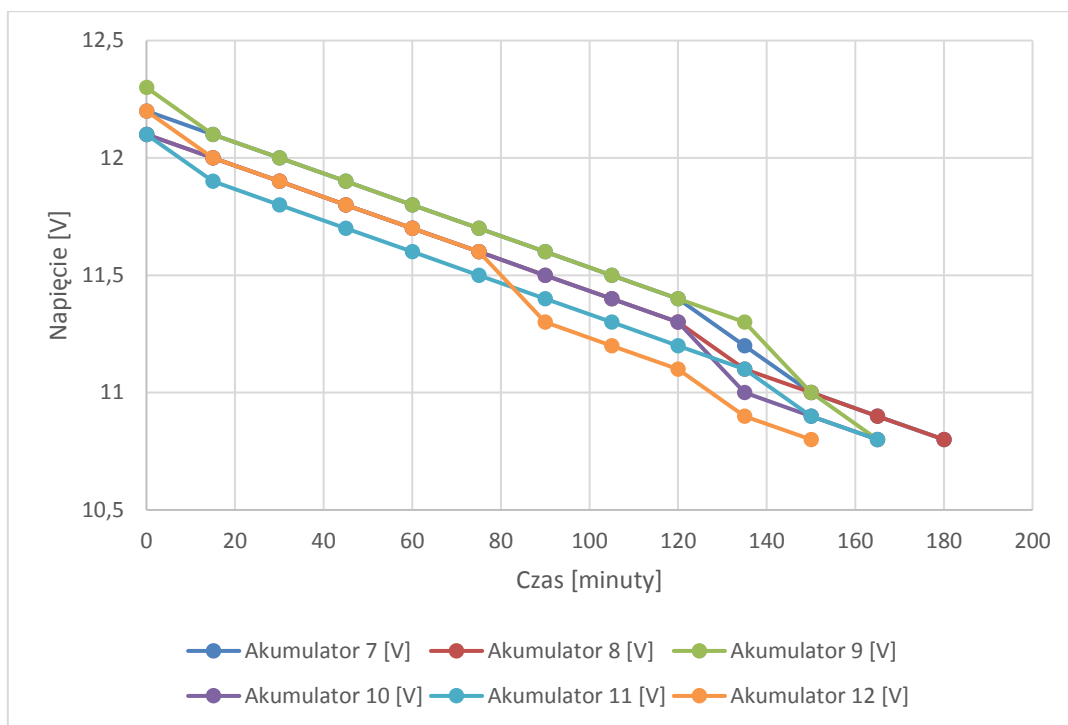
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,2	12,1	12,3	12,1	12,1	12,2	0
12,1	12,0	12,1	12,0	11,9	12,0	15
12,0	11,9	12,0	11,9	11,8	11,9	30
11,9	11,8	11,9	11,8	11,7	11,8	45
11,8	11,7	11,8	11,7	11,6	11,7	60
11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,6	75
11,6	11,5	11,6	11,5	11,4	11,3	90
11,5	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2	105
11,4	11,3	11,4	11,3	11,2	11,1	120
11,2	11,1	11,1	11,1	11,1	10,9	135
11,1	11,0	11,0	10,9	10,9	10,8	150
10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	165
						180



Wykres 126. Trzeci cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 74. Czwarty cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

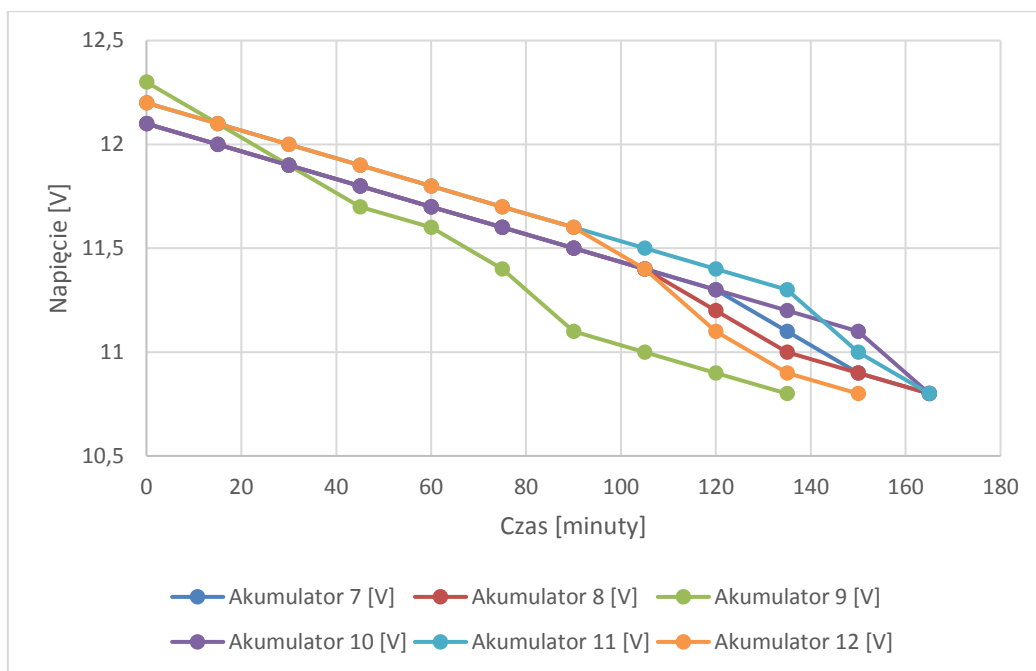
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,2	12,1	12,3	12,1	12,1	12,2	0
12,1	12	12,1	12	11,9	12	15
12	11,9	12	11,9	11,8	11,9	30
11,9	11,8	11,9	11,8	11,7	11,8	45
11,8	11,7	11,8	11,7	11,6	11,7	60
11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,6	75
11,6	11,5	11,6	11,5	11,4	11,3	90
11,5	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2	105
11,4	11,3	11,4	11,3	11,2	11,1	120
11,2	11,1	11,3	11	11,1	10,9	135
11	11	11	10,9	10,9	10,8	150
10,9	10,9	10,8	10,8	10,8		165
10,8	10,8					180



Wykres 127. Czwarty cykl rozładowania indywidualnych akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 75. Piąta seria rozładowania indywidualnych akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

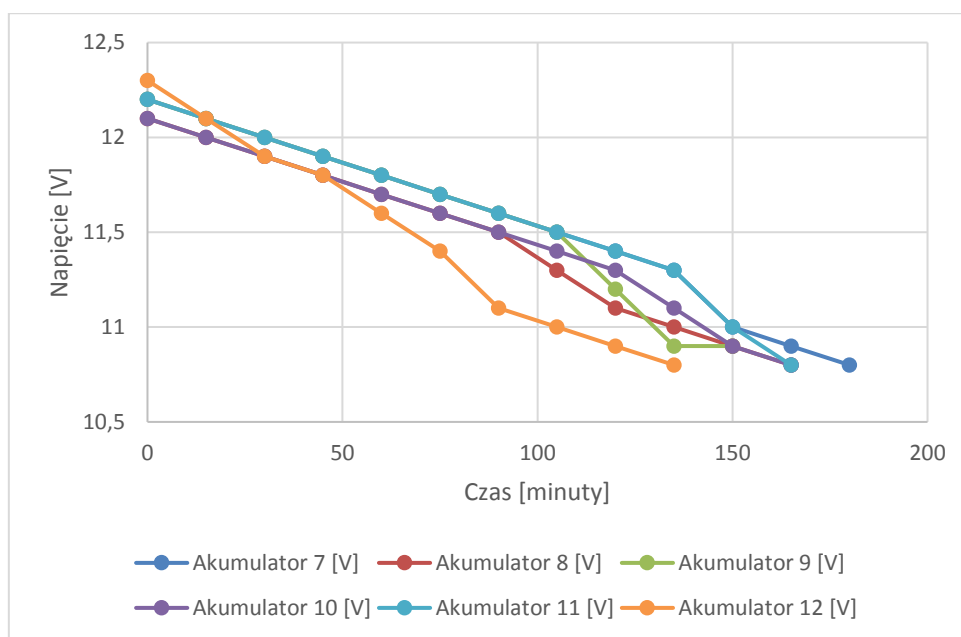
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,1	12,1	12,3	12,1	12,2	12,2	0
12	12	12,1	12	12,1	12,1	15
11,9	11,9	11,9	11,9	12	12	30
11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,9	45
11,7	11,7	11,6	11,7	11,8	11,8	60
11,6	11,6	11,4	11,6	11,7	11,7	75
11,5	11,5	11,1	11,5	11,6	11,6	90
11,4	11,4	11,0	11,4	11,5	11,4	105
11,3	11,2	10,9	11,3	11,4	11,1	120
11,1	11,0	10,8	11,2	11,3	10,9	135
10,9	10,9	10,8	11,1	11,0	10,8	150
10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	165
						180



Wykres 128. Piąta seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 76. Szósta seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

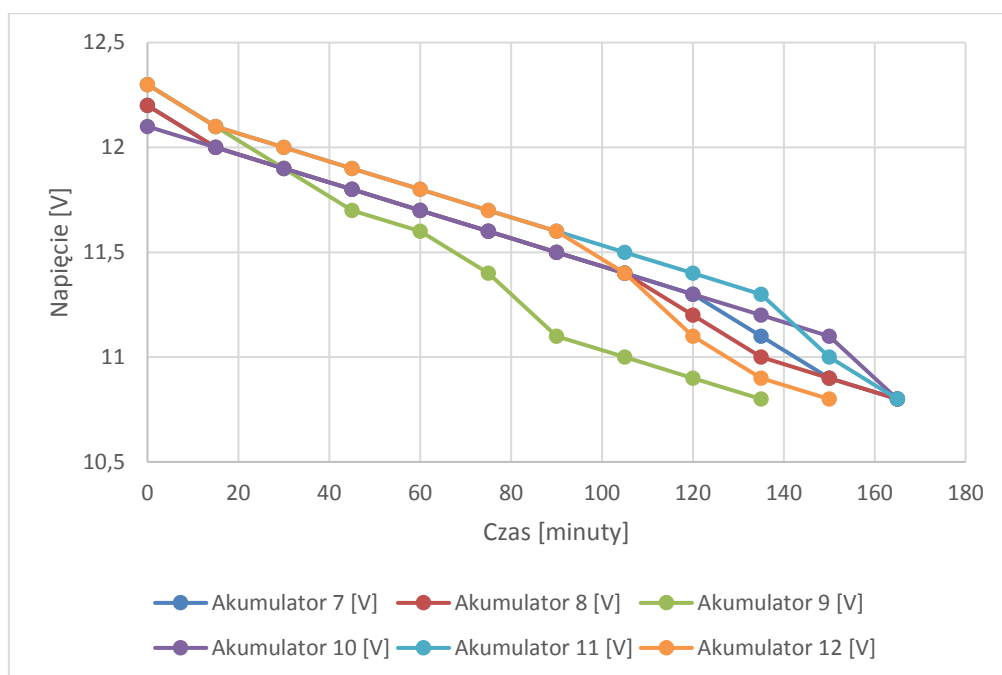
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,2	12,1	12,2	12,1	12,2	12,3	0
12,1	12	12,1	12	12,1	12,1	15
12	11,9	12	11,9	12	11,9	30
11,9	11,8	11,9	11,8	11,9	11,8	45
11,8	11,7	11,8	11,7	11,8	11,6	60
11,7	11,6	11,7	11,6	11,7	11,4	75
11,6	11,5	11,6	11,5	11,6	11,1	90
11,5	11,3	11,5	11,4	11,5	11	105
11,4	11,1	11,2	11,3	11,4	10,9	120
11,3	11	10,9	11,1	11,3	10,8	135
11	10,9	10,9	10,9	11		150
10,9	10,8		10,8	10,8		165
10,8						180



Wykres 129. Szósta seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 77. Siódma seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

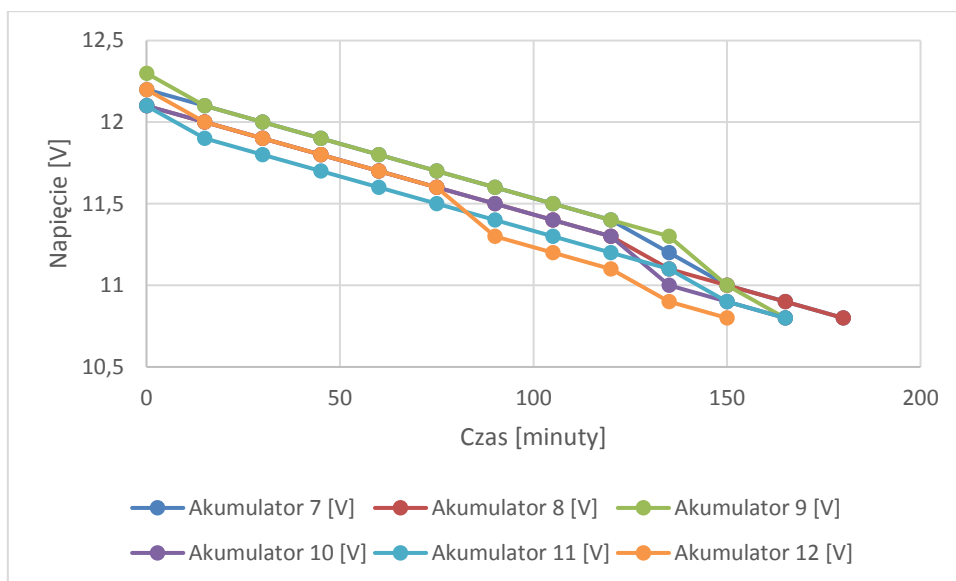
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,2	12,2	12,3	12,1	12,3	12,3	0
12	12	12,1	12	12,1	12,1	15
11,9	11,9	11,9	11,9	12	12	30
11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,9	45
11,7	11,7	11,6	11,7	11,8	11,8	60
11,6	11,6	11,4	11,6	11,7	11,7	75
11,5	11,5	11,1	11,5	11,6	11,6	90
11,4	11,4	11	11,4	11,5	11,4	105
11,3	11,2	10,9	11,3	11,4	11,1	120
11,1	11	10,8	11,2	11,3	10,9	135
10,9	10,9		11,1	11	10,8	150
10,8	10,8		10,8	10,8		165
						180



Wykres 130. Siódma seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 78. Ósmy cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

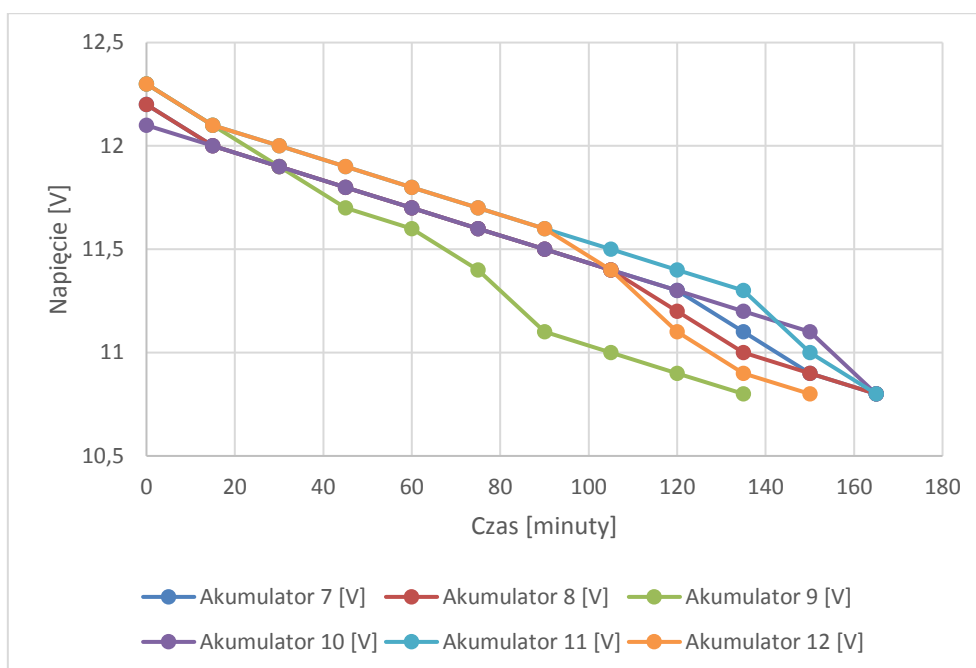
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,2	12,1	12,3	12,1	12,1	12,2	0
12,1	12,0	12,1	12,0	11,9	12,0	15
12,0	11,9	12,0	11,9	11,8	11,9	30
11,9	11,8	11,9	11,8	11,7	11,8	45
11,8	11,7	11,8	11,7	11,6	11,7	60
11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,6	75
11,6	11,5	11,6	11,5	11,4	11,3	90
11,5	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2	105
11,4	11,3	11,4	11,3	11,2	11,1	120
11,2	11,1	11,3	11,1	11,1	10,9	135
11,1	11,0	11,1	10,9	10,9	10,8	150
10,9	10,9	10,8	10,8	10,8		165
10,8	10,8					180



Wykres 131. Ósmy cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowowych z elektrolitem żelowym

Tabela 79. Dziewiąty cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowowych z elektrolitem żelowym

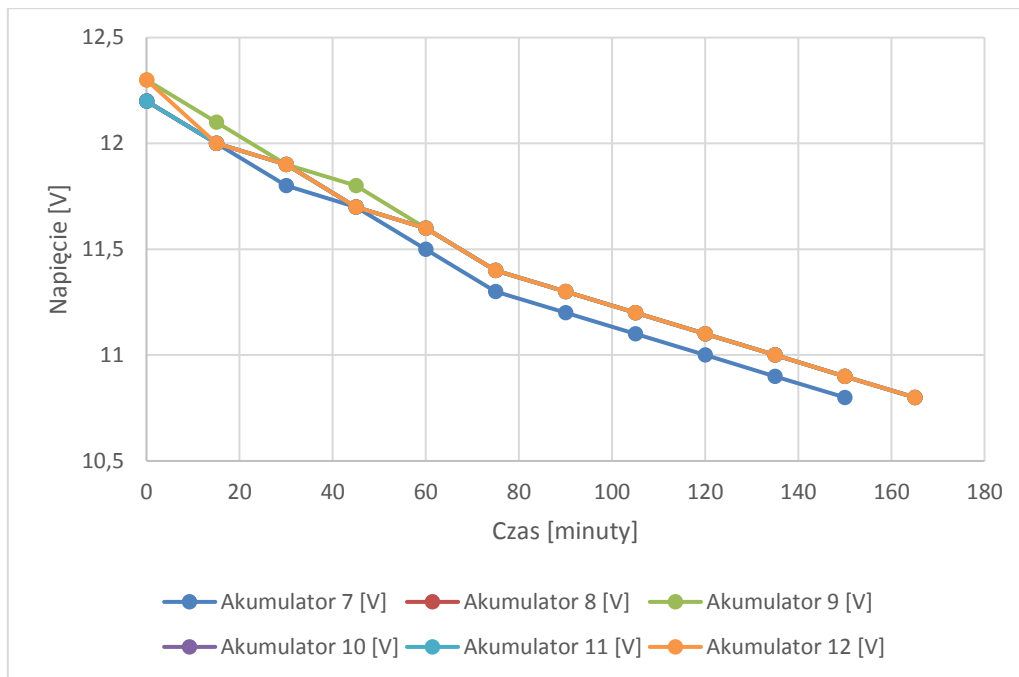
Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,2	12,2	12,3	12,1	12,3	12,3	0
12	12	12,1	12	12,1	12,1	15
11,9	11,9	11,9	11,9	12	12	30
11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,9	45
11,7	11,7	11,6	11,7	11,8	11,8	60
11,6	11,6	11,4	11,6	11,7	11,7	75
11,5	11,5	11,1	11,5	11,6	11,6	90
11,4	11,4	11	11,4	11,5	11,4	105
11,3	11,2	10,9	11,3	11,4	11,1	120
11,1	11	10,8	11,2	11,3	10,9	135
10,9	10,9		11,1	11	10,8	150
10,8	10,8		10,8	10,8		165
						180



Wykres 132. Dziewiąty cykl rozładowania indywidualnych akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 80. Dziesiąty cykl rozładowania indywidualnych akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]	Czas rozładowania [minuty]
12,2	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3	0
12	12	12,1	12	12	12	15
11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	30
11,7	11,7	11,8	11,7	11,7	11,7	45
11,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	60
11,3	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	75
11,2	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	90
11,1	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	105
11	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	120
10,9	11	11	11	11	11	135
10,8	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	150
	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	165
						180



Wykres 133. Dziesiąty cykl rozładowania indywidualnych akumulatorów ołowianych z elektrolitem żelowym

7.3 Łączenie pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

W celu ustabilizowania procesów chemicznych zachodzących w akumulatorach konieczne jest przeprowadzenie kolejnych cykli rozładowania oraz ładowania akumulatorów żelowych będących w stringu. Na tym etapie badań kluczowy jest wybór odpowiedniego typu połączeń między celami, a także zachowanie i parametry przez akumulatory pracujące w połączeniu szeregowym. Przy budowaniu układu pomiarowego należy wykonać połączenia między akumulatorami kolejno z wybranych typów połączeń, odpowiednich dla każdego rodzaju akumulatorów. Dla instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem w postaci żelu, stosowne typy połączeń pomiędzy akumulatorami to:

1. połączenie przez zacisk śrubowy,
2. połączenie sprężyste.

Wszystkie typy wykorzystanych połączeń będą uwierzytelnione stosownymi charakterystykami oraz zdjęciami. Dla lepszej oceny zostaną również dołączone zdjęcia wykonane kamerą termowizyjną, potwierdzające najbardziej optymalne połączenie akumulatorów.

7.3.1 Połączenie zaciskami śrubowymi

Prace badawcze mające na celu określenie optymalnego połączenia mechanicznego stringu akumulatorów polegały na przeprowadzeniu wielokrotnych prób i testów.

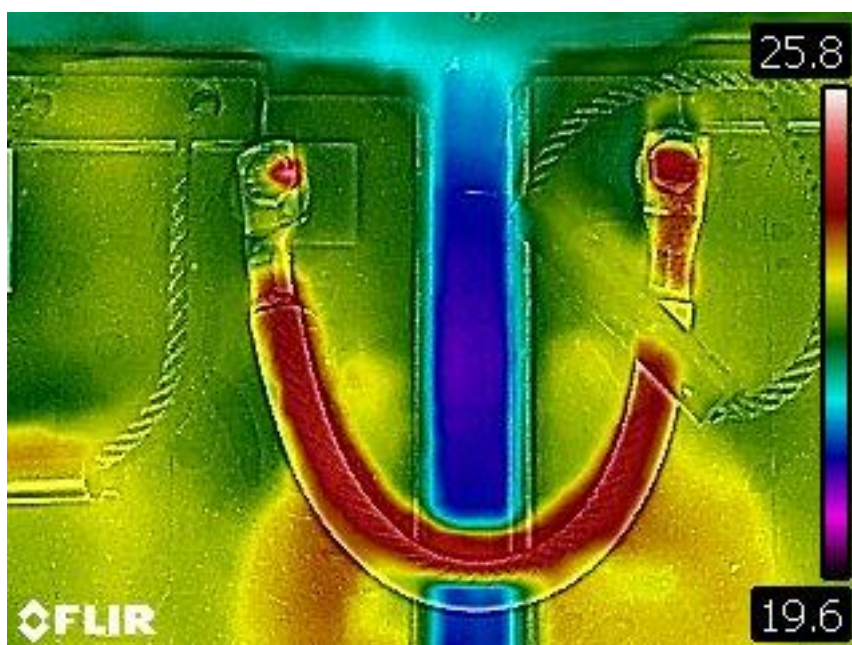
Pierwsze badanie sposobu łączenia dla pakietu akumulatorów żelowych to połączenie poprzez zaciski śrubowe (zdjęcie 22). Uzyskane w ten sposób połączenie elektryczne jest poprawne. Podczas przepływu prądu stwierdzono jedynie niewielki wzrost temperatury w okolicach konektorów, co przedstawiają zdjęcia z kamery termowizyjnej (zdjęcie 23, 24). Połączenie poprzez zaciski śrubowe zapewniają długotrwałą pracę zestawu akumulatorów w pojeździe.



Zdjęcie 22. Połączenie w string akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym poprzez zacisk śrubowy (najbardziej optymalne połączenie)



Zdjęcie 23. String akumulatorów żelowych połączony poprzez zaciski śrubowe, zdjęcie z kamery termowizyjnej



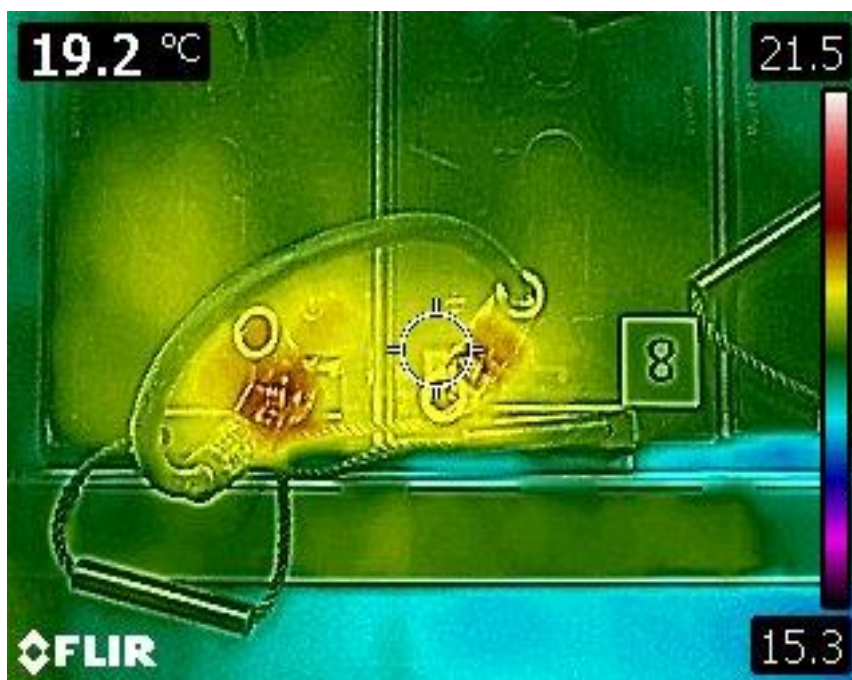
Zdjęcie 24. Akumulatory żelowe połączone poprzez zaciski śrubowe, zdjęcie z kamery termowizyjnej

7.3.2 Połączenie zaciskami sprężystymi

Drugi sposób połączenia akumulatorów ołowiowych z elektrolitem w postaci żelu w instalację laboratoryjną wykorzystuje zaciski sprężyste (zdjęcie 25). Ta metoda łączenia jest skuteczna tymczasowo. Uskuteczniiona jedynie w awaryjnych sytuacjach. Ich stosowanie w charakterze ciągłym nie jest wystarczające dla założonych efektów. Mała powierzchnia styku zacisku oraz konektora akumulatora generuje wysoką oporność oraz niską zdolność do przenoszenia dużych prądów. Tym samym powodując wzrost temperatury w miejscu styku (zdjęcie 26), dlatego ta metoda łączenia nie jest wskazana do trwałego łączenia stringu badanych akumulatorów. Kolejną cechą nie wpływającą pozytywnie na łączenie instalacji laboratoryjnej, są ich znaczne gabaryty.



Zdjęcie 25. Połączenie zaciskami sprężystym w stringi akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym



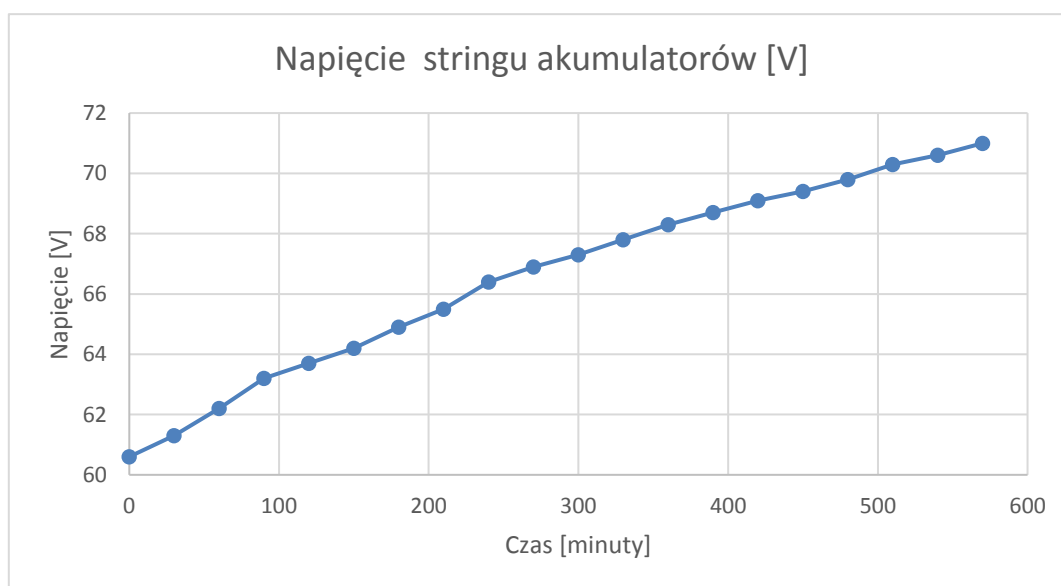
Zdjęcie 26. String akumulatorów żelowych połączony poprzez zaciski sprężyste, zdjęcie z kamery termowizyjnej

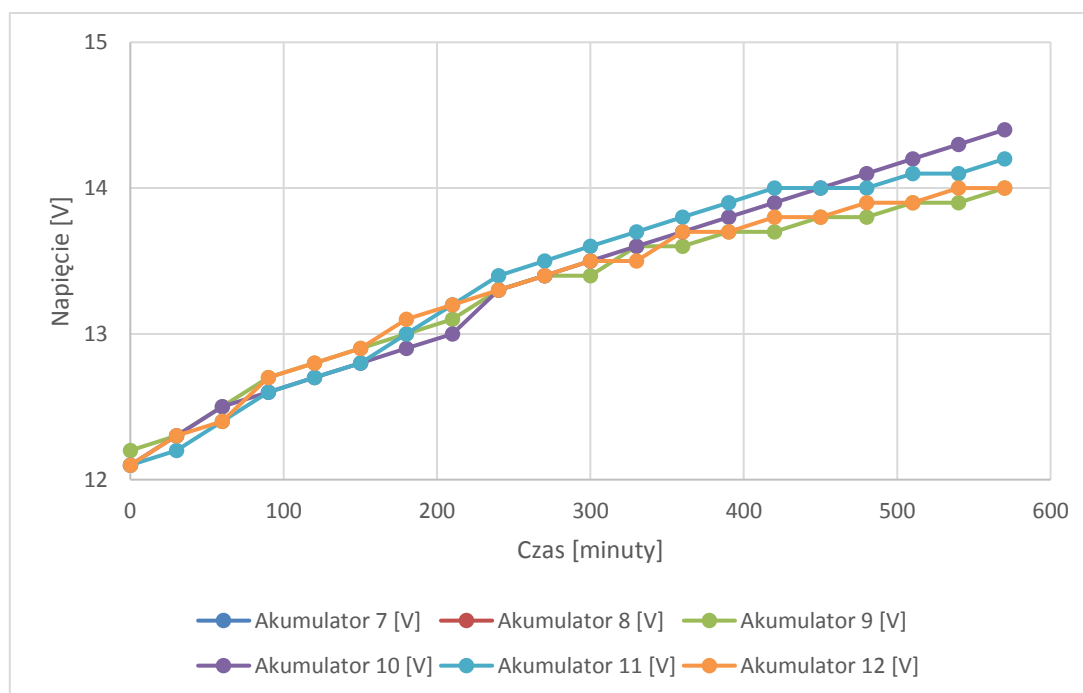
7.4 Ładowanie pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym bez użycia BMS

Kolejny cykl badań to ładowanie/rozładowanie instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym. Badanie pakietu akumulatorów żelowych rozpoczęto od połączenia szeregowego sześciu akumulatorów o napięciu nominalnym 12V oraz pojemności 110Ah w string. Dobór optymalnego połączenia został zweryfikowany spośród dostępnych sposobów połączeń tj. lutowanie zacisków, zaciski sprężyste oraz łączenie poprzez klemy. Zastosowano połączenie poprzez klemy. Następnie została podłączona ładowarka. Ładowanie odbywa się prądem stałym o wartości 11A (prąd 10-godzinny). Przeprowadzono serię dziesięciokrotnego ładowania i rozładowania sześciu akumulatorów z elektrolitem żelowym bez użycia systemu BMS. Na podstawie otrzymanych pomiarów powstały Tabele 89-90 i Wykresy 134-153. Napięcie znamionowe zestawu zasilającego, który jest w pełni doładowany wynosi $14,4V \cdot 6$, czyli 86,4V. Natomiast znamionowe napięcie rozładowania dla całego pakietu wynosi $10,8V \cdot 6$, czyli 64,8V. Pojemność tego zestawu akumulatorów określona jest na poziomie 110Ah. Każda seria ładowania kończyła się osiągnięciem maksymalnego napięcia ładowania – 14,4V, przez jakikolwiek akumulator znajdujący się w stringu. Wówczas ładowanie zostało zatrzymane ze względu na ryzyko przeładowania. W wyniku badania można zaobserwować, że ogólny stan poszczególnych akumulatorów jest podobny. Można wyróżnić akumulatory, które mają najmniejszy spadek pojemności, ładują się w najdłuższym czasie, - tabela 83, akumulator 7 i 8. Natomiast akumulatory o najmniejszej pojemności ładują się najszybciej - akumulator 12 i 9. Osiągnięcie optymalnych parametrów dla każdego akumulatora wiązałoby się z zastosowaniem systemu BMS do łączenia pakietu akumulatorów.

Tabela 81. Pierwsza seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	60,6	11	86,4	12,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
30	61,3	11	86,4	12,3	12,3	12,2	12,3	12,2	12,2
60	62,2	11	86,4	12,5	12,4	12,4	12,5	12,4	12,4
90	63,2	11	86,4	12,7	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6
120	63,7	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	64,2	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	64,9	11	86,4	13	13,1	12,9	12,9	13	12,9
210	65,5	11	86,4	13,1	13,2	13	13	13,2	13
240	66,4	11	86,4	13,3	13,3	13,1	13,3	13,4	13,2
270	66,9	11	86,4	13,4	13,4	13,2	13,4	13,5	13,3
300	67,3	11	86,4	13,4	13,5	13,3	13,5	13,6	13,4
330	67,8	11	86,4	13,6	13,5	13,4	13,6	13,7	13,5
360	68,3	11	86,4	13,6	13,7	13,5	13,7	13,8	13,6
390	68,7	11	86,4	13,7	13,7	13,6	13,8	13,9	13,7
420	69,1	11	86,4	13,7	13,8	13,7	13,9	14	13,8
450	69,4	11	86,4	13,8	13,8	13,8	14	14	13,9
480	69,8	11	86,4	13,8	13,9	14	14,1	14	14
510	70,3	11	86,4	13,9	13,9	14,2	14,2	14,1	14,1
540	70,6	11	86,4	13,9	14	14,3	14,3	14,1	14,2
570	71	11	86,4	14	14	14,4	14,4	14,2	14,3


Wykres 134. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS

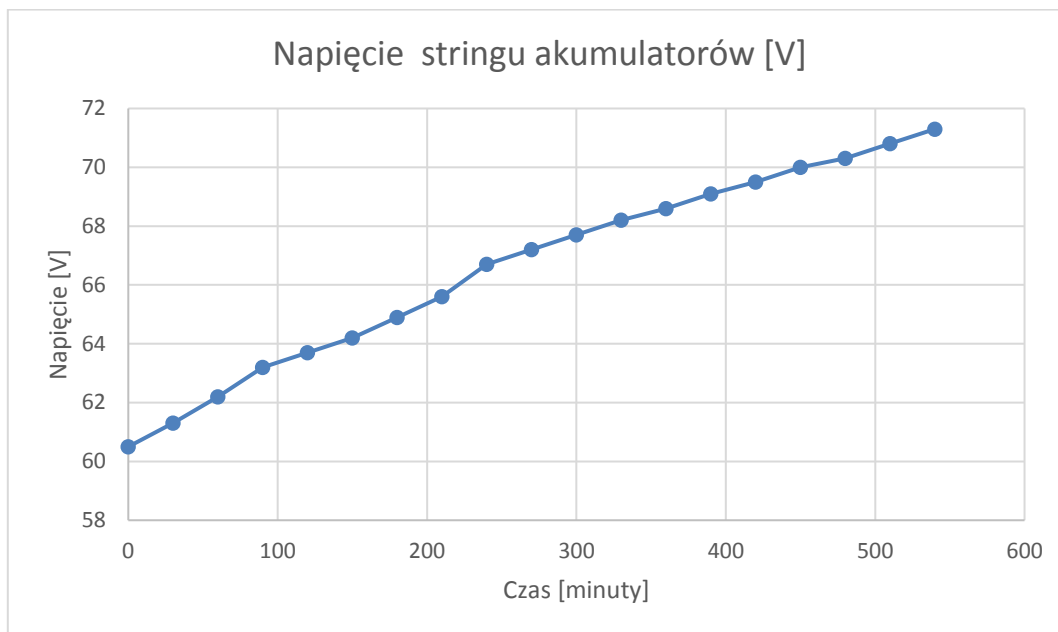


Wykres 135. Pierwsza seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

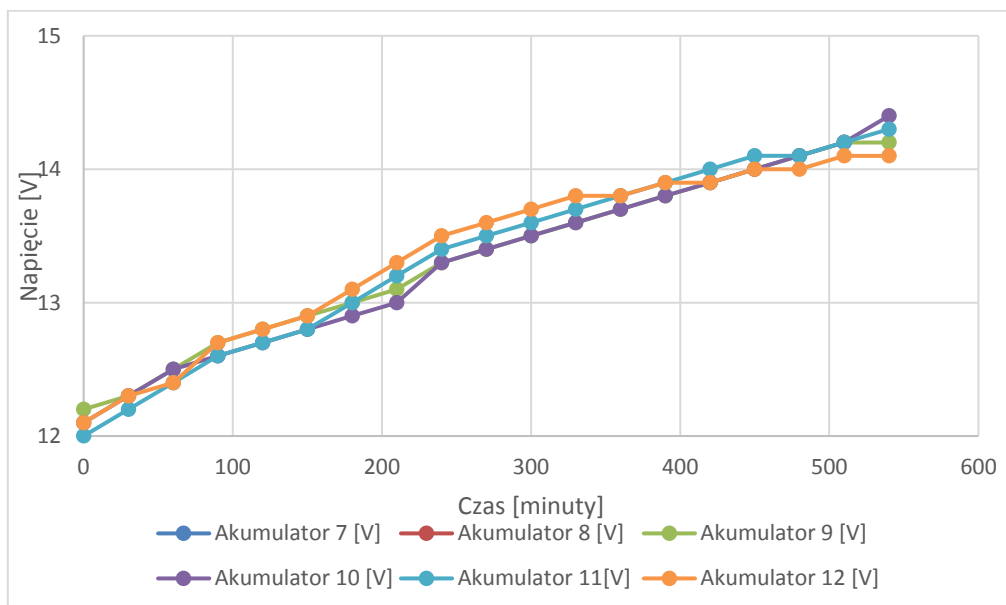
Tabela 82. Druga seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11[V]	Akumulator 12 [V]
0	60,5	11	86,4	12,1	12,2	12,1	12,1	12	12,2
30	61,3	11	86,4	12,3	12,3	12,2	12,3	12,2	12,3
60	62,2	11	86,4	12,4	12,5	12,4	12,5	12,4	12,5
90	63,2	11	86,4	12,7	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6
120	63,7	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	64,2	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	64,9	11	86,4	13,1	13,0	12,9	12,9	13,0	12,9
210	65,6	11	86,4	13,3	13,1	13,0	13,0	13,2	13,0
240	66,7	11	86,4	13,5	13,3	13,2	13,3	13,4	13,1
270	67,2	11	86,4	13,6	13,4	13,3	13,4	13,5	13,2
300	67,7	11	86,4	13,7	13,5	13,4	13,5	13,6	13,3
330	68,2	11	86,4	13,8	13,6	13,5	13,6	13,7	13,4
360	68,6	11	86,4	13,8	13,7	13,6	13,7	13,8	13,5
390	69,1	11	86,4	13,9	13,8	13,7	13,8	13,9	13,6

420	69,5	11	86,4	13,9	13,9	13,8	13,9	14	13,8
450	70	11	86,4	14	14	13,9	14	14,1	13,9
480	70,3	11	86,4	14	14,1	14	14,1	14,1	14,1
510	70,8	11	86,4	14,1	14,2	14,1	14,2	14,2	14,2
540	71,3	11	86,4	14,1	14,2	14,3	14,4	14,3	14,4



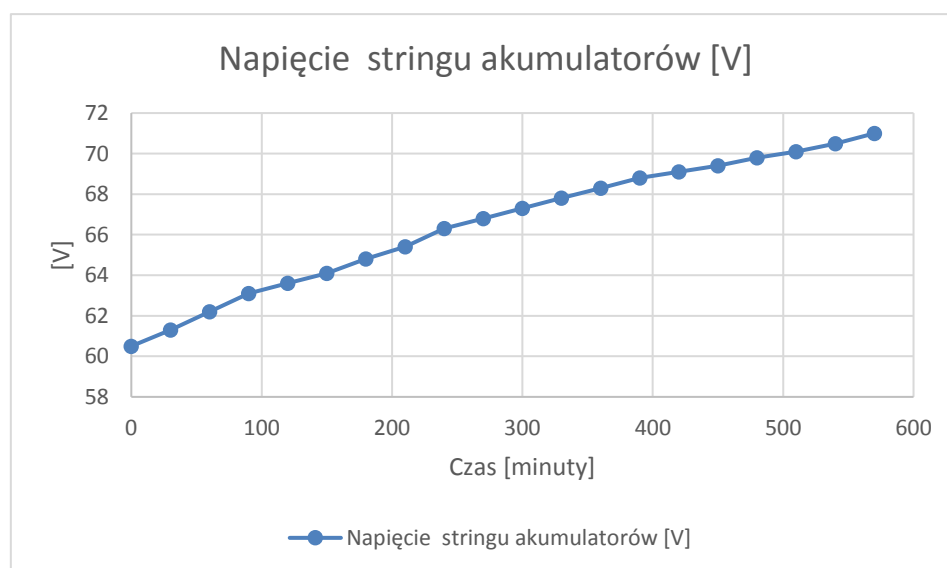
Wykres 136. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS

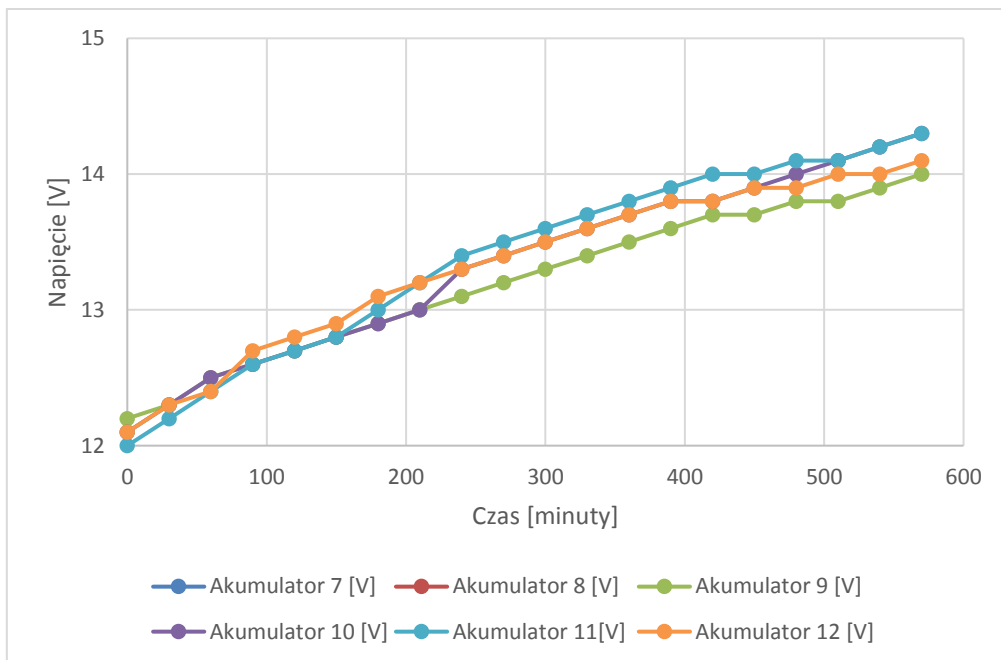


Wykres 137. Druga seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Tabela 83. Trzeci cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	60,5	11	86,4	12,2	12,1	12,1	12,1	12	12,2
30	61,3	11	86,4	12,3	12,3	12,2	12,3	12,2	12,3
60	62,2	11	86,4	12,5	12,4	12,4	12,5	12,4	12,5
90	63,1	11	86,4	12,6	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6
120	63,6	11	86,4	12,7	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	64,1	11	86,4	12,8	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	64,8	11	86,4	12,9	13,1	12,9	12,9	13	12,9
210	65,4	11	86,4	13	13,2	13	13	13,2	13
240	66,3	11	86,4	13,1	13,3	13,2	13,3	13,4	13,1
270	66,8	11	86,4	13,2	13,4	13,3	13,4	13,5	13,2
300	67,3	11	86,4	13,3	13,5	13,4	13,5	13,6	13,3
330	67,8	11	86,4	13,4	13,6	13,5	13,6	13,7	13,4
360	68,3	11	86,4	13,5	13,7	13,6	13,7	13,8	13,5
390	68,8	11	86,4	13,6	13,8	13,7	13,8	13,9	13,6
420	69,1	11	86,4	13,7	13,8	13,8	13,8	14	13,8
450	69,4	11	86,4	13,7	13,9	13,9	13,9	14	13,9
480	69,8	11	86,4	13,8	13,9	14	14	14,1	14,1
510	70,1	11	86,4	13,8	14	14,1	14,1	14,1	14,2
540	70,5	11	86,4	13,9	14	14,2	14,2	14,2	14,3
570	71	11	86,4	14	14,1	14,3	14,3	14,3	14,4


Wykres 138. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS

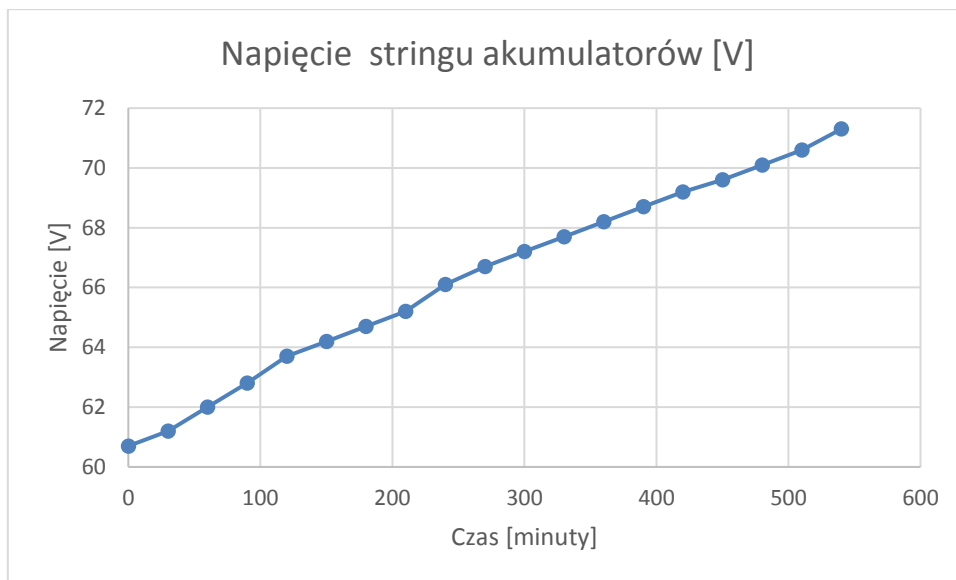


Wykres 139. Trzeci cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

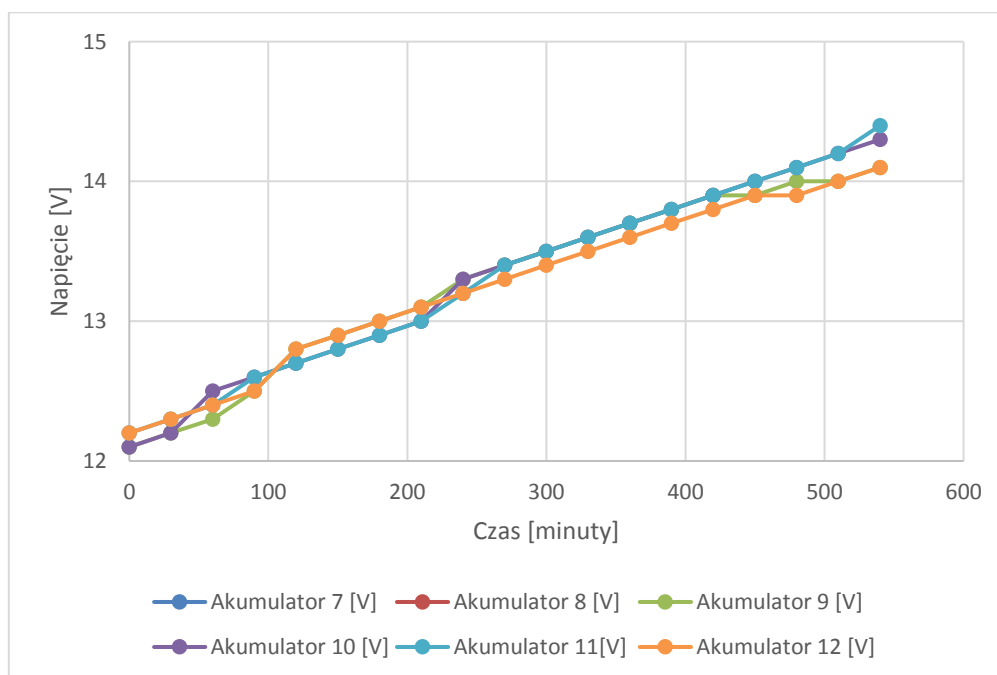
Tabela 84. Czwarty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11[V]	Akumulator 12 [V]
0	60,7	11	86,4	12,1	12,2	12,1	12,1	12,2	12,1
30	61,2	11	86,4	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3	12,2
60	62	11	86,4	12,3	12,4	12,4	12,5	12,4	12,4
90	62,8	11	86,4	12,5	12,5	12,6	12,6	12,6	12,6
120	63,7	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	64,2	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	64,7	11	86,4	13	13	12,9	12,9	12,9	12,9
210	65,2	11	86,4	13,1	13,1	13	13	13	13
240	66,1	11	86,4	13,3	13,2	13,1	13,3	13,2	13,2
270	66,7	11	86,4	13,4	13,3	13,2	13,4	13,4	13,3
300	67,2	11	86,4	13,5	13,4	13,3	13,5	13,5	13,4
330	67,7	11	86,4	13,6	13,5	13,4	13,6	13,6	13,5
360	68,2	11	86,4	13,7	13,6	13,5	13,7	13,7	13,6
390	68,7	11	86,4	13,8	13,7	13,6	13,8	13,8	13,7
420	69,2	11	86,4	13,9	13,8	13,7	13,9	13,9	13,8

450	69,6	11	86,4	13,9	13,9	13,8	14	14	14
480	70,1	11	86,4	14	13,9	14	14,1	14,1	14,1
510	70,6	11	86,4	14	14	14,2	14,2	14,2	14,2
540	71,3	11	86,4	14,1	14,1	14,4	14,3	14,4	14,4



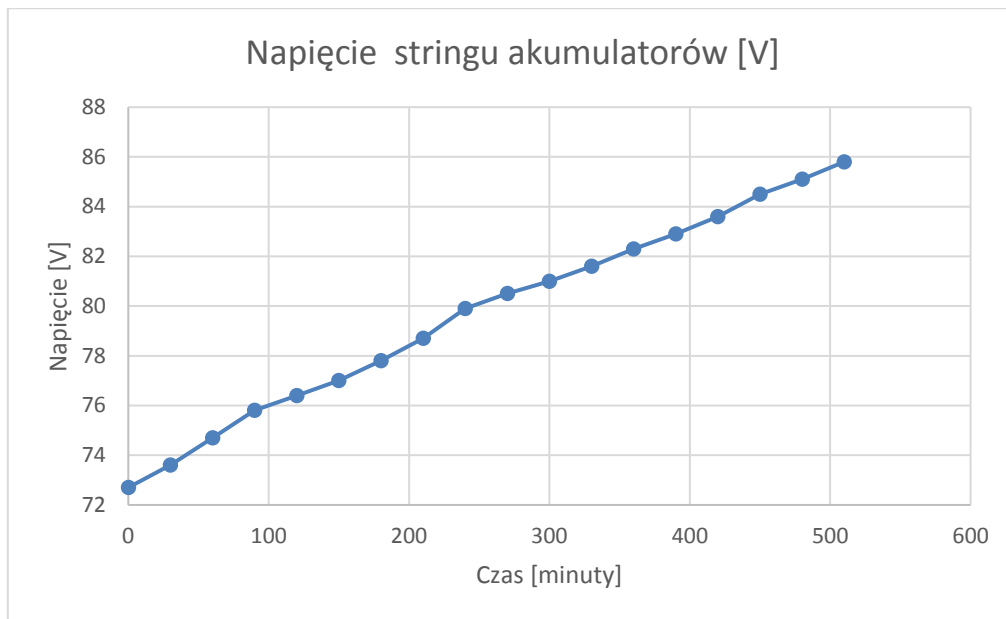
Wykres 140. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS



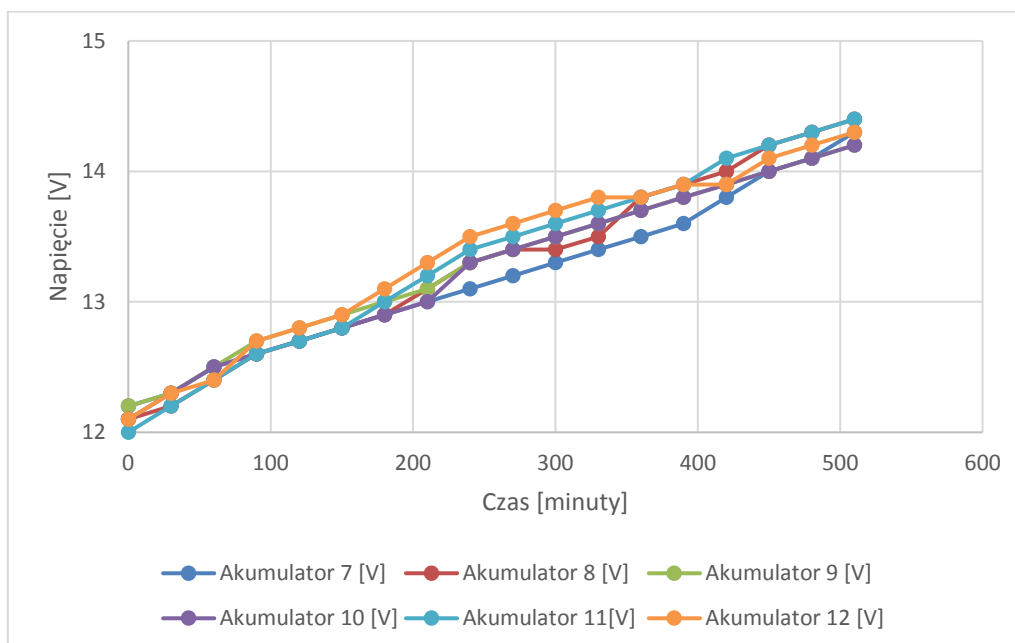
Wykres 141. Czwarty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Tabela 85. Piąty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,7	11	86,4	12,2	12,1	12,2	12,1	12	12,1
30	73,6	11	86,4	12,3	12,2	12,3	12,3	12,2	12,3
60	74,7	11	86,4	12,5	12,4	12,5	12,5	12,4	12,4
90	75,8	11	86,4	12,6	12,6	12,7	12,6	12,6	12,7
120	76,4	11	86,4	12,7	12,7	12,8	12,7	12,7	12,8
150	77	11	86,4	12,8	12,8	12,9	12,8	12,8	12,9
180	77,8	11	86,4	12,9	12,9	13	12,9	13	13,1
210	78,7	11	86,4	13	13,1	13,1	13	13,2	13,3
240	79,9	11	86,4	13,1	13,3	13,3	13,3	13,4	13,5
270	80,5	11	86,4	13,2	13,4	13,4	13,4	13,5	13,6
300	81	11	86,4	13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7
330	81,6	11	86,4	13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8
360	82,3	11	86,4	13,5	13,8	13,7	13,7	13,8	13,8
390	82,9	11	86,4	13,6	13,9	13,8	13,8	13,9	13,9
420	83,6	11	86,4	13,8	14	13,9	13,9	14,1	13,9
450	84,5	11	86,4	14	14,2	14	14	14,2	14,1
480	85,1	11	86,4	14,1	14,3	14,1	14,1	14,3	14,2
510	85,8	11	86,4	14,3	14,4	14,2	14,2	14,4	14,3



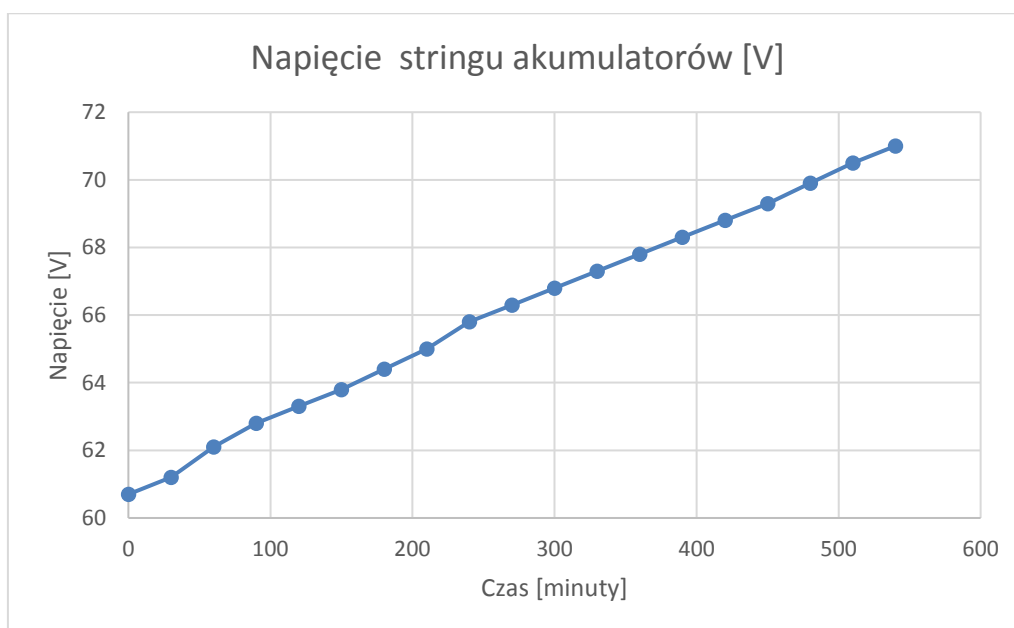
Wykres 142. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS

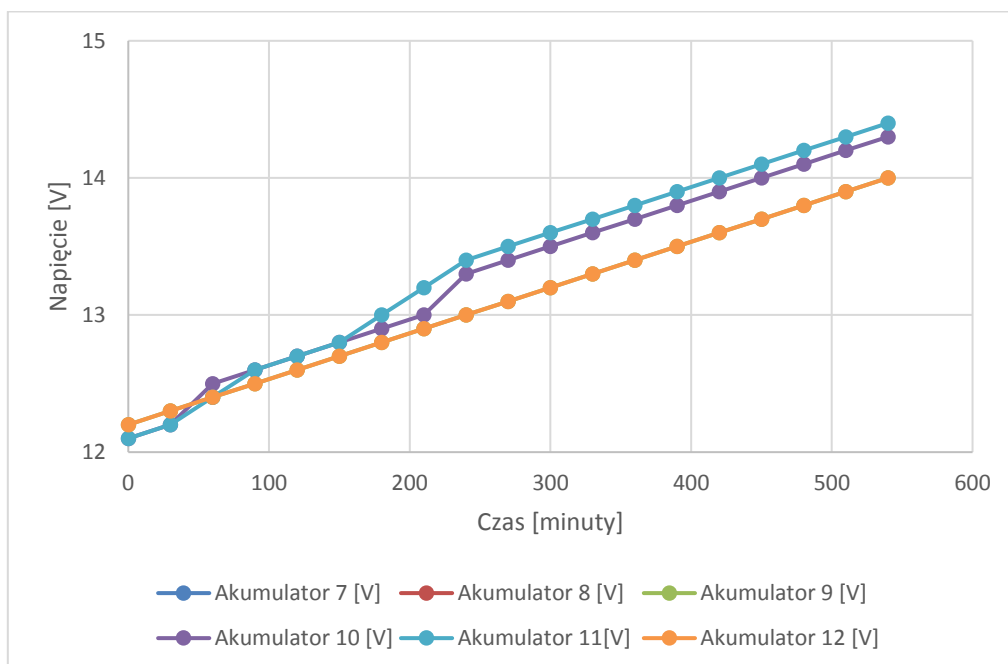


Wykres 143. Piąty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Tabela 86. Szósta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	60,7	11	86,4	12,2	12,2	12,1	12,1	12,1	12,1
30	61,2	11	86,4	12,3	12,3	12,2	12,2	12,2	12,2
60	62,1	11	86,4	12,4	12,4	12,4	12,5	12,4	12,4
90	62,8	11	86,4	12,5	12,5	12,6	12,6	12,6	12,6
120	63,3	11	86,4	12,6	12,6	12,7	12,7	12,7	12,7
150	63,8	11	86,4	12,7	12,7	12,8	12,8	12,8	12,8
180	64,4	11	86,4	12,8	12,8	12,9	12,9	13	12,9
210	65	11	86,4	12,9	12,9	13	13	13,2	13
240	65,8	11	86,4	13	13	13,1	13,3	13,4	13,2
270	66,3	11	86,4	13,1	13,1	13,2	13,4	13,5	13,3
300	66,8	11	86,4	13,2	13,2	13,3	13,5	13,6	13,4
330	67,3	11	86,4	13,3	13,3	13,4	13,6	13,7	13,5
360	67,8	11	86,4	13,4	13,4	13,5	13,7	13,8	13,6
390	68,3	11	86,4	13,5	13,5	13,6	13,8	13,9	13,7
420	68,8	11	86,4	13,6	13,6	13,7	13,9	14	13,8
450	69,3	11	86,4	13,7	13,7	13,8	14	14,1	14
480	69,9	11	86,4	13,8	13,8	14	14,1	14,2	14,1
510	70,5	11	86,4	13,9	13,9	14,2	14,2	14,3	14,2
540	71	11	86,4	14	14	14,3	14,3	14,4	14,3


Wykres 144. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS

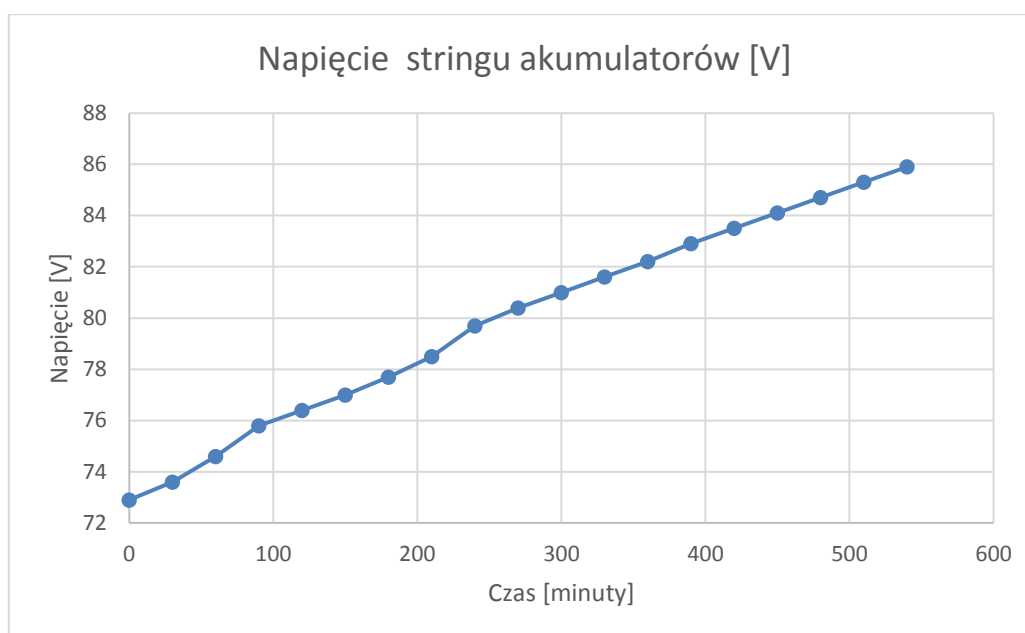


Wykres 145. Szósta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

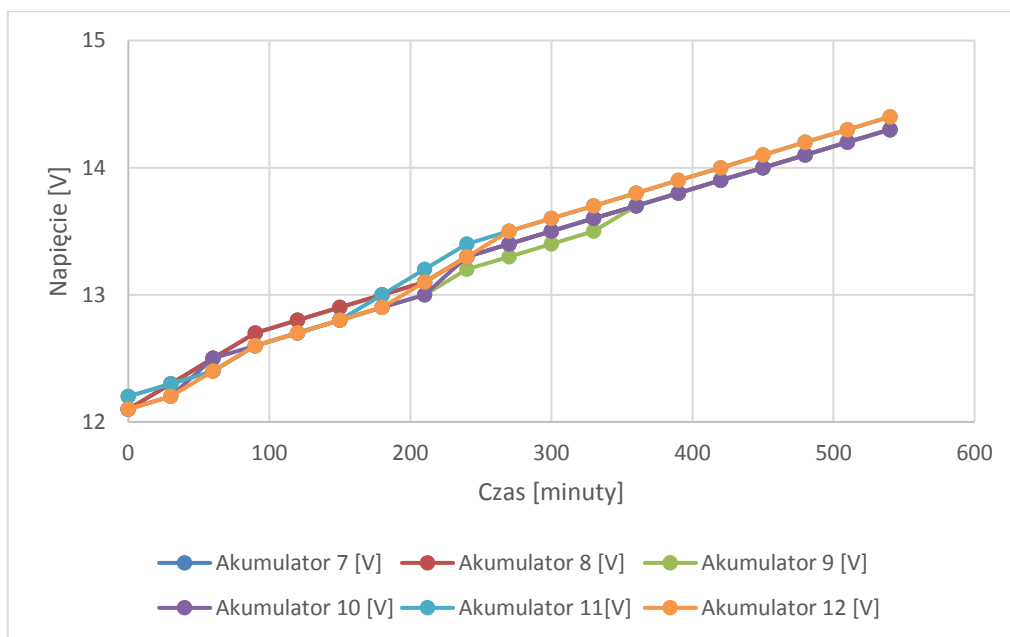
Tabela 87. Siódma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [A]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11[V]	Akumulator 12 [V]
0	72,9	11	86,4	12,1	12,2	12,2	12,1	12,2	12,1
30	73,6	11	86,4	12,3	12,3	12,3	12,2	12,3	12,2
60	74,6	11	86,4	12,5	12,4	12,4	12,5	12,4	12,4
90	75,8	11	86,4	12,7	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6
120	76,4	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	77	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	77,7	11	86,4	13	13	12,9	12,9	13	12,9
210	78,5	11	86,4	13,1	13,1	13	13	13,2	13,1
240	79,7	11	86,4	13,3	13,2	13,2	13,3	13,4	13,3
270	80,4	11	86,4	13,4	13,3	13,3	13,4	13,5	13,5

300	81	11	86,4	13,5	13,4	13,4	13,5	13,6	13,6
330	81,6	11	86,4	13,6	13,5	13,5	13,6	13,7	13,7
360	82,2	11	86,4	13,7	13,5	13,7	13,7	13,8	13,8
390	82,9	11	86,4	13,8	13,7	13,8	13,8	13,9	13,9
420	83,5	11	86,4	13,9	13,8	13,9	13,9	14	14
450	84,1	11	86,4	14	13,9	14	14	14,1	14,1
480	84,7	11	86,4	14,1	14	14,1	14,1	14,2	14,2
510	85,3	11	86,4	14,2	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3
540	85,9	11	86,4	14,3	14,2	14,3	14,3	14,4	14,4



Wykres 146. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS

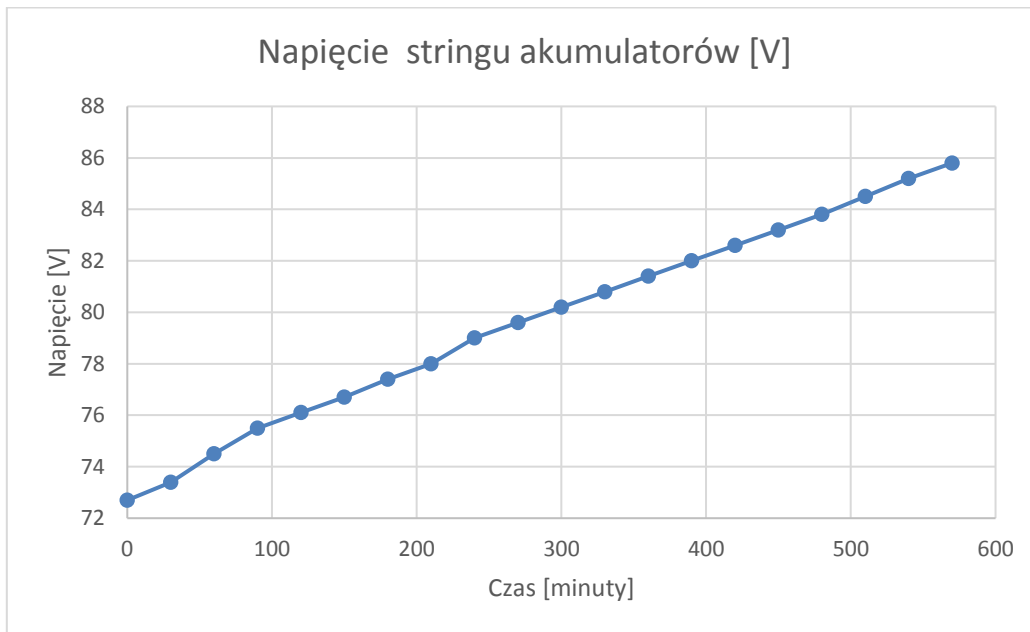


Wykres 147. Siódma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

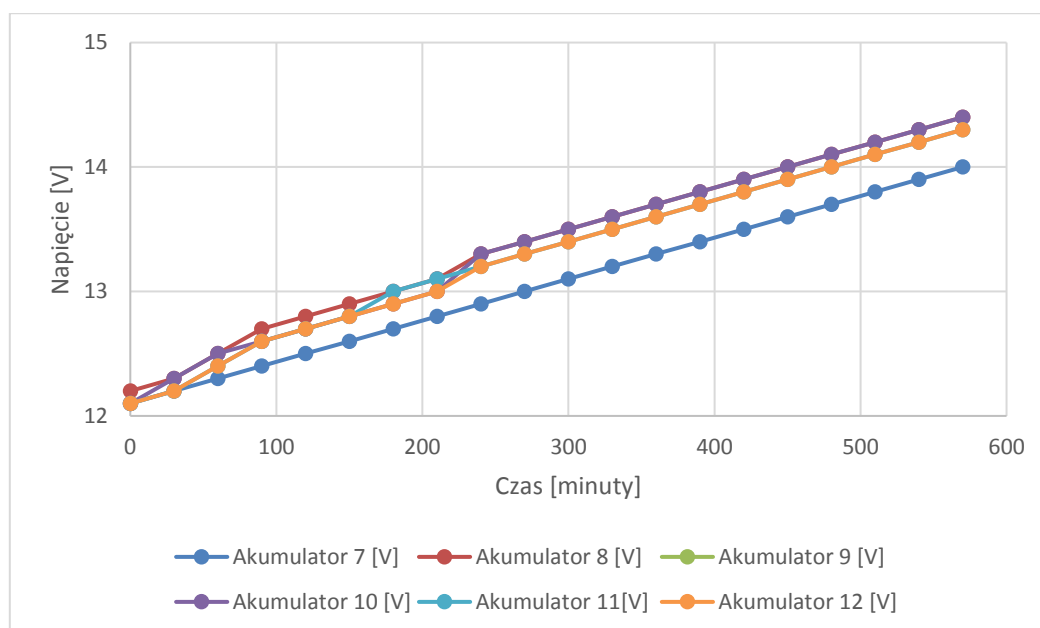
Tabela 88. Ósma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11[V]	Akumulator 12 [V]
0	72,7	11	86,4	12,1	12,2	12,1	12,1	12,1	12,1
30	73,4	11	86,4	12,2	12,3	12,2	12,3	12,2	12,2
60	74,5	11	86,4	12,3	12,5	12,4	12,5	12,4	12,4
90	75,5	11	86,4	12,4	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6
120	76,1	11	86,4	12,5	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	76,7	11	86,4	12,6	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	77,4	11	86,4	12,7	13,0	12,9	12,9	13,0	12,9
210	78	11	86,4	12,8	13,1	13,0	13,0	13,1	13,0
240	79	11	86,4	12,9	13,2	13,1	13,1	13,2	13,1
270	79,6	11	86,4	13,0	13,3	13,2	13,2	13,3	13,2
300	80,2	11	86,4	13,1	13,4	13,3	13,3	13,4	13,3
330	80,8	11	86,4	13,2	13,5	13,4	13,4	13,5	13,4
360	81,4	11	86,4	13,3	13,6	13,5	13,5	13,6	13,5

390	82	11	86,4	13,4	13,8	13,6	13,8	13,7	13,7
420	82,6	11	86,4	13,5	13,9	13,7	13,9	13,8	13,8
450	83,2	11	86,4	13,6	14	13,8	14	13,9	13,9
480	83,8	11	86,4	13,7	14,1	13,9	14,1	14	14
510	84,5	11	86,4	13,8	14,2	14,1	14,2	14,1	14,1
540	85,2	11	86,4	13,9	14,3	14,3	14,3	14,2	14,2
570	85,8	11	86,4	14	14,4	14,4	14,4	14,3	14,3



Wykres 148. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS

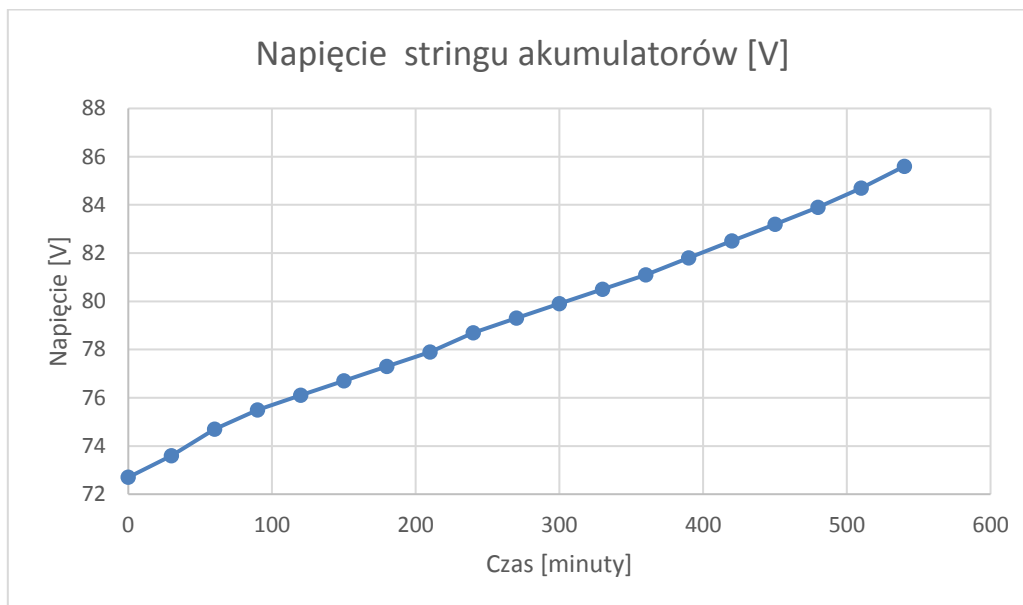


Wykres 149. Ósma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

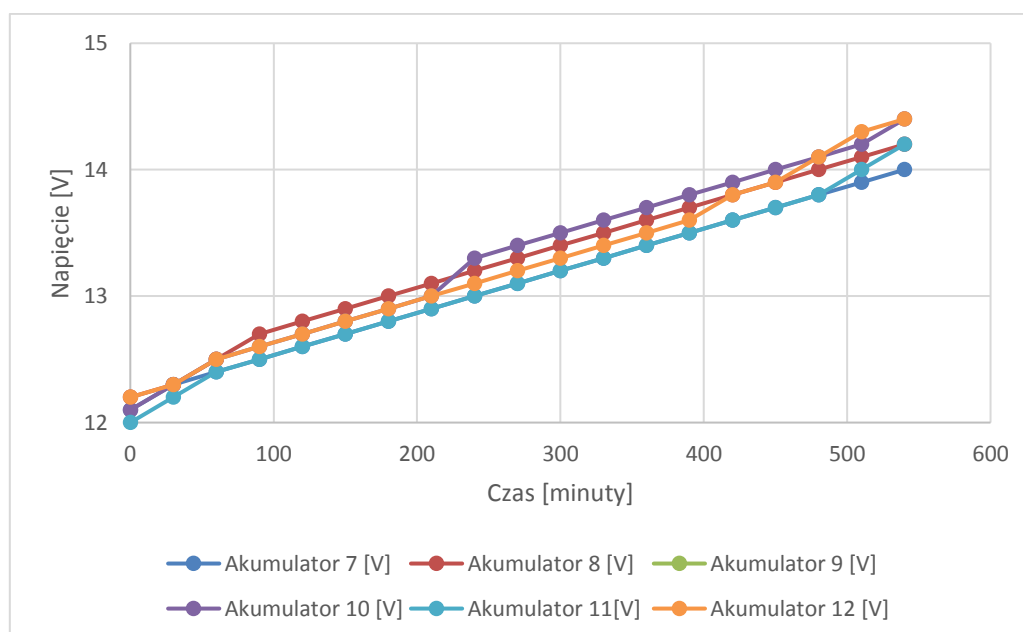
Tabela 89. Dziewiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,7	11	86,4	12,1	12,2	12,1	12,1	12	12,2
30	73,6	11	86,4	12,3	12,3	12,2	12,3	12,2	12,3
60	74,7	11	86,4	12,4	12,5	12,4	12,5	12,4	12,5
90	75,5	11	86,4	12,5	12,7	12,6	12,6	12,5	12,6
120	76,1	11	86,4	12,6	12,8	12,7	12,7	12,6	12,7
150	76,7	11	86,4	12,7	12,9	12,8	12,8	12,7	12,8
180	77,3	11	86,4	12,8	13,0	12,9	12,9	12,8	12,9
210	77,9	11	86,4	12,9	13,1	13,0	13,0	12,9	13,0
240	78,7	11	86,4	13,0	13,2	13,1	13,1	13,0	13,1
270	79,3	11	86,4	13,1	13,3	13,2	13,2	13,1	13,2
300	79,9	11	86,4	13,2	13,4	13,3	13,3	13,2	13,3
330	80,5	11	86,4	13,3	13,5	13,4	13,4	13,3	13,4

360	81,1	11	86,4	13,4	13,6	13,5	13,7	13,4	13,5
390	81,8	11	86,4	13,5	13,7	13,7	13,8	13,5	13,6
420	82,5	11	86,4	13,6	13,8	13,8	13,9	13,6	13,8
450	83,2	11	86,4	13,7	13,9	14	14	13,7	13,9
480	83,9	11	86,4	13,8	14	14,1	14,1	13,8	14,1
510	84,7	11	86,4	13,9	14,1	14,2	14,2	14	14,3
540	85,6	11	86,4	14	14,2	14,4	14,4	14,2	14,4



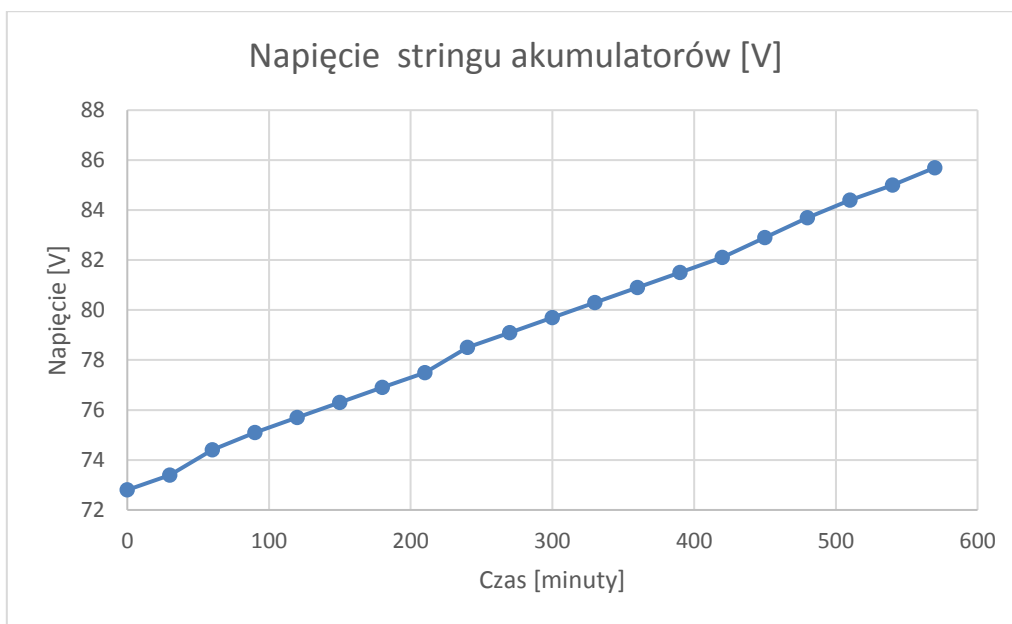
Wykres 150. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS



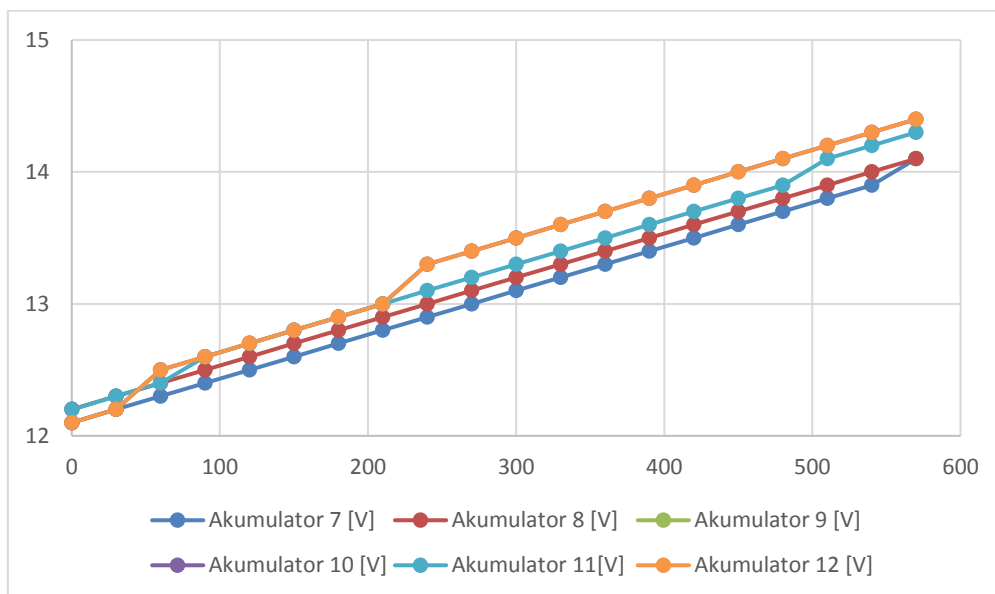
Wykres 151. Dziewięć seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Tabela 90. Dziesiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maks. napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,8	11	86,4	12,1	12,2	12,1	12,1	12,2	12,1
30	73,4	11	86,4	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3	12,2
60	74,4	11	86,4	12,3	12,4	12,3	12,5	12,4	12,5
90	75,1	11	86,4	12,4	12,5	12,4	12,6	12,6	12,6
120	75,7	11	86,4	12,5	12,6	12,5	12,7	12,7	12,7
150	76,3	11	86,4	12,6	12,7	12,6	12,8	12,8	12,8
180	76,9	11	86,4	12,7	12,8	12,7	12,9	12,9	12,9
210	77,5	11	86,4	12,8	12,9	12,8	13	13	13
240	78,5	11	86,4	12,9	13	12,9	13,3	13,1	13,3
270	79,1	11	86,4	13	13,1	13	13,4	13,2	13,4
300	79,7	11	86,4	13,1	13,2	13,1	13,5	13,3	13,5
330	80,3	11	86,4	13,2	13,3	13,2	13,6	13,4	13,6
360	80,9	11	86,4	13,3	13,4	13,3	13,7	13,5	13,7
390	81,5	11	86,4	13,4	13,5	13,4	13,8	13,6	13,8
420	82,1	11	86,4	13,5	13,6	13,5	13,9	13,7	13,9
450	82,9	11	86,4	13,6	13,7	13,8	14	13,8	14
480	83,7	11	86,4	13,7	13,8	14,1	14,1	13,9	14,1
510	84,4	11	86,4	13,8	13,9	14,2	14,2	14,1	14,2
540	85	11	86,4	13,9	14	14,3	14,3	14,2	14,3
570	85,7	11	86,4	14,1	14,1	14,4	14,4	14,3	14,4
600		11	86,4						



Wykres 152. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS



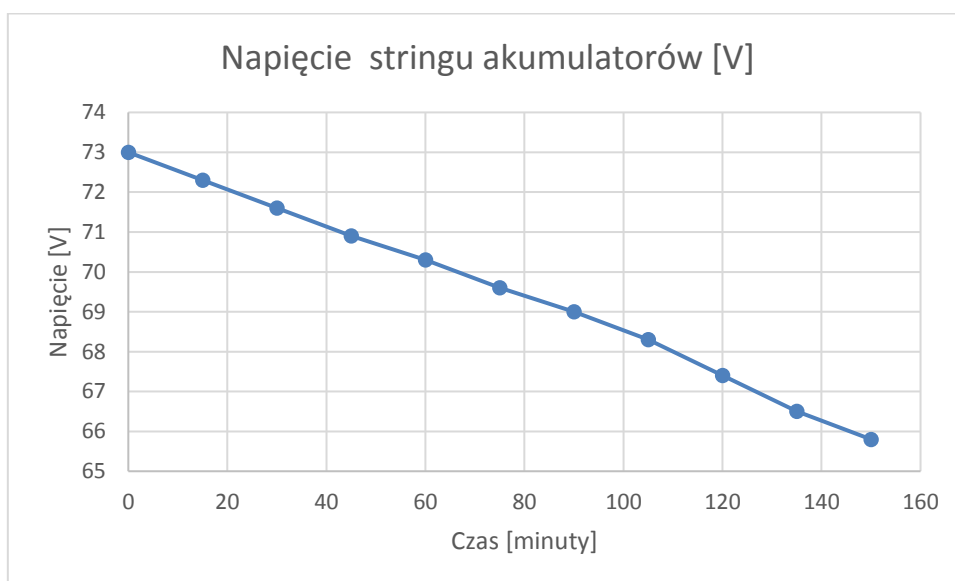
Wykres 153. Dziesiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS

7.5 Rozładowanie pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym bez użycia BMS

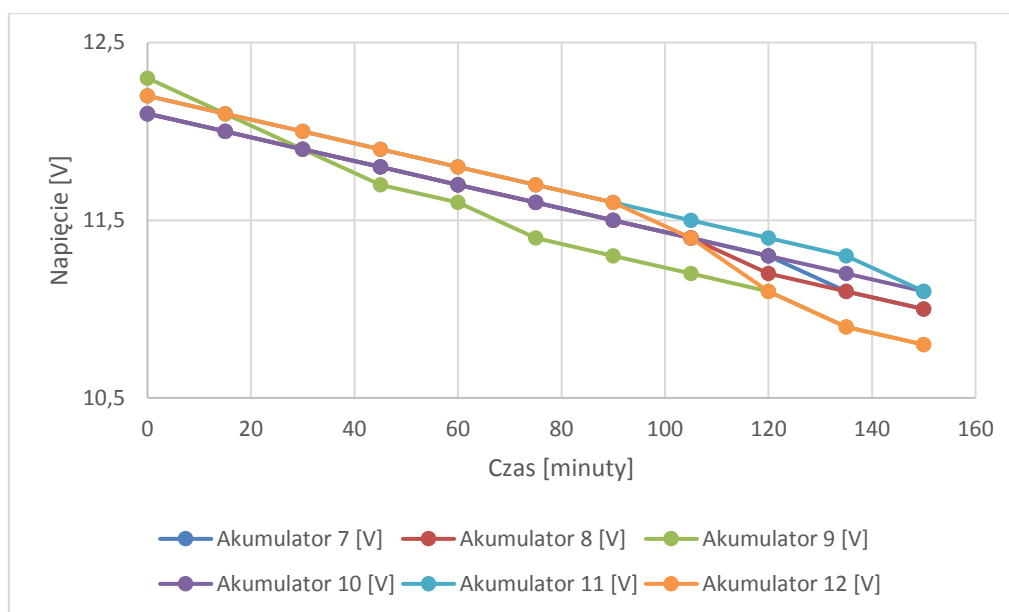
Przed rozpoczęciem procesu rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym cały pakiet powinien być w stanie pełnego naładowania- każdy akumulator jest ładowany do wartości napięcia maksymalnego 14,4V. Napięcie końcowe całej instalacji laboratoryjnej powinno być utrzymywane w granicach 86,4V. Proces rozładowania stringu akumulatorów żelowych bez zastosowania systemu BMS został powtórzony dziesięciokrotnie w celu jak najefektywniejszej oceny stanu pojemności badanych akumulatorów. Rozładowanie odbywało się prądem 30A (3-godzinny). Każdy cykl rozładowania kończy się osiągnięciem minimalnego napięcia rozładowania 10,8V- na jakimkolwiek akumulatorze. Pierwszy rozładowany akumulator jest najsłabszy i ma największy spadek pojemności. To najsłabsze ogniwo generuje wstrzymanie dalszego procesu rozładowania stringu akumulatorów, chroniąc akumulatory przed nadmiernym rozładowaniem oraz skróceniem żywotności. Na podstawie dokonanych pomiarów powstały tabele oraz wykresy rozładowania dla instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym bez systemu BMS. Z otrzymanych wyników można wywnioskować, że najmniejszą pojemność wykazują akumulatory 9 i 12 (Tabela 91). Natomiast największą pojemność w całym stringu wykazuje akumulator 7 (Tabela 94). W celu uzyskania optymalnych wyników akumulatorów połączonych szeregowo, zalecane jest wyposażenie każdego akumulatora w system BMS (Battery Management System), co zostanie zrobione w następnym cyklu badań na pakiecie akumulatorów żelowych.

Tabela 91. Pierwsza seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73	30	64,8	12,1	12,1	12,3	12,1	12,2	12,2
15	72,3	30	64,8	12	12	12,1	12	12,1	12,1
30	71,6	30	64,8	11,9	11,9	11,9	11,9	12	12
45	70,9	30	64,8	11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,9
60	70,3	30	64,8	11,7	11,7	11,6	11,7	11,8	11,8
75	69,6	30	64,8	11,6	11,6	11,4	11,6	11,7	11,7
90	69	30	64,8	11,5	11,5	11,3	11,5	11,6	11,6
105	68,3	30	64,8	11,4	11,4	11,2	11,4	11,5	11,4
120	67,4	30	64,8	11,3	11,2	11,1	11,3	11,4	11,1
135	66,5	30	64,8	11,1	11,1	10,9	11,2	11,3	10,9
150	65,8	30	64,8	11	11	10,8	11,1	11,1	10,8



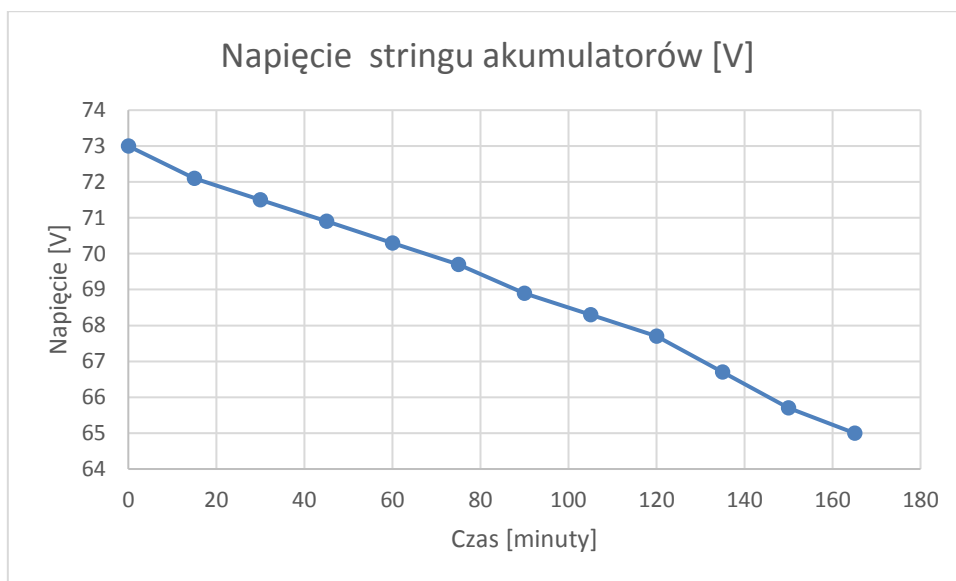
Wykres 154. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS



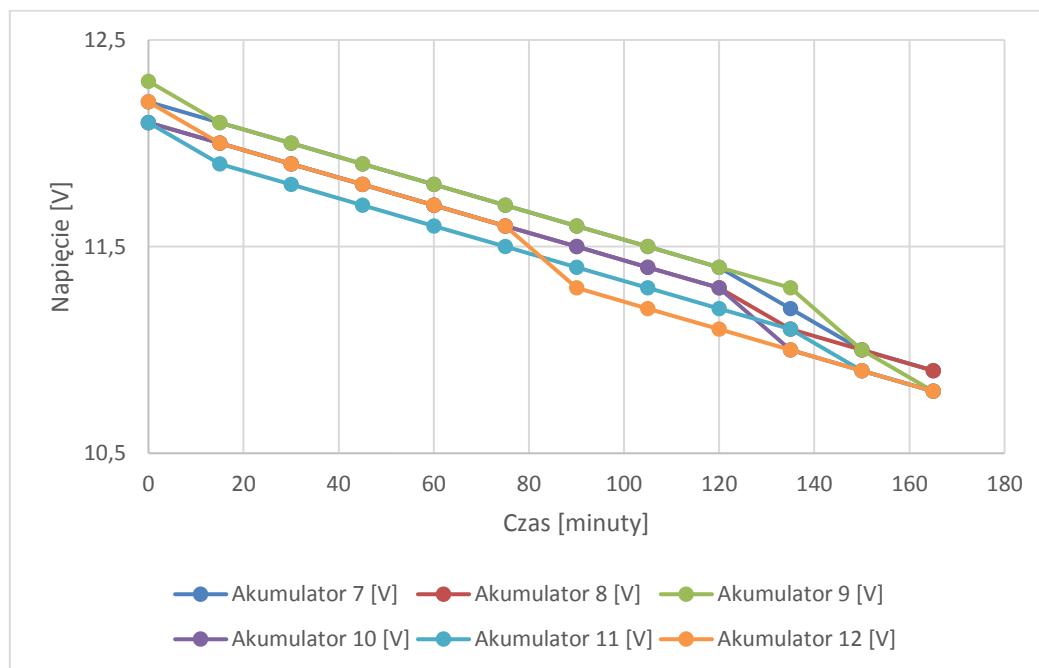
Wykres 155. Pierwsza seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 92. Druga seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73	30	64,8	12,2	12,1	12,3	12,1	12,1	12,2
15	72,1	30	64,8	12,1	12	12,1	12	11,9	12
30	71,5	30	64,8	12	11,9	12	11,9	11,8	11,9
45	70,9	30	64,8	11,9	11,8	11,9	11,8	11,7	11,8
60	70,3	30	64,8	11,8	11,7	11,8	11,7	11,6	11,7
75	69,7	30	64,8	11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,6
90	68,9	30	64,8	11,6	11,5	11,6	11,5	11,4	11,3
105	68,3	30	64,8	11,5	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2
120	67,7	30	64,8	11,4	11,3	11,4	11,3	11,2	11,1
135	66,7	30	64,8	11,2	11,1	11,3	11	11,1	11
150	65,7	30	64,8	11	11	11	10,9	10,9	10,9
165	65	30	64,8	10,9	10,9	10,8	10,8	10,8	10,8



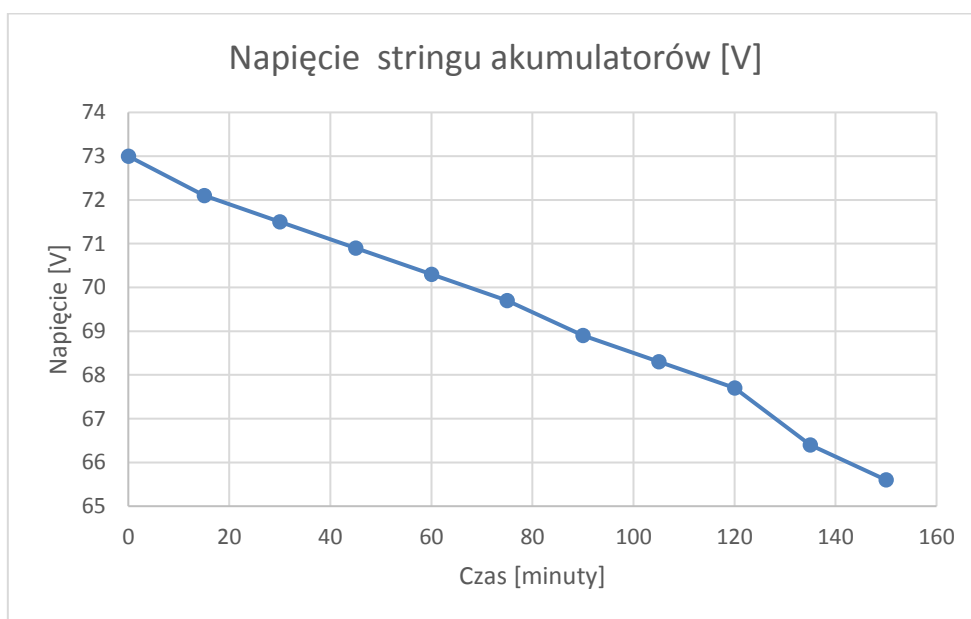
Wykres 156. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS



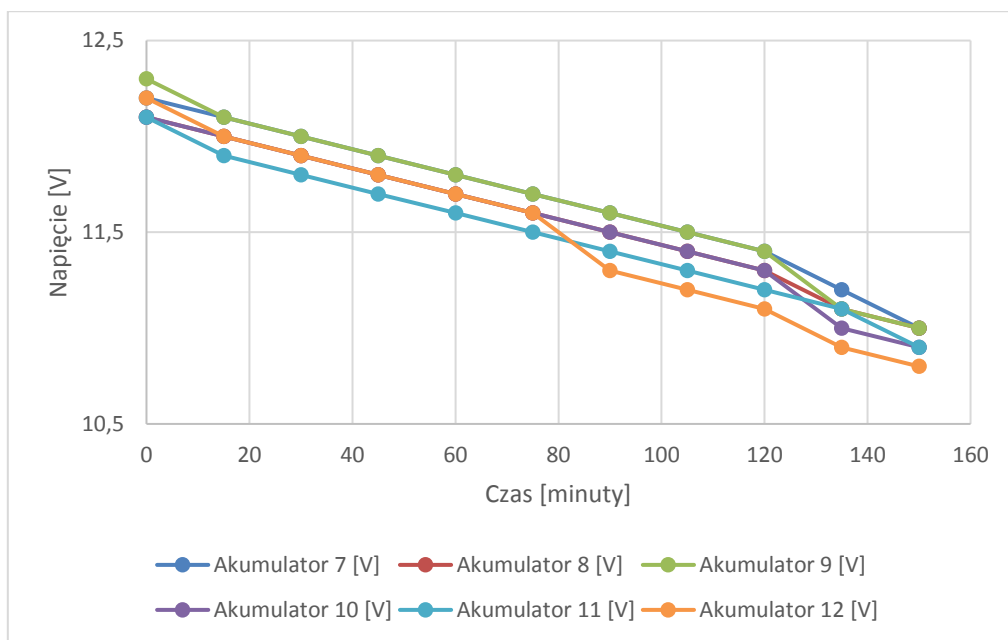
Wykres 157. Druga seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 93. Trzecia seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
73	30	64,8	12,2	12,1	12,3	12,1	12,1	12,2
72,1	30	64,8	12,1	12	12,1	12	11,9	12
71,5	30	64,8	12	11,9	12	11,9	11,8	11,9
70,9	30	64,8	11,9	11,8	11,9	11,8	11,7	11,8
70,3	30	64,8	11,8	11,7	11,8	11,7	11,6	11,7
69,7	30	64,8	11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,6
68,9	30	64,8	11,6	11,5	11,6	11,5	11,4	11,3
68,3	30	64,8	11,5	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2
67,7	30	64,8	11,4	11,3	11,4	11,3	11,2	11,1
66,4	30	64,8	11,2	11,1	11,1	11	11,1	10,9
65,6	30	64,8	11	11	11	10,9	10,9	10,8



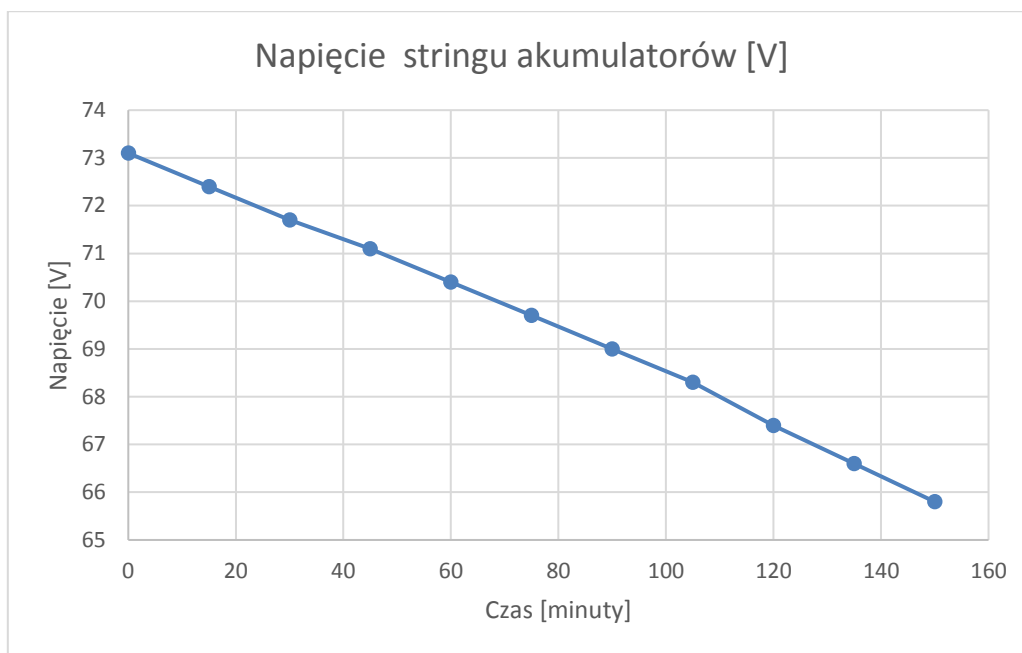
Wykres 158. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS



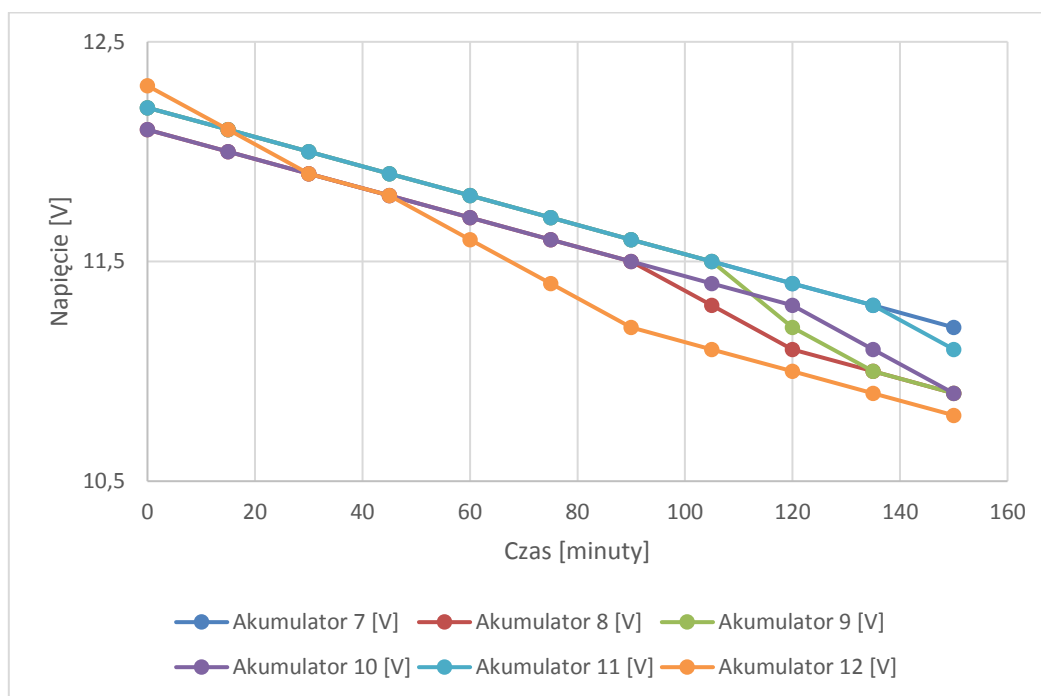
Wykres 159. Trzecia seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 94. Czwarta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
73,1	30	64,8	12,2	12,1	12,2	12,1	12,2	12,3
72,4	30	64,8	12,1	12	12,1	12	12,1	12,1
71,7	30	64,8	12	11,9	12	11,9	12	11,9
71,1	30	64,8	11,9	11,8	11,9	11,8	11,9	11,8
70,4	30	64,8	11,8	11,7	11,8	11,7	11,8	11,6
69,7	30	64,8	11,7	11,6	11,7	11,6	11,7	11,4
69	30	64,8	11,6	11,5	11,6	11,5	11,6	11,2
68,3	30	64,8	11,5	11,3	11,5	11,4	11,5	11,1
67,4	30	64,8	11,4	11,1	11,2	11,3	11,4	11
66,6	30	64,8	11,3	11	11	11,1	11,3	10,9
65,8	30	64,8	11,2	10,9	10,9	10,9	11,1	10,8



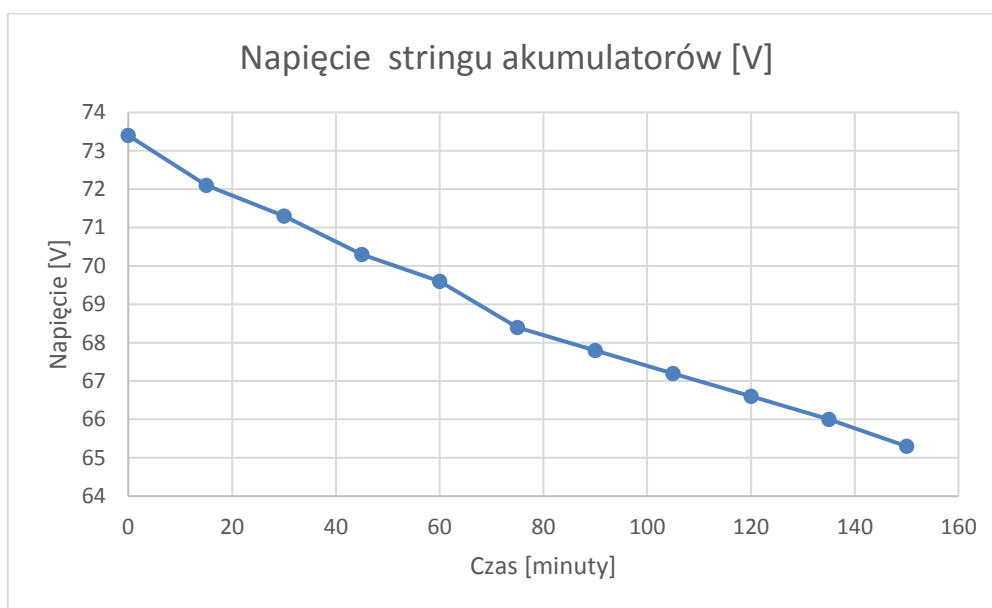
Wykres 160. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS

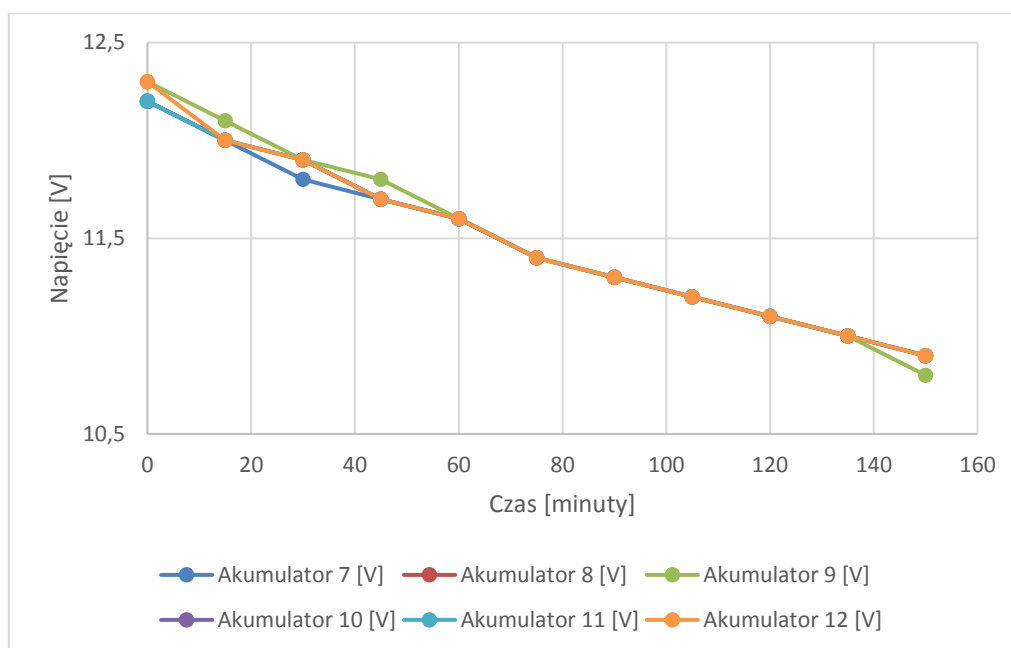


Wykres 161. Czwarta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 95. Piąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,4	30	64,8	12,2	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3
15	72,1	30	64,8	12	12	12,1	12	12	12
30	71,3	30	64,8	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
45	70,3	30	64,8	11,7	11,7	11,8	11,7	11,7	11,7
60	69,6	30	64,8	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
75	68,4	30	64,8	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
90	67,8	30	64,8	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
105	67,2	30	64,8	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
120	66,6	30	64,8	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
135	66	30	64,8	11	11	11	11	11	11
150	65,3	30	64,8	10,9	10,9	10,8	10,9	10,9	10,9

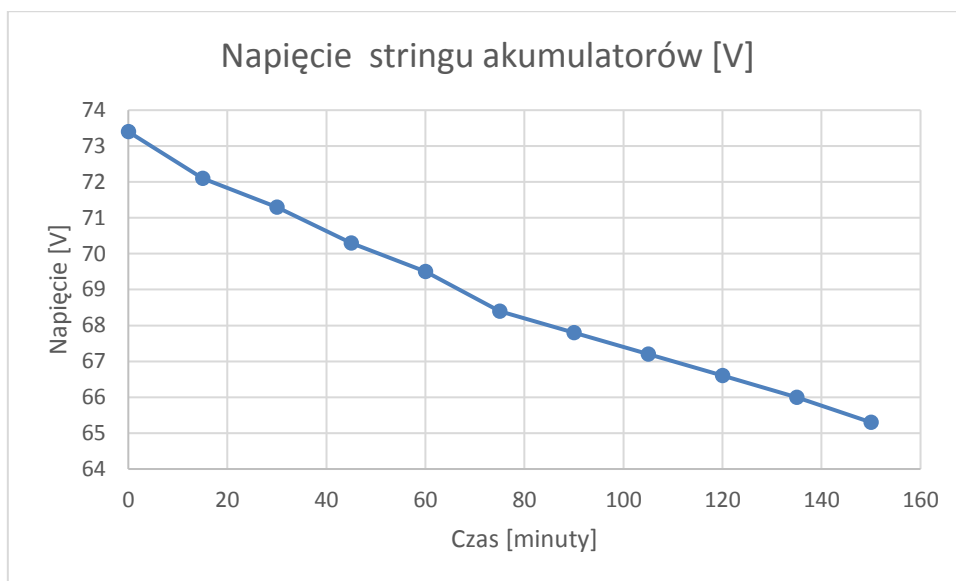

Wykres 162. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS



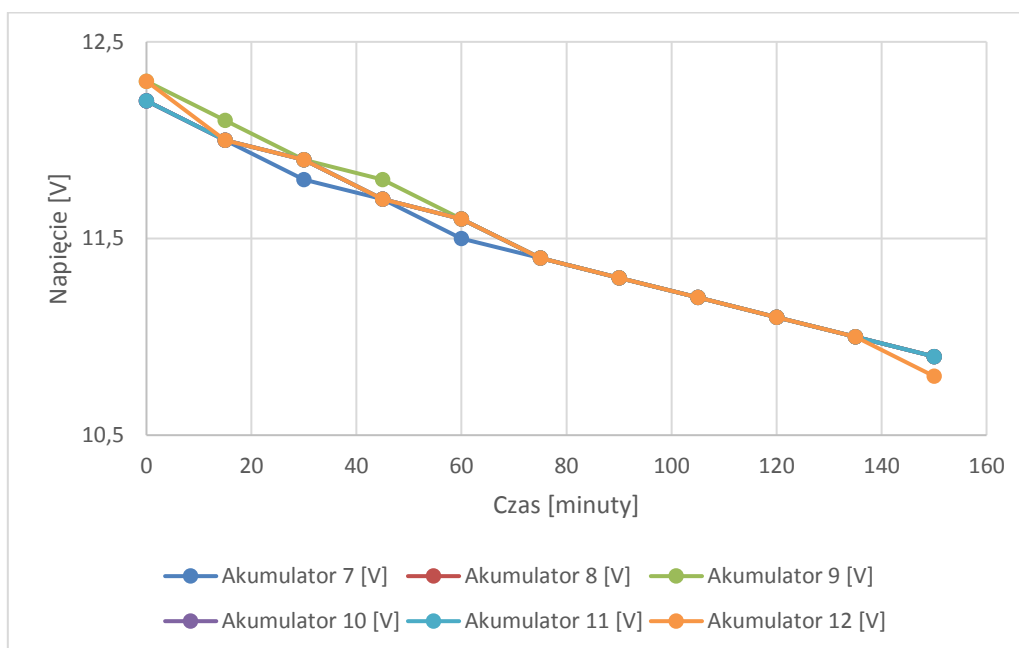
Wykres 163. Piąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 96. Szósta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,4	30	64,8	12,2	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3
15	72,1	30	64,8	12	12	12,1	12	12	12
30	71,3	30	64,8	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
45	70,3	30	64,8	11,7	11,7	11,8	11,7	11,7	11,7
60	69,5	30	64,8	11,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
75	68,4	30	64,8	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
90	67,8	30	64,8	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
105	67,2	30	64,8	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
120	66,6	30	64,8	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
135	66	30	64,8	11	11	11	11	11	11
150	65,3	30	64,8	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,8



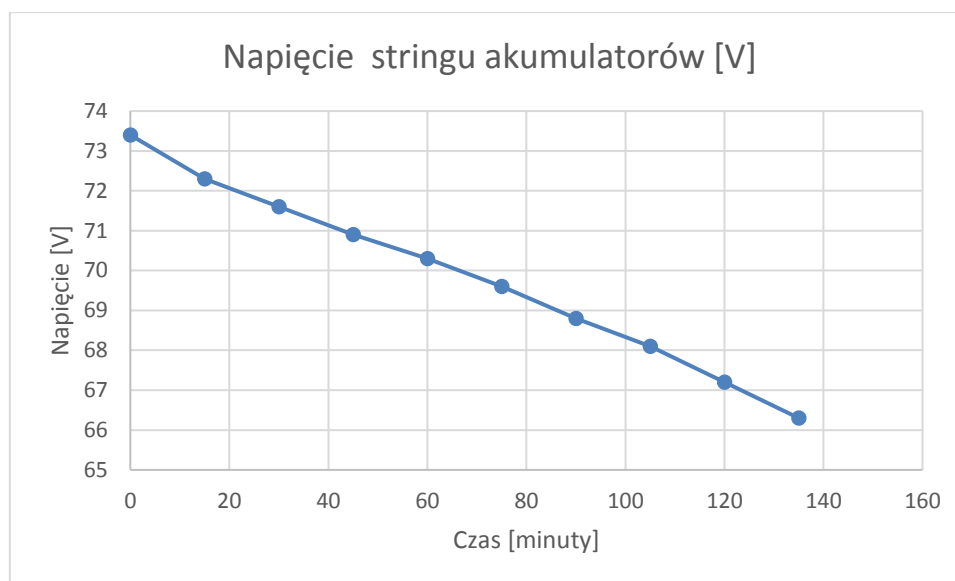
Wykres 164. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS



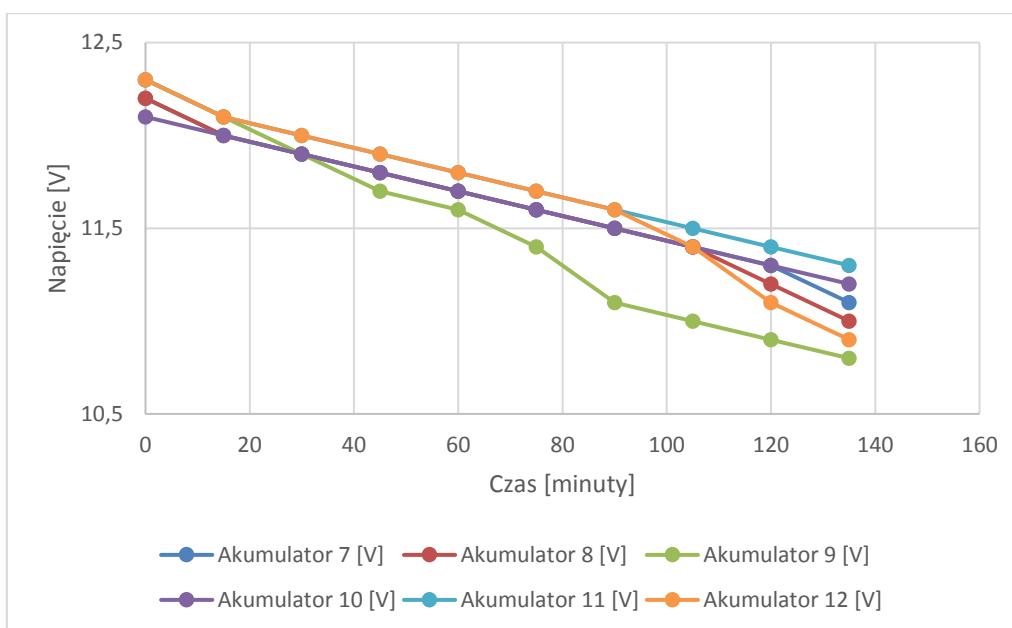
Wykres 165. Szósta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 97. Siódma seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowowych z elektrolitem żelowym

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,4	30	64,8	12,2	12,2	12,3	12,1	12,3	12,3
15	72,3	30	64,8	12	12	12,1	12	12,1	12,1
30	71,6	30	64,8	11,9	11,9	11,9	11,9	12	12
45	70,9	30	64,8	11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,9
60	70,3	30	64,8	11,7	11,7	11,6	11,7	11,8	11,8
75	69,6	30	64,8	11,6	11,6	11,4	11,6	11,7	11,7
90	68,8	30	64,8	11,5	11,5	11,1	11,5	11,6	11,6
105	68,1	30	64,8	11,4	11,4	11	11,4	11,5	11,4
120	67,2	30	64,8	11,3	11,2	10,9	11,3	11,4	11,1
135	66,3	30	64,8	11,1	11	10,8	11,2	11,3	10,9



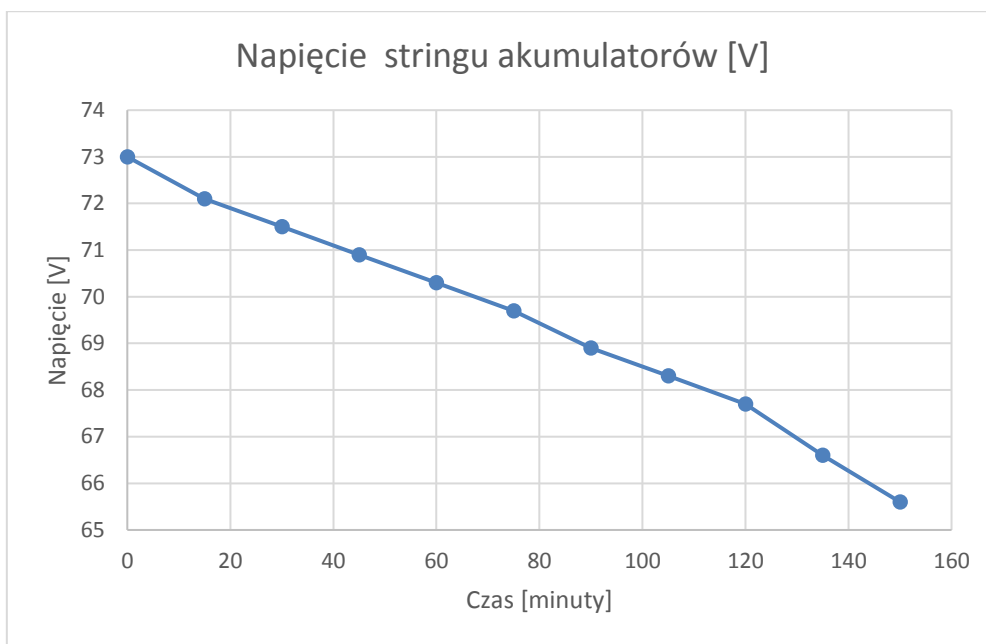
Wykres 166. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS



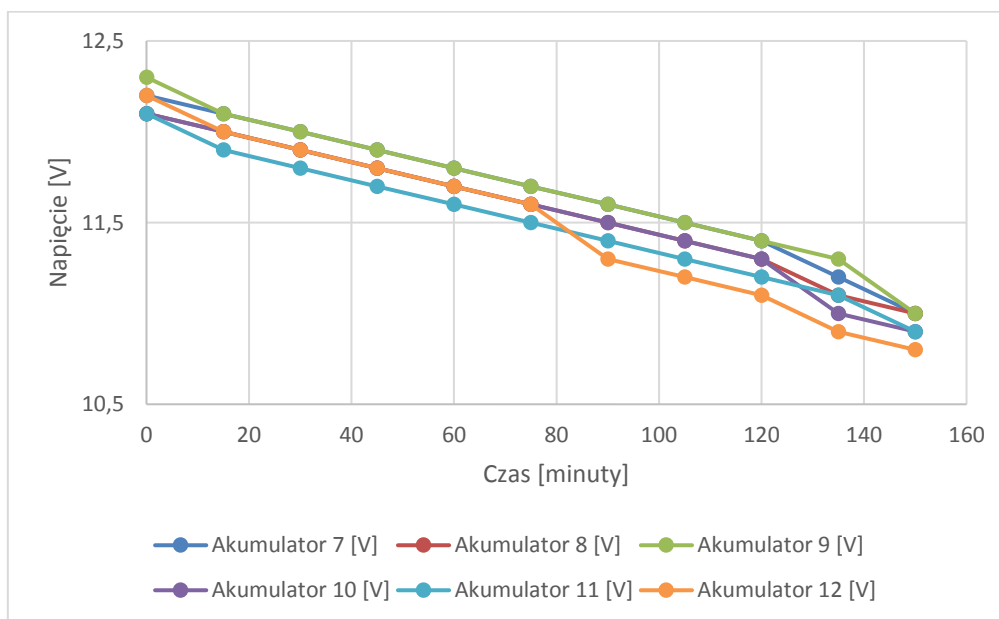
Wykres 167. Siódma seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 98. Ósma seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73	30	64,8	12,2	12,1	12,3	12,1	12,1	12,2
15	72,1	30	64,8	12,1	12	12,1	12	11,9	12
30	71,5	30	64,8	12	11,9	12	11,9	11,8	11,9
45	70,9	30	64,8	11,9	11,8	11,9	11,8	11,7	11,8
60	70,3	30	64,8	11,8	11,7	11,8	11,7	11,6	11,7
75	69,7	30	64,8	11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,6
90	68,9	30	64,8	11,6	11,5	11,6	11,5	11,4	11,3
105	68,3	30	64,8	11,5	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2
120	67,7	30	64,8	11,4	11,3	11,4	11,3	11,2	11,1
135	66,6	30	64,8	11,2	11,1	11,3	11	11,1	10,9
150	65,6	30	64,8	11	11	11	10,9	10,9	10,8



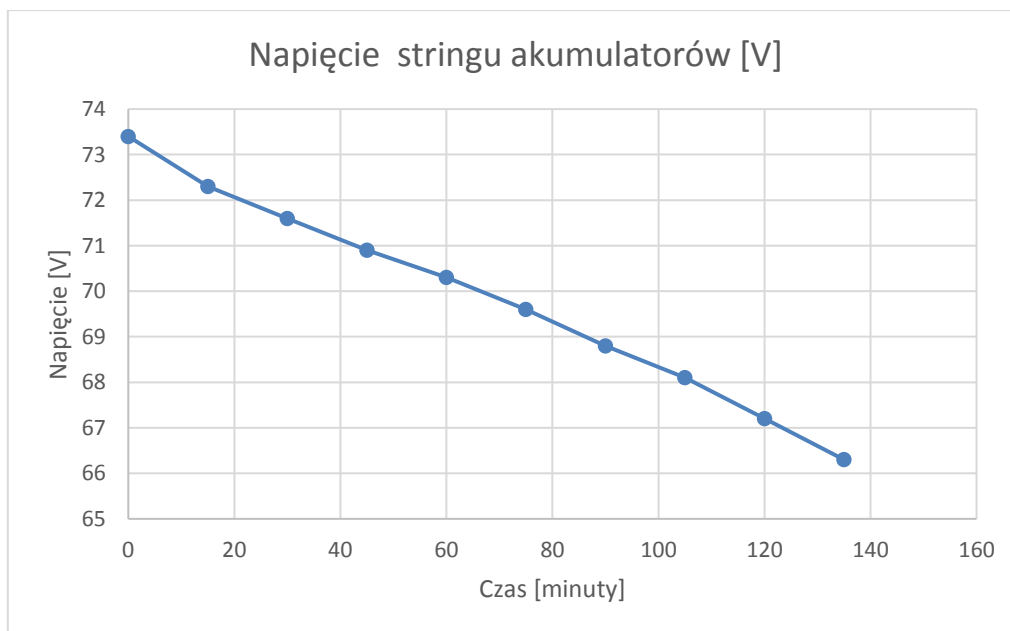
Wykres 168. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS



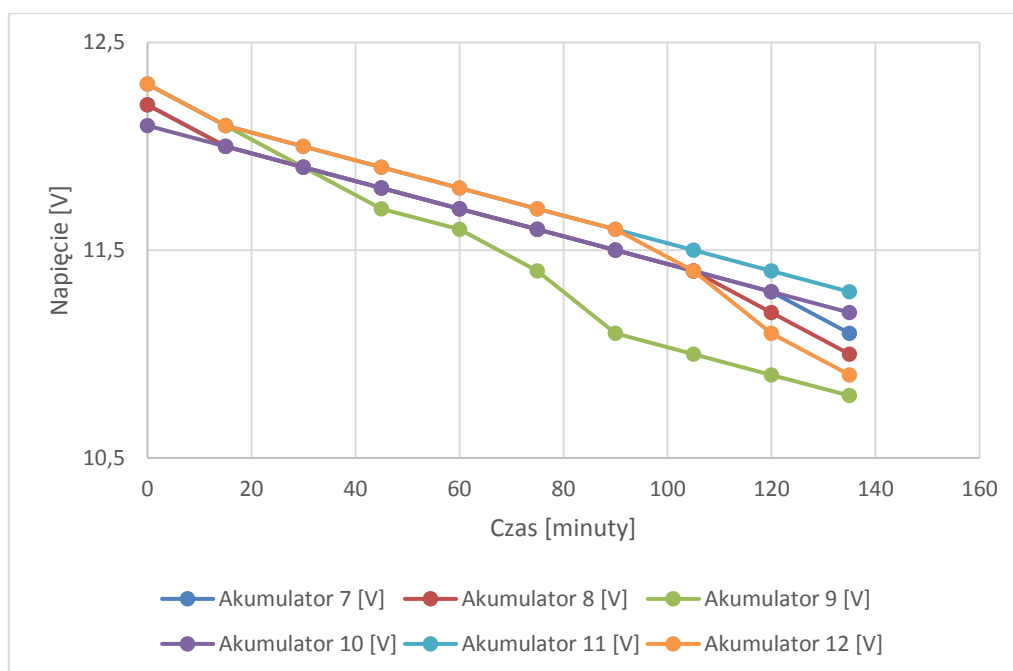
Wykres 169. Ósma seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 99. Dziewiąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,4	30	64,8	12,2	12,2	12,3	12,1	12,3	12,3
15	72,3	30	64,8	12	12	12,1	12	12,1	12,1
30	71,6	30	64,8	11,9	11,9	11,9	11,9	12	12
45	70,9	30	64,8	11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,9
60	70,3	30	64,8	11,7	11,7	11,6	11,7	11,8	11,8
75	69,6	30	64,8	11,6	11,6	11,4	11,6	11,7	11,7
90	68,8	30	64,8	11,5	11,5	11,1	11,5	11,6	11,6
105	68,1	30	64,8	11,4	11,4	11	11,4	11,5	11,4
120	67,2	30	64,8	11,3	11,2	10,9	11,3	11,4	11,1
135	66,3	30	64,8	11,1	11	10,8	11,2	11,3	10,9



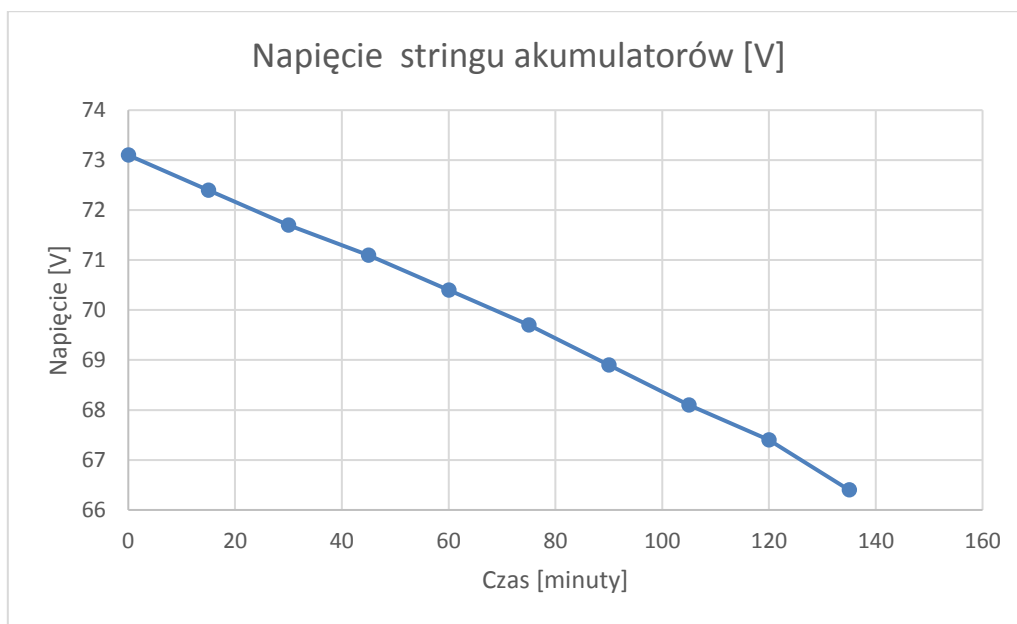
Wykres 170. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS



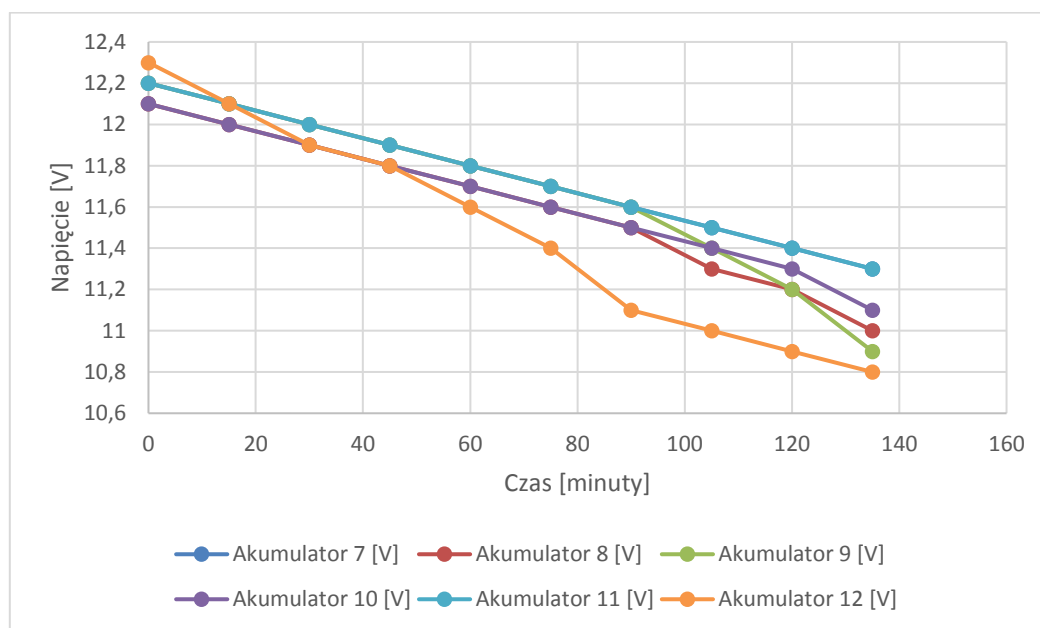
Wykres 171. Dwieście seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Tabela 100. Dwieście seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Minimalne napięcie akumulatora [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,1	30	64,8	12,2	12,1	12,2	12,1	12,2	12,3
15	72,4	30	64,8	12,1	12	12,1	12	12,1	12,1
30	71,7	30	64,8	12	11,9	12	11,9	12	11,9
45	71,1	30	64,8	11,9	11,8	11,9	11,8	11,9	11,8
60	70,4	30	64,8	11,8	11,7	11,8	11,7	11,8	11,6
75	69,7	30	64,8	11,7	11,6	11,7	11,6	11,7	11,4
90	68,9	30	64,8	11,6	11,5	11,6	11,5	11,6	11,1
105	68,1	30	64,8	11,5	11,3	11,4	11,4	11,5	11
120	67,4	30	64,8	11,4	11,2	11,2	11,3	11,4	10,9
135	66,4	30	64,8	11,3	11	10,9	11,1	11,3	10,8



Wykres 172. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS



Wykres 173. Dziesiąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

7.6 Instalacja laboratoryjna złożona z akumulatorów żelowych z zastosowaniem systemu BMS – proces ładowania

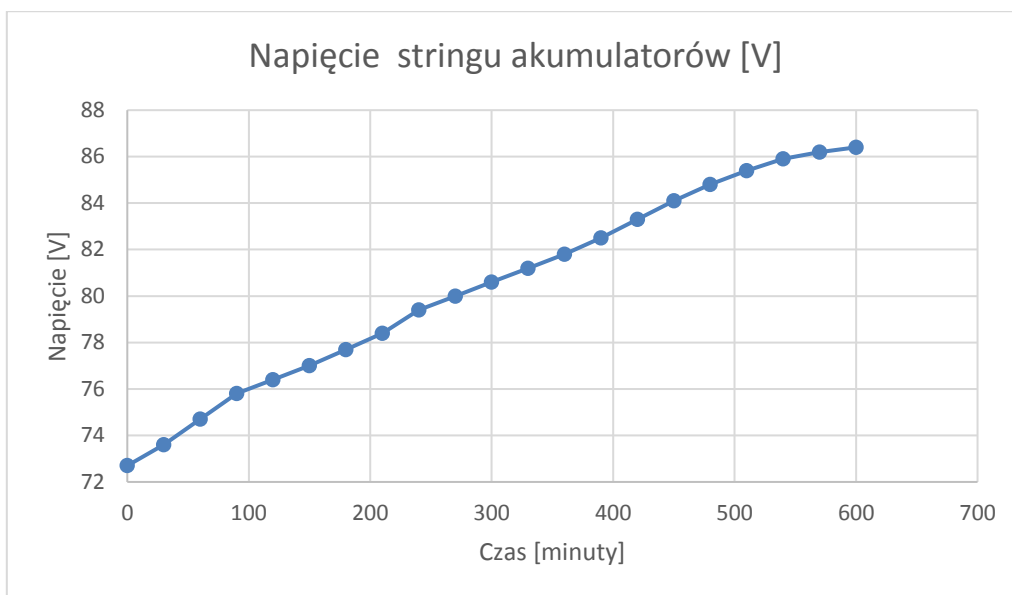
Osiągnięcie optymalnych parametrów dla każdego akumulatora w procesie ładowania wiąże się z wykorzystaniem systemu zarządzania energią, który pozwala na bezpieczną i efektywną pracę. Instalację laboratoryjną składającą się z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym należy połączyć z odpowiednim BMS Slave. Pomiary wykonywane są automatycznie przez system BMS. Dodatkowo w celach kontrolnych należy wykonywać pomiary napięć na poszczególnych celach/akumulatorach oraz pomiary prądu ładowania/rozładowania. Uzyskane dane posłużą do prawidłowej oceny oraz optymalizacji działania systemu BMS.

Proces ładowania stałym prądem przebiega do momentu osiągnięcia pełnego naładowania jednego akumulatora ze stringu do poziomu 14,4V. Wówczas włączony zostaje balanser naładowanego akumulatora. Dalsze ładowanie jest kontynuowane z użyciem balansera oraz z ograniczeniem prądu ładowania do wartości ≤ 1 A, aby zapewnić skuteczny proces balansowania. Balanser pracuje do momentu pełnego naładowania instalacji laboratoryjnej, aby akumulatory nie uległy uszkodzeniu z powodu zbyt dużego prądu i napięcia. W podobny sposób w każdym kolejnym naładowanym akumulatorze w stringu zostaje włączony balanser. Całkowite naładowanie stringu akumulatorów żelowych nastąpi, kiedy wszystkie akumulatory osiągną napięcie balansowania – 14,4V. W tym momencie proces ładowania zostaje zakończony.

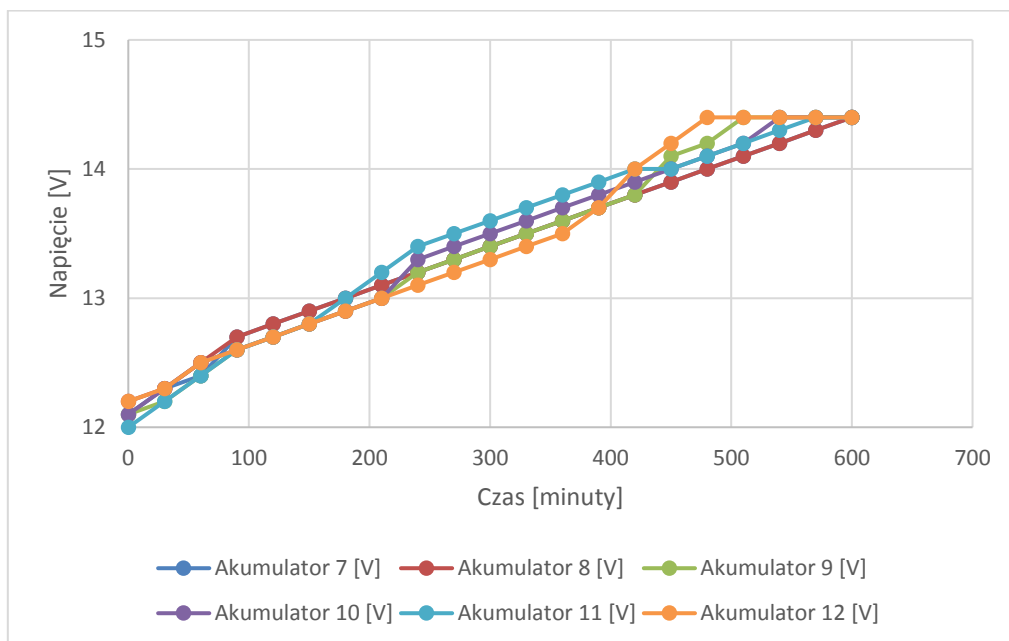
Przeprowadzono serię dziesięciokrotnego ładowania i rozładowania sześciu akumulatorów z elektrolitem żelowym z zastosowaniem systemu BMS. Na podstawie otrzymanych pomiarów powstały tabele 101-110 oraz wykresy 174-193. Napięcie znamionowe zestawu zasilającego, który jest w pełni doładowany wynosi 14,4V*6, czyli 86,4V. Ładowanie zostało przeprowadzone, stałym prądem 10-godzinnym (11A) dla akumulatorów o pojemności 110 Ah. Następnie stałym napięciem do wartości 14,4V przy stopniowo malejącym prądzie do wartości ≤ 1 A. Wyniki z prac badawczo-pomiarowych procesu ładowania w tabeli 102 wskazują, że akumulatorem o najmniejszej pojemności jest akumulator 12, którego czas ładowania jest najkrótszy. Również pomiary z tabeli 101 wskazują akumulatory ładujące się najdłużej tzn. akumulator 7 i 8 - o największej pojemności 10-godzinnej.

Tabela 101. Pierwszy cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,7	11	86,4	12,1	12,2	12,1	12,1	12	12,2
30	73,6	11	86,4	12,3	12,3	12,2	12,3	12,2	12,3
60	74,7	11	86,4	12,4	12,5	12,4	12,5	12,4	12,5
90	75,8	11	86,4	12,7	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6
120	76,4	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	77	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	77,7	11	86,4	13	13	12,9	12,9	13	12,9
210	78,4	11	86,4	13,1	13,1	13	13	13,2	13
240	79,4	11	86,4	13,2	13,2	13,2	13,3	13,4	13,1
270	80	11	86,4	13,3	13,3	13,3	13,4	13,5	13,2
300	80,6	11	86,4	13,4	13,4	13,4	13,5	13,6	13,3
330	81,2	11	86,4	13,5	13,5	13,5	13,6	13,7	13,4
360	81,8	11	86,4	13,6	13,6	13,6	13,7	13,8	13,5
390	82,5	11	86,4	13,7	13,7	13,7	13,8	13,9	13,7
420	83,3	11	86,4	13,8	13,8	13,8	13,9	14	14
450	84,1	11	86,4	13,9	13,9	14,1	14	14	14,2
480	84,8	1	86,4	14	14	14,2	14,1	14,1	14,4
510	85,4	1	86,4	14,1	14,1	14,4	14,2	14,2	14,4
540	85,9	1	86,4	14,2	14,2	14,4	14,4	14,3	14,4
570	86,2	1	86,4	14,3	14,3	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



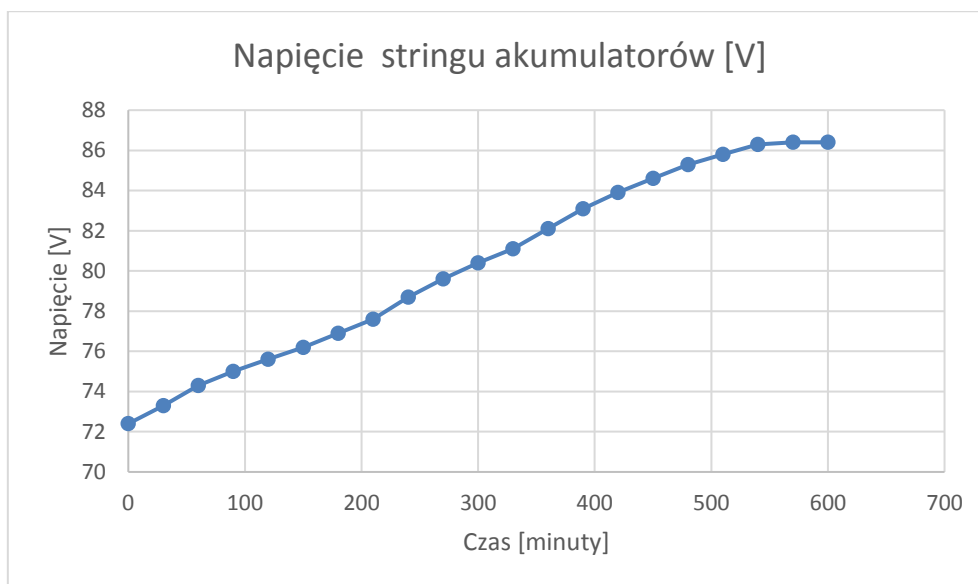
Wykres 174. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



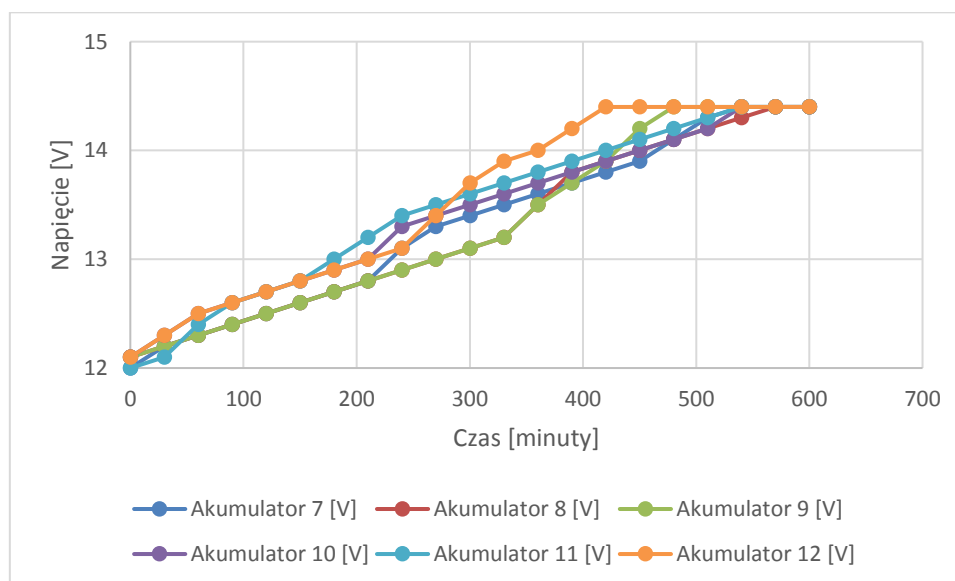
Wykres 175. Pierwszy cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Tabela 102. Druga seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,4	11	86,4	12	12,1	12,1	12,1	12	12,1
30	73,3	11	86,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,1	12,3
60	74,3	11	86,4	12,3	12,3	12,3	12,5	12,4	12,5
90	75	11	86,4	12,4	12,4	12,4	12,6	12,6	12,6
120	75,6	11	86,4	12,5	12,5	12,5	12,7	12,7	12,7
150	76,2	11	86,4	12,6	12,6	12,6	12,8	12,8	12,8
180	76,9	11	86,4	12,7	12,7	12,7	12,9	13	12,9
210	77,6	11	86,4	12,8	12,8	12,8	13	13,2	13
240	78,7	11	86,4	13,1	12,9	12,9	13,3	13,4	13,1
270	79,6	11	86,4	13,3	13	13	13,4	13,5	13,4
300	80,4	11	86,4	13,4	13,1	13,1	13,5	13,6	13,7
330	81,1	11	86,4	13,5	13,2	13,2	13,6	13,7	13,9
360	82,1	11	86,4	13,6	13,5	13,5	13,7	13,8	14
390	83,1	11	86,4	13,7	13,8	13,7	13,8	13,9	14,2
420	83,9	1	86,4	13,8	13,9	13,9	13,9	14	14,4
450	84,6	1	86,4	13,9	14	14,2	14	14,1	14,4
480	85,3	1	86,4	14,1	14,1	14,4	14,1	14,2	14,4
510	85,8	1	86,4	14,3	14,2	14,4	14,2	14,3	14,4
540	86,3	1	86,4	14,4	14,3	14,4	14,4	14,4	14,4
570	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



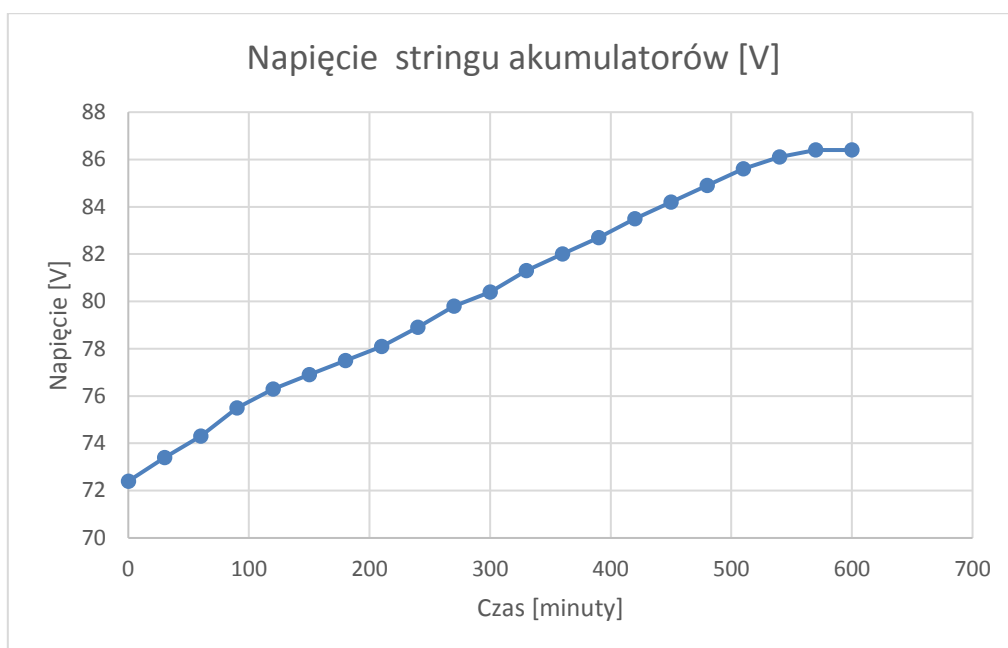
Wykres 176. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



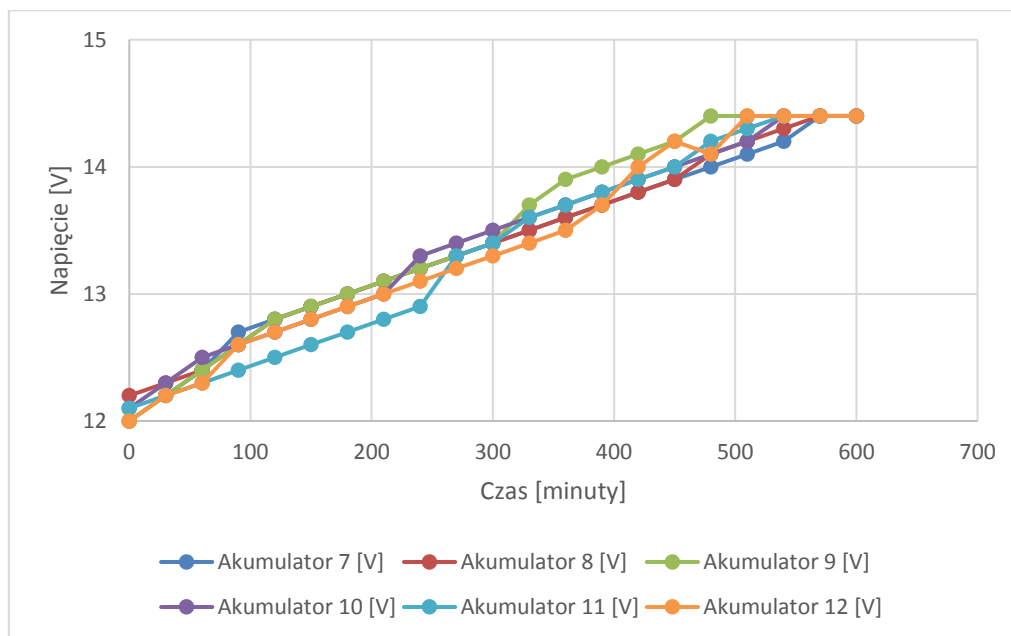
Wykres 177. Druga seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Tabela 103. Trzeci cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,4	11	86,4	12	12,2	12	12,1	12,1	12
30	73,4	11	86,4	12,2	12,3	12,2	12,3	12,2	12,2
60	74,3	11	86,4	12,4	12,4	12,4	12,5	12,3	12,3
90	75,5	11	86,4	12,7	12,6	12,6	12,6	12,4	12,6
120	76,3	11	86,4	12,8	12,8	12,8	12,7	12,5	12,7
150	76,9	11	86,4	12,9	12,9	12,9	12,8	12,6	12,8
180	77,5	11	86,4	13	13	13	12,9	12,7	12,9
210	78,1	11	86,4	13,1	13,1	13,1	13	12,8	13
240	78,9	11	86,4	13,2	13,2	13,2	13,3	12,9	13,1
270	79,8	11	86,4	13,3	13,3	13,3	13,4	13,3	13,2
300	80,4	11	86,4	13,4	13,4	13,4	13,5	13,4	13,3
330	81,3	11	86,4	13,5	13,5	13,7	13,6	13,6	13,4
360	82	11	86,4	13,6	13,6	13,9	13,7	13,7	13,5
390	82,7	11	86,4	13,7	13,7	14	13,8	13,8	13,7
420	83,5	11	86,4	13,8	13,8	14,1	13,9	13,9	14
450	84,2	11	86,4	13,9	13,9	14,2	14	14	14,2
480	84,9	1	86,4	14	14,1	14,4	14,1	14,2	14,1
510	85,6	1	86,4	14,1	14,2	14,4	14,2	14,3	14,4
540	86,1	1	86,4	14,2	14,3	14,4	14,4	14,4	14,4
570	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



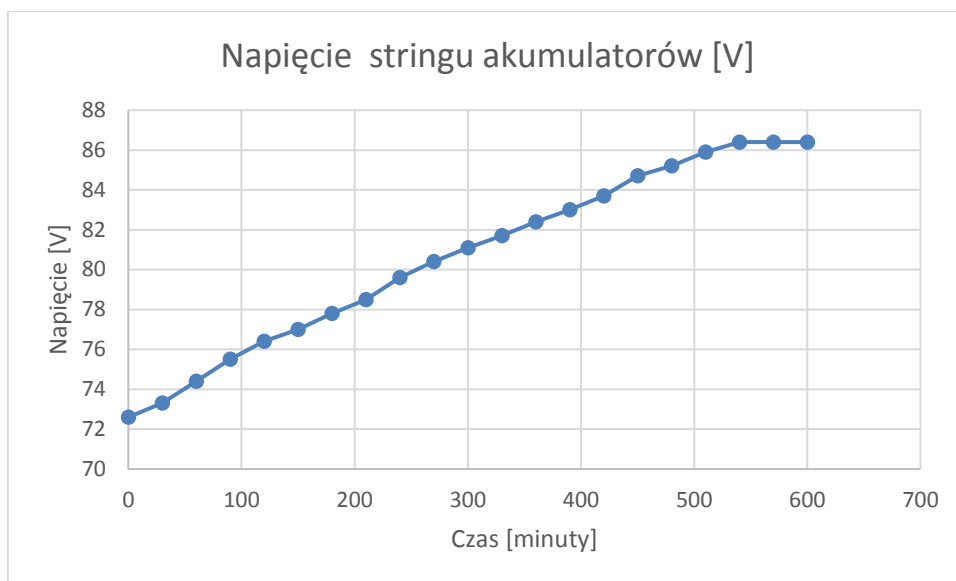
Wykres 178. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



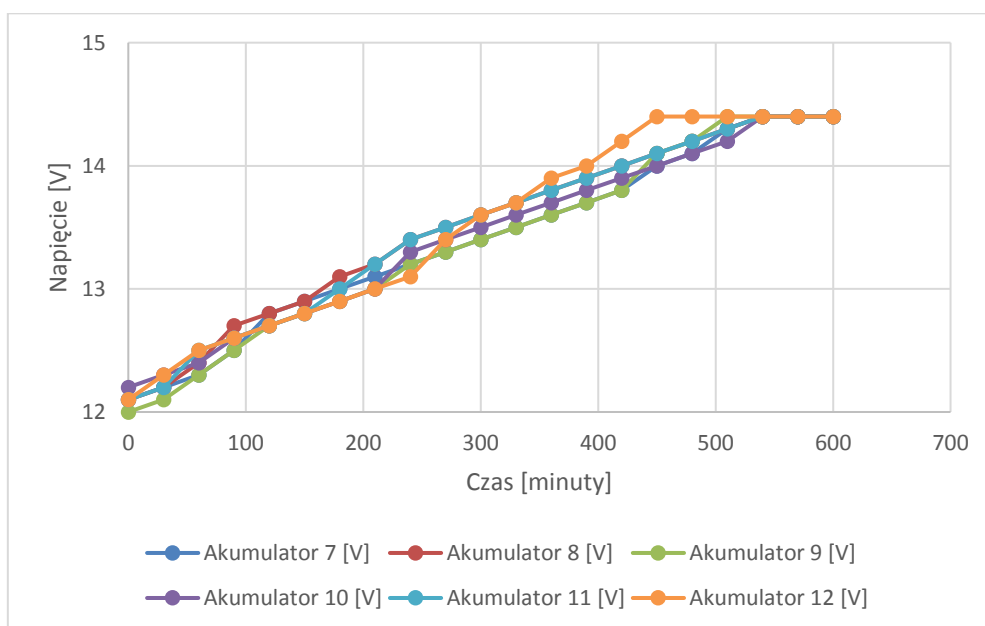
Wykres 179. Trzeci cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Tabela 104. Czwarty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,6	11	86,4	12,1	12,1	12	12,2	12,1	12,1
30	73,3	11	86,4	12,2	12,2	12,1	12,3	12,2	12,3
60	74,4	11	86,4	12,3	12,4	12,3	12,4	12,5	12,5
90	75,5	11	86,4	12,5	12,7	12,5	12,6	12,6	12,6
120	76,4	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	77	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	77,8	11	86,4	13	13,1	12,9	12,9	13	12,9
210	78,5	11	86,4	13,1	13,2	13	13	13,2	13
240	79,6	11	86,4	13,2	13,4	13,2	13,3	13,4	13,1
270	80,4	11	86,4	13,3	13,5	13,3	13,4	13,5	13,4
300	81,1	11	86,4	13,4	13,6	13,4	13,5	13,6	13,6
330	81,7	11	86,4	13,5	13,7	13,5	13,6	13,7	13,7
360	82,4	11	86,4	13,6	13,8	13,6	13,7	13,8	13,9
390	83	11	86,4	13,7	13,9	13,7	13,8	13,9	14
420	83,7	11	86,4	13,8	14	13,8	13,9	14	14,2
450	84,7	1	86,4	14	14,1	14,1	14	14,1	14,4
480	85,2	1	86,4	14,1	14,2	14,2	14,1	14,2	14,4
510	85,9	1	86,4	14,3	14,3	14,4	14,2	14,3	14,4
540	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
570	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



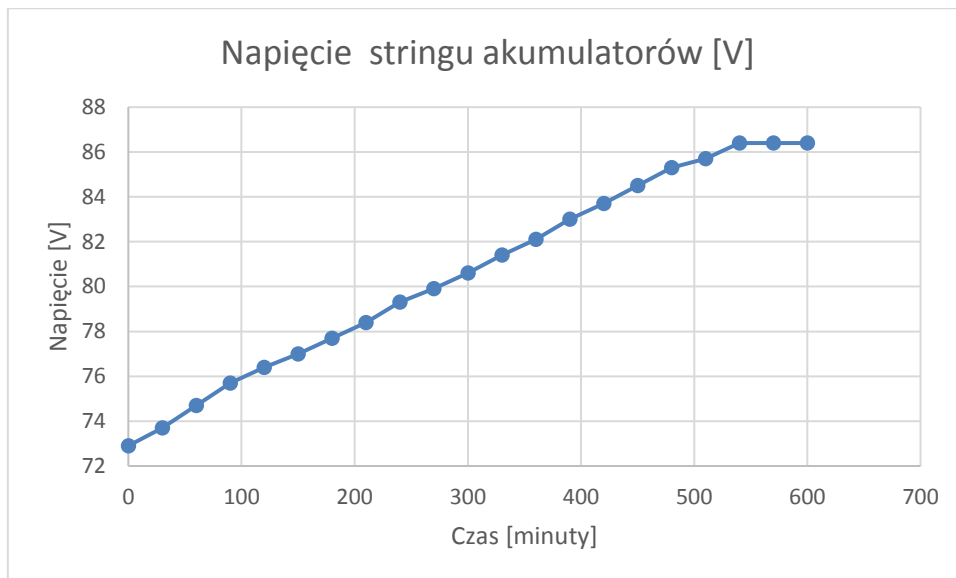
Wykres 180. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



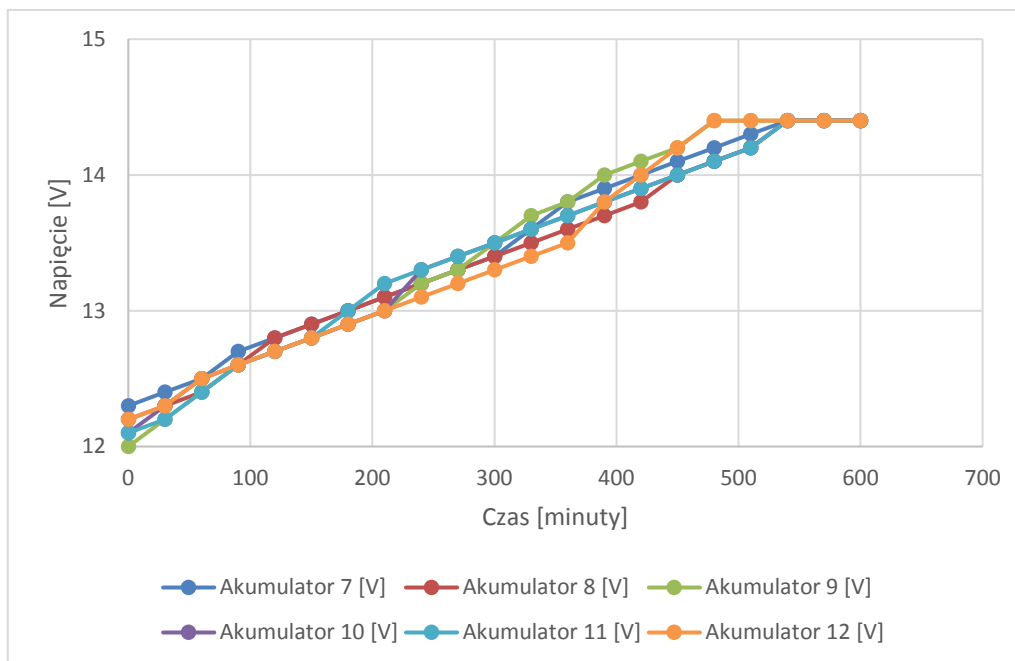
Wykres 181. Czwarty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Tabela 105. Piąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,9	11	86,4	12,3	12,2	12	12,1	12,1	12,2
30	73,7	11	86,4	12,4	12,3	12,2	12,3	12,2	12,3
60	74,7	11	86,4	12,5	12,4	12,4	12,5	12,4	12,5
90	75,7	11	86,4	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
120	76,4	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	77	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	77,7	11	86,4	13	13	12,9	12,9	13	12,9
210	78,4	11	86,4	13,1	13,1	13	13	13,2	13
240	79,3	11	86,4	13,2	13,2	13,2	13,3	13,3	13,1
270	79,9	11	86,4	13,3	13,3	13,3	13,4	13,4	13,2
300	80,6	11	86,4	13,4	13,4	13,5	13,5	13,5	13,3
330	81,4	11	86,4	13,6	13,5	13,7	13,6	13,6	13,4
360	82,1	11	86,4	13,8	13,6	13,8	13,7	13,7	13,5
390	83	11	86,4	13,9	13,7	14	13,8	13,8	13,8
420	83,7	11	86,4	14	13,8	14,1	13,9	13,9	14
450	84,5	11	86,4	14,1	14	14,2	14	14	14,2
480	85,3	1	86,4	14,2	14,1	14,4	14,1	14,1	14,4
510	85,7	1	86,4	14,3	14,2	14,4	14,2	14,2	14,4
540	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
570	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



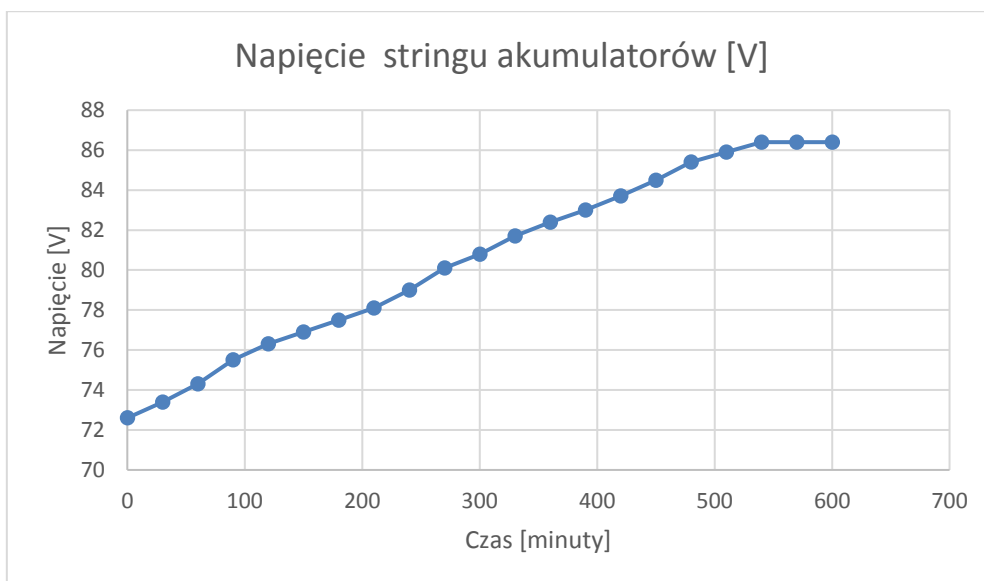
Wykres 182. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



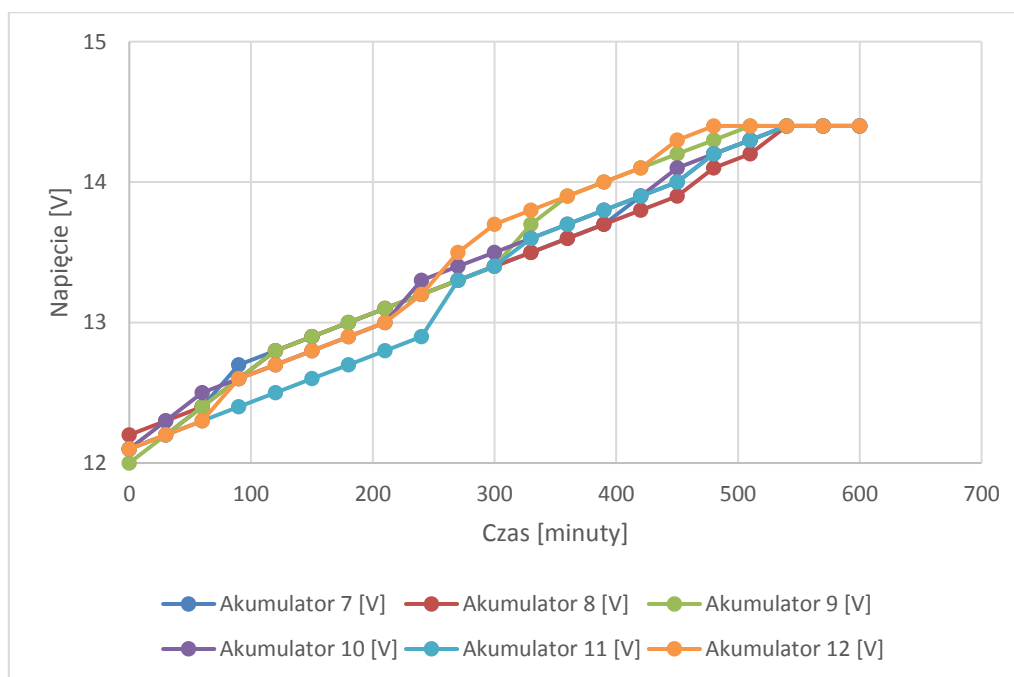
Wykres 183. Piąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Tabela 106. Szósty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,6	11	86,4	12,1	12,2	12	12,1	12,1	12,1
30	73,4	11	86,4	12,2	12,3	12,2	12,3	12,2	12,2
60	74,3	11	86,4	12,4	12,4	12,4	12,5	12,3	12,3
90	75,5	11	86,4	12,7	12,6	12,6	12,6	12,4	12,6
120	76,3	11	86,4	12,8	12,8	12,8	12,7	12,5	12,7
150	76,9	11	86,4	12,9	12,9	12,9	12,8	12,6	12,8
180	77,5	11	86,4	13	13	13	12,9	12,7	12,9
210	78,1	11	86,4	13,1	13,1	13,1	13	12,8	13
240	79	11	86,4	13,2	13,2	13,2	13,3	12,9	13,2
270	80,1	11	86,4	13,3	13,3	13,3	13,4	13,3	13,5
300	80,8	11	86,4	13,4	13,4	13,4	13,5	13,4	13,7
330	81,7	11	86,4	13,5	13,5	13,7	13,6	13,6	13,8
360	82,4	11	86,4	13,6	13,6	13,9	13,7	13,7	13,9
390	83	11	86,4	13,7	13,7	14	13,8	13,8	14
420	83,7	11	86,4	13,9	13,8	14,1	13,9	13,9	14,1
450	84,5	11	86,4	14	13,9	14,2	14,1	14	14,3
480	85,4	1	86,4	14,2	14,1	14,3	14,2	14,2	14,4
510	85,9	1	86,4	14,3	14,2	14,4	14,3	14,3	14,4
540	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
570	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



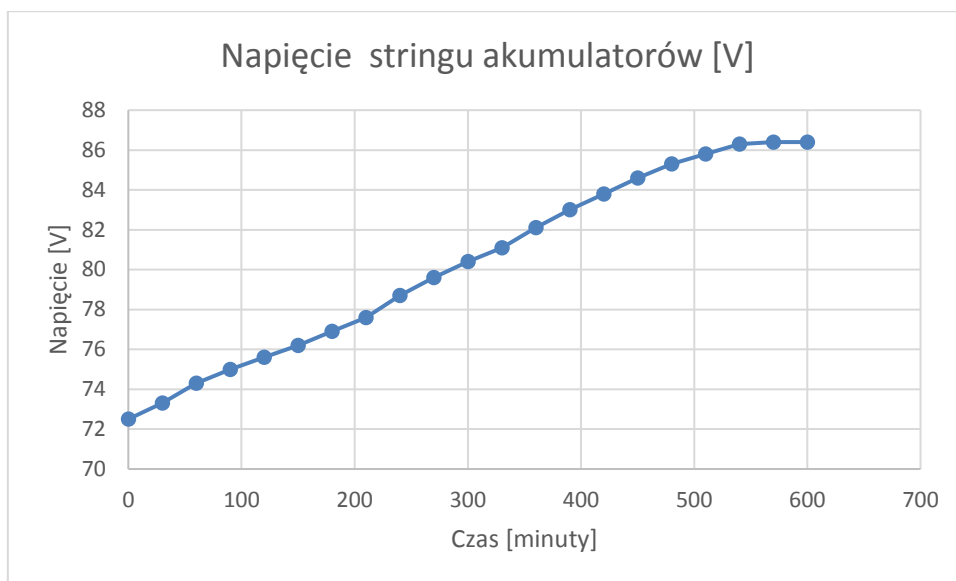
Wykres 184. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



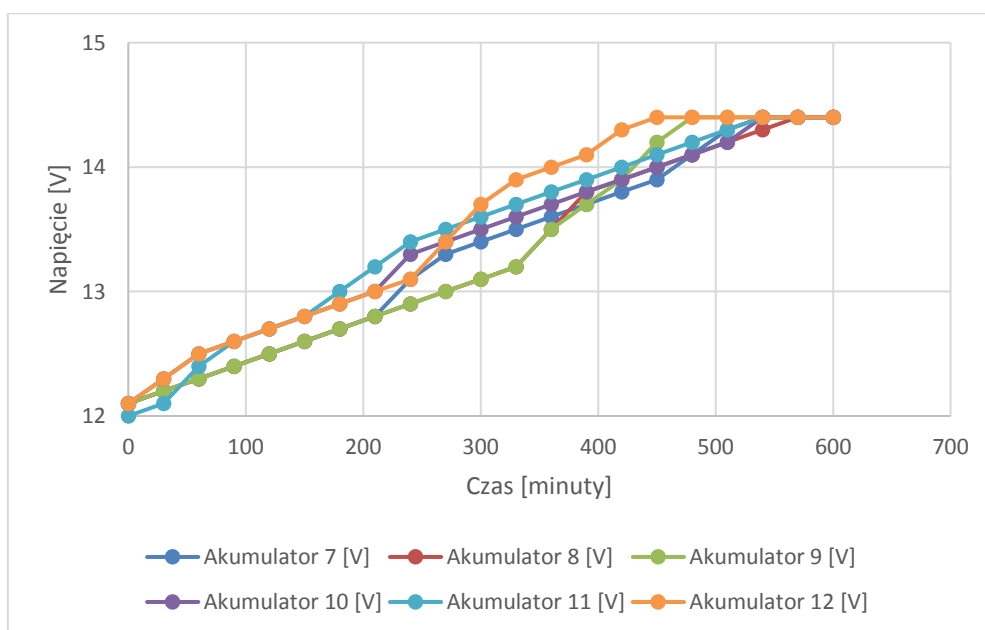
Wykres 185. Szósty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Tabela 107. Siódmy cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,5	11	86,4	12,1	12,1	12,1	12,1	12	12,1
30	73,3	11	86,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,1	12,3
60	74,3	11	86,4	12,3	12,3	12,3	12,5	12,4	12,5
90	75	11	86,4	12,4	12,4	12,4	12,6	12,6	12,6
120	75,6	11	86,4	12,5	12,5	12,5	12,7	12,7	12,7
150	76,2	11	86,4	12,6	12,6	12,6	12,8	12,8	12,8
180	76,9	11	86,4	12,7	12,7	12,7	12,9	13	12,9
210	77,6	11	86,4	12,8	12,8	12,8	13	13,2	13
240	78,7	11	86,4	13,1	12,9	12,9	13,3	13,4	13,1
270	79,6	11	86,4	13,3	13	13	13,4	13,5	13,4
300	80,4	11	86,4	13,4	13,1	13,1	13,5	13,6	13,7
330	81,1	11	86,4	13,5	13,2	13,2	13,6	13,7	13,9
360	82,1	11	86,4	13,6	13,5	13,5	13,7	13,8	14
390	83	11	86,4	13,7	13,8	13,7	13,8	13,9	14,1
420	83,8	11	86,4	13,8	13,9	13,9	13,9	14	14,3
450	84,6	1	86,4	13,9	14	14,2	14	14,1	14,4
480	85,3	1	86,4	14,1	14,1	14,4	14,1	14,2	14,4
510	85,8	1	86,4	14,3	14,2	14,4	14,2	14,3	14,4
540	86,3	1	86,4	14,4	14,3	14,4	14,4	14,4	14,4
570	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



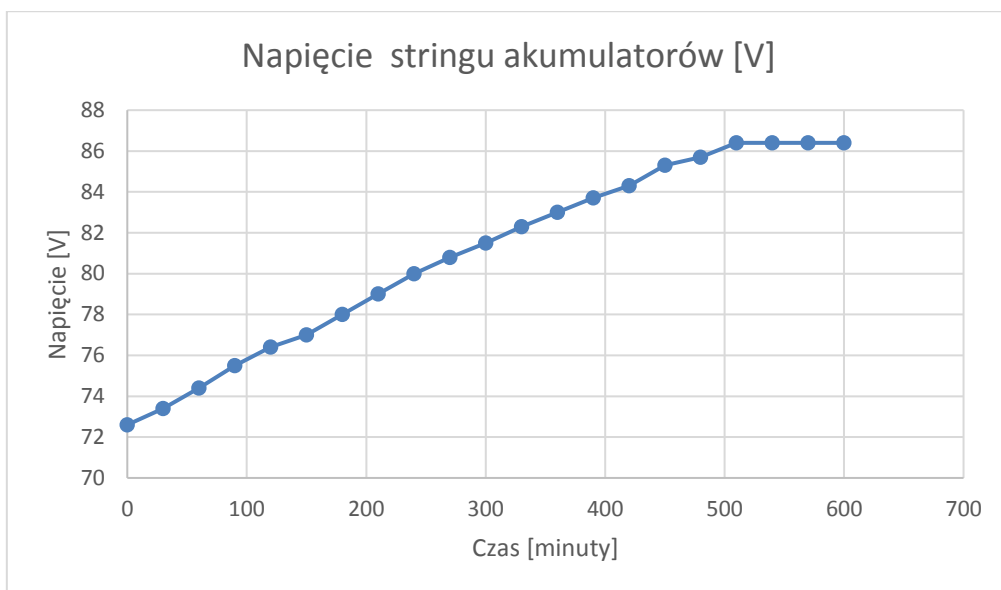
Wykres 186. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



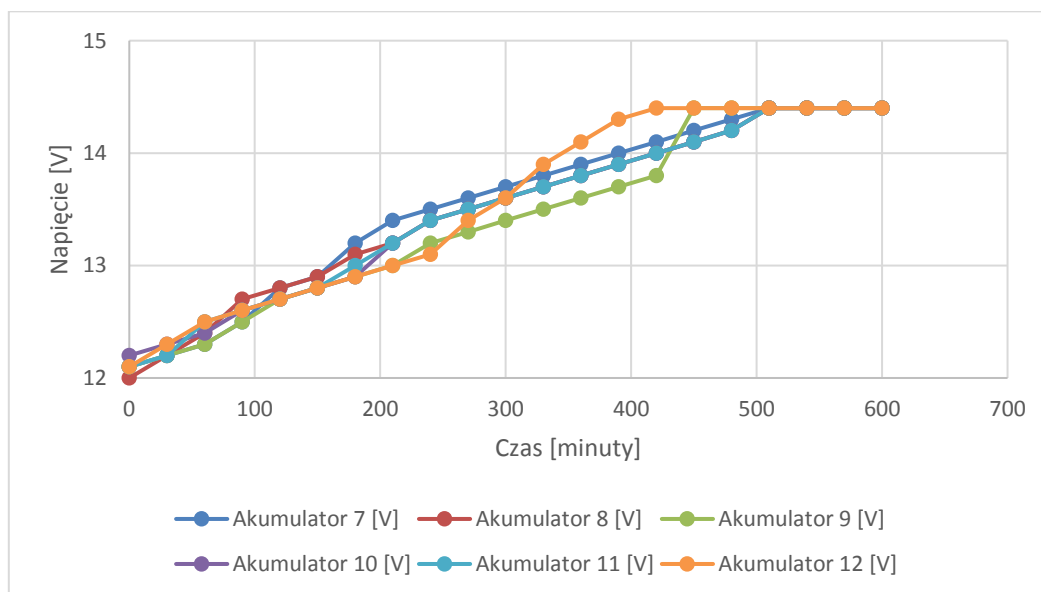
Wykres 187. Siódmy cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Tabela 108. Ósma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,6	11	86,4	12,1	12	12,1	12,2	12,1	12,1
30	73,4	11	86,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,2	12,3
60	74,4	11	86,4	12,3	12,4	12,3	12,4	12,5	12,5
90	75,5	11	86,4	12,5	12,7	12,5	12,6	12,6	12,6
120	76,4	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	77	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	78	11	86,4	13,2	13,1	12,9	12,9	13	12,9
210	79	11	86,4	13,4	13,2	13	13,2	13,2	13
240	80	11	86,4	13,5	13,4	13,2	13,4	13,4	13,1
270	80,8	11	86,4	13,6	13,5	13,3	13,5	13,5	13,4
300	81,5	11	86,4	13,7	13,6	13,4	13,6	13,6	13,6
330	82,3	11	86,4	13,8	13,7	13,5	13,7	13,7	13,9
360	83	11	86,4	13,9	13,8	13,6	13,8	13,8	14,1
390	83,7	11	86,4	14	13,9	13,7	13,9	13,9	14,3
420	84,3	1	86,4	14,1	14	13,8	14	14	14,4
450	85,3	1	86,4	14,2	14,1	14,4	14,1	14,1	14,4
480	85,7	1	86,4	14,3	14,2	14,4	14,2	14,2	14,4
510	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
540	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
570	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



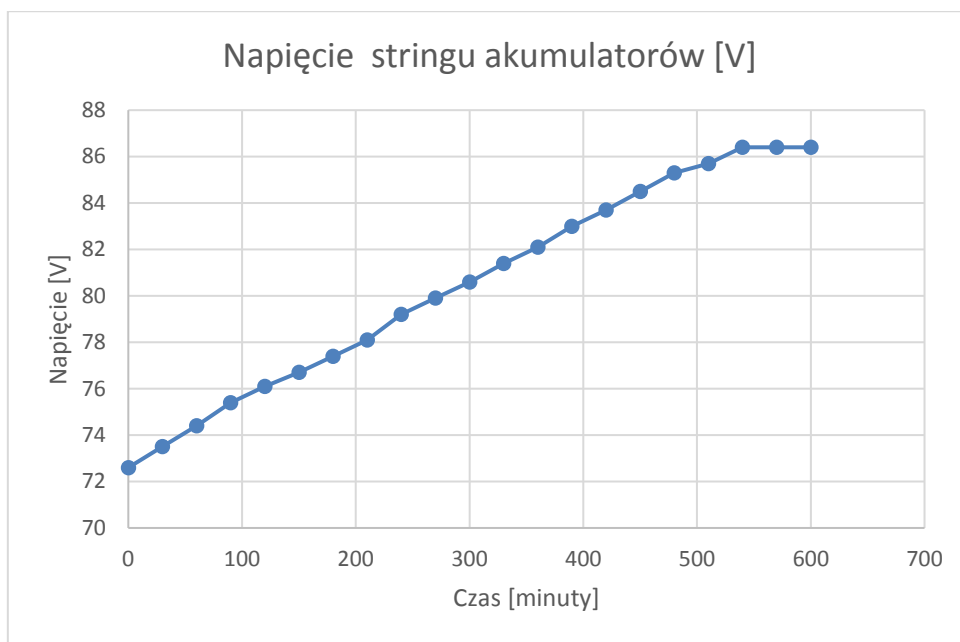
Wykres 188. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



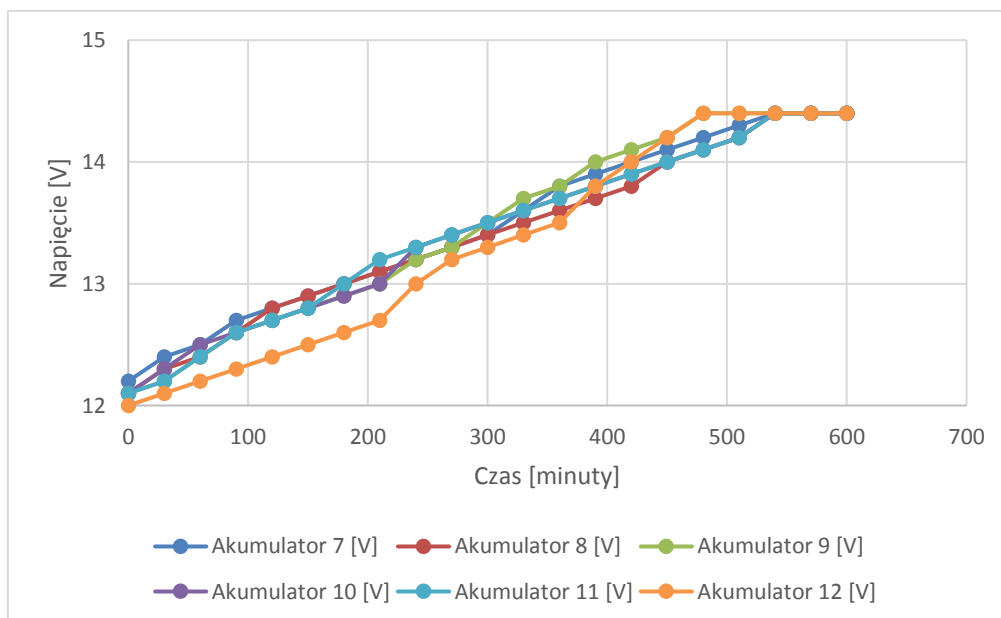
Wykres 189. Ósma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Tabela 109. Dziewiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,6	11	86,4	12,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12
30	73,5	11	86,4	12,4	12,3	12,2	12,3	12,2	12,1
60	74,4	11	86,4	12,5	12,4	12,4	12,5	12,4	12,2
90	75,4	11	86,4	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6	12,3
120	76,1	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,4
150	76,7	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,5
180	77,4	11	86,4	13	13	12,9	12,9	13	12,6
210	78,1	11	86,4	13,1	13,1	13	13	13,2	12,7
240	79,2	11	86,4	13,2	13,2	13,2	13,3	13,3	13
270	79,9	11	86,4	13,3	13,3	13,3	13,4	13,4	13,2
300	80,6	11	86,4	13,4	13,4	13,5	13,5	13,5	13,3
330	81,4	11	86,4	13,6	13,5	13,7	13,6	13,6	13,4
360	82,1	11	86,4	13,8	13,6	13,8	13,7	13,7	13,5
390	83	11	86,4	13,9	13,7	14	13,8	13,8	13,8
420	83,7	11	86,4	14	13,8	14,1	13,9	13,9	14
450	84,5	11	86,4	14,1	14	14,2	14	14	14,2
480	85,3	1	86,4	14,2	14,1	14,4	14,1	14,1	14,4
510	85,7	1	86,4	14,3	14,2	14,4	14,2	14,2	14,4
540	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
570	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



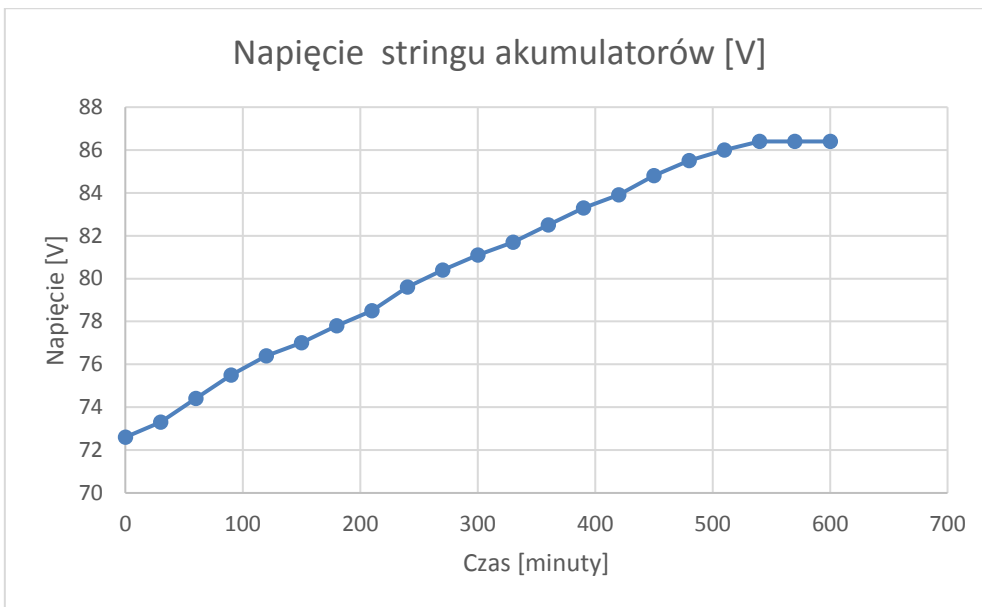
Wykres 190. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



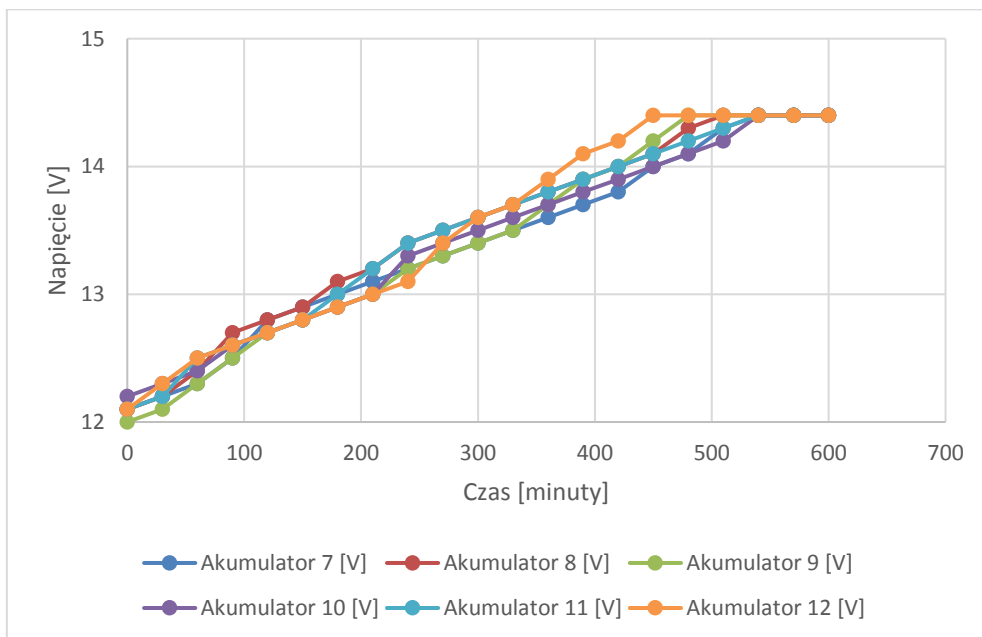
Wykres 191. Dziewiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Tabela 110. Dziesiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

Czas ładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd ładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	72,6	11	86,4	12,1	12,1	12	12,2	12,1	12,1
30	73,3	11	86,4	12,2	12,2	12,1	12,3	12,2	12,3
60	74,4	11	86,4	12,3	12,4	12,3	12,4	12,5	12,5
90	75,5	11	86,4	12,5	12,7	12,5	12,6	12,6	12,6
120	76,4	11	86,4	12,8	12,8	12,7	12,7	12,7	12,7
150	77	11	86,4	12,9	12,9	12,8	12,8	12,8	12,8
180	77,8	11	86,4	13	13,1	12,9	12,9	13	12,9
210	78,5	11	86,4	13,1	13,2	13	13	13,2	13
240	79,6	11	86,4	13,2	13,4	13,2	13,3	13,4	13,1
270	80,4	11	86,4	13,3	13,5	13,3	13,4	13,5	13,4
300	81,1	11	86,4	13,4	13,6	13,4	13,5	13,6	13,6
330	81,7	11	86,4	13,5	13,7	13,5	13,6	13,7	13,7
360	82,5	11	86,4	13,6	13,8	13,7	13,7	13,8	13,9
390	83,3	11	86,4	13,7	13,9	13,9	13,8	13,9	14,1
420	83,9	11	86,4	13,8	14	14	13,9	14	14,2
450	84,8	1	86,4	14	14,1	14,2	14	14,1	14,4
480	85,5	1	86,4	14,1	14,3	14,4	14,1	14,2	14,4
510	86	1	86,4	14,3	14,4	14,4	14,2	14,3	14,4
540	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
570	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
600	86,4	1	86,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4



Wykres 192. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS



Wykres 193. Dziesiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS

7.7 Instalacja laboratoryjna złożona z akumulatorów żelowych z zastosowaniem systemu BMS – proces rozładowania

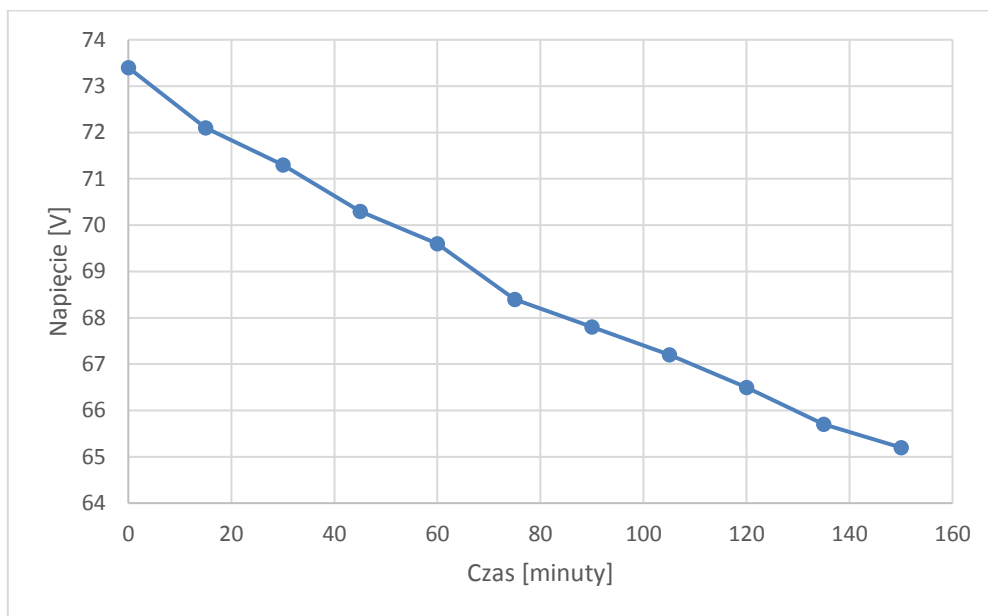
Proces rozładowania stringu akumulatorów z zastosowaniem systemu BMS rozpoczyna się od doładowania wszystkich ogniw do maksymalnego napięcia 14,4V. Maksymalne napięcie stringu akumulatorów wynosi 86,4V. Na każdym akumulatorze zostaje umieszczony odpowiedni system BMS Slave dedykowany dla tego rodzaju akumulatorów ołowiowych. Rozładowanie odbywa się prądem o wartości 30A (3-godzinnym). Jest to maksymalny prąd rozładowania dla akumulatorów żelowych, gdyż nadmierne rozładowanie może prowadzić do nieodwracalnych zmian w akumulatorach co skutkuje spadkiem pojemności i zarazem wartości użytkowej. Rozładowanie trwa do momentu osiągnięcia minimalnego napięcia rozładowania 10,8V na jakimkolwiek akumulatorze. W tym momencie system nadzoru zatrzymuje proces rozładowania. W akumulatorach o większej pojemności pozostaje część nie oddanej energii.

Uzyskanie optymalnych wyników dla akumulatorów połączonych szeregowo jest możliwe przy zastosowaniu systemu nadzoru BMS. Stały monitoring pojedynczych akumulatorów będących w stringu zapewnia bezpieczeństwo w całym procesie rozładowania. Zastosowanie systemu BMS powoduje, że akumulatory mają większą pojemność, a użytkowanie w ściśle określonych parametrach nadzorowanych przez BMS powoduje wydłużenie czasu użytkowania (trwałość akumulatorów).

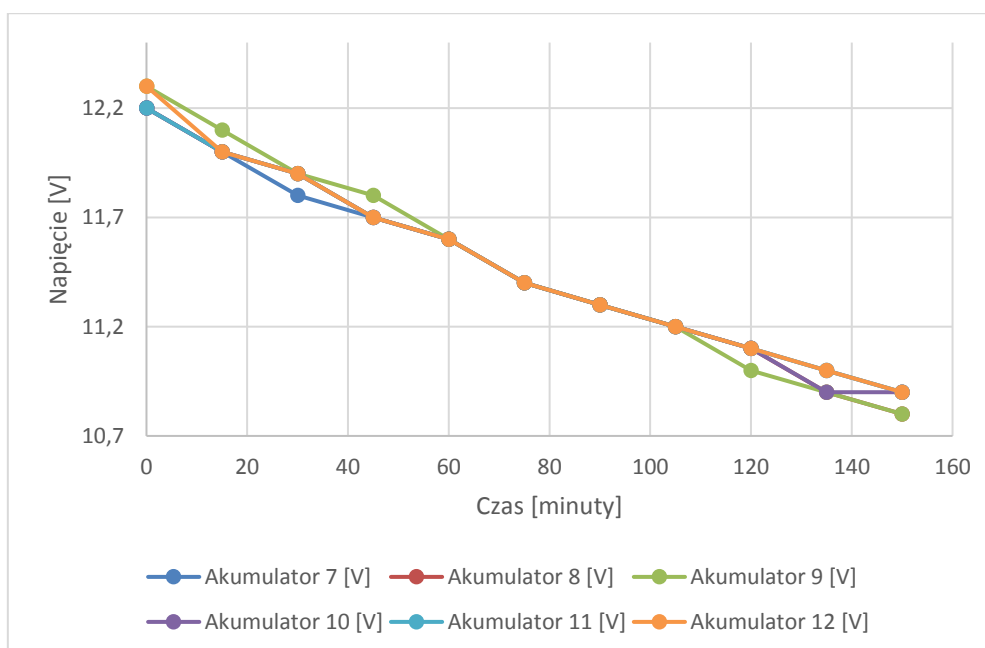
W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano wiedzę na temat stanu pojemności akumulatorów, który z nich zachował największą pojemność. Serie rozładowania oraz ponownego doładowania przeprowadzono dziesięciokrotnie. Otrzymane pomiary zostały umieszczone w dokumencie w postaci tabeli (od tabela 111 do tabela 120) i wykresów (wykres 194-213). Dla przykładu akumulator, który dysponuje największą pojemnością, to akumulator nr 7 (tabela 112). Natomiast akumulator nr 12 o najmniejszej pojemności najszybciej się rozładowuje, widoczne w tabeli 112.

Tabela 111. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,4	30	86,4	12,2	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3
15	72,1	30	86,4	12	12	12,1	12	12	12
30	71,3	30	86,4	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
45	70,3	30	86,4	11,7	11,7	11,8	11,7	11,7	11,7
60	69,6	30	86,4	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
75	68,4	30	86,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
90	67,8	30	86,4	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
105	67,2	30	86,4	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
120	66,5	30	86,4	11,1	11,1	11	11,1	11,1	11,1
135	65,7	30	86,4	11	10,9	10,9	10,9	11	11
150	65,2	30	86,4	10,9	10,8	10,8	10,9	10,9	10,9



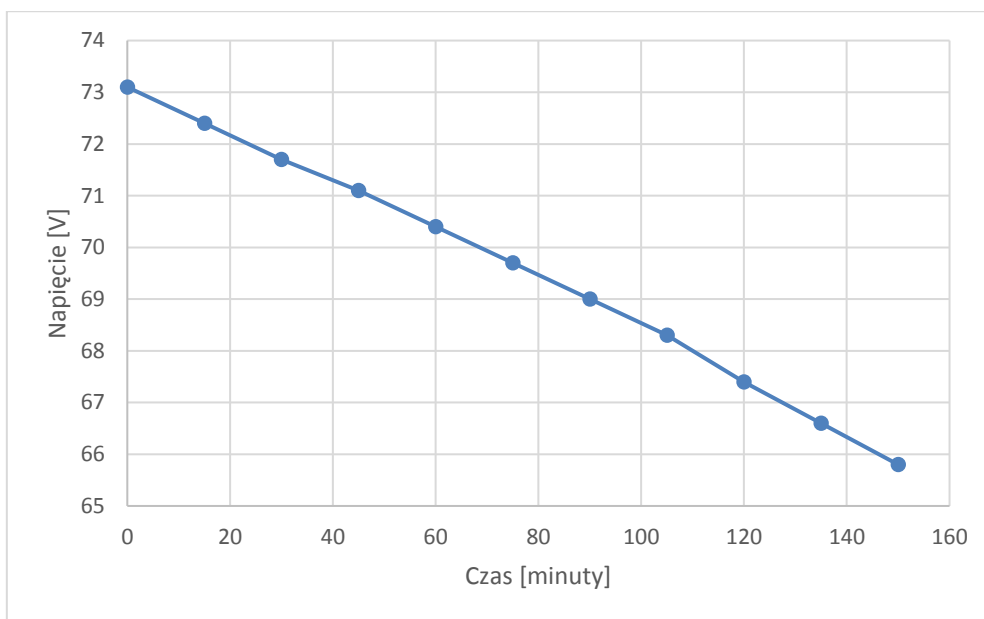
Wykres 194. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – pierwsza seria



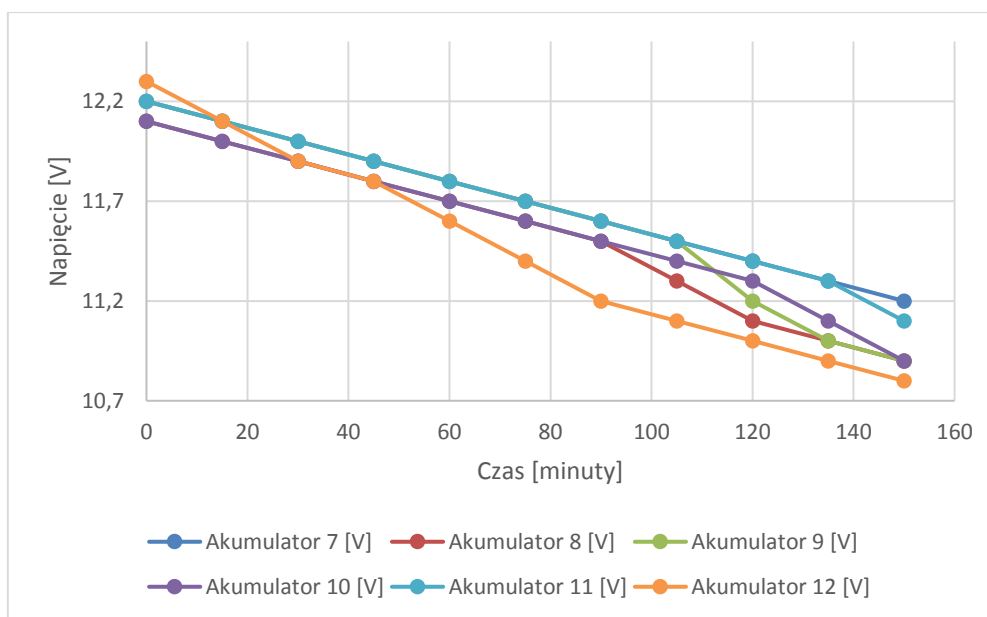
Wykres 195. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Tabela 112. Druga seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,1	30	86,4	12,2	12,1	12,2	12,1	12,2	12,3
15	72,4	30	86,4	12,1	12	12,1	12	12,1	12,1
30	71,7	30	86,4	12	11,9	12	11,9	12	11,9
45	71,1	30	86,4	11,9	11,8	11,9	11,8	11,9	11,8
60	70,4	30	86,4	11,8	11,7	11,8	11,7	11,8	11,6
75	69,7	30	86,4	11,7	11,6	11,7	11,6	11,7	11,4
90	69	30	86,4	11,6	11,5	11,6	11,5	11,6	11,2
105	68,3	30	86,4	11,5	11,3	11,5	11,4	11,5	11,1
120	67,4	30	86,4	11,4	11,1	11,2	11,3	11,4	11
135	66,6	30	86,4	11,3	11	11	11,1	11,3	10,9
150	65,8	30	86,4	11,2	10,9	10,9	10,9	11,1	10,8



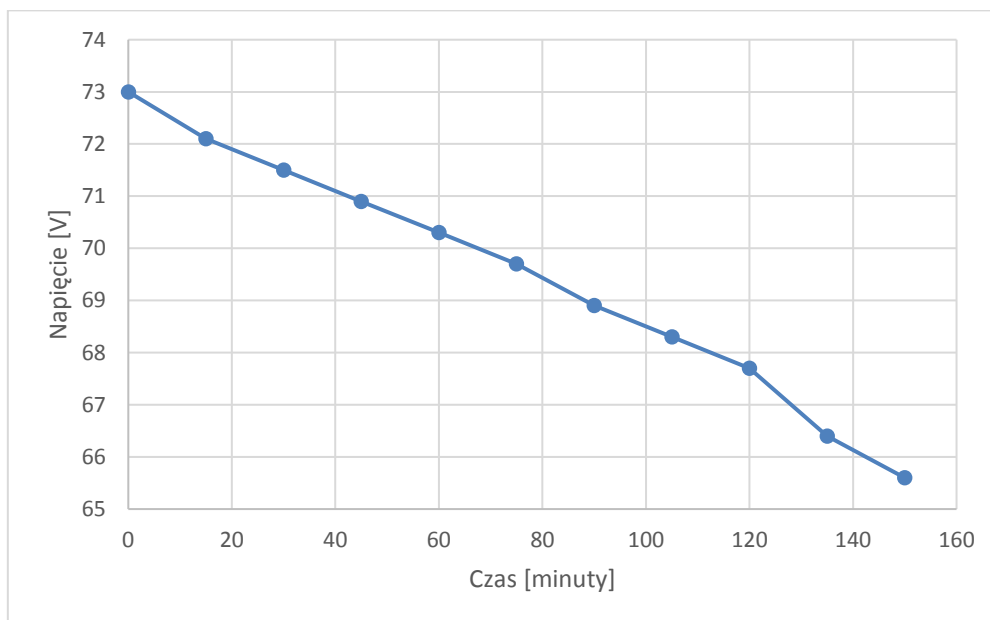
Wykres 196. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – druga seria

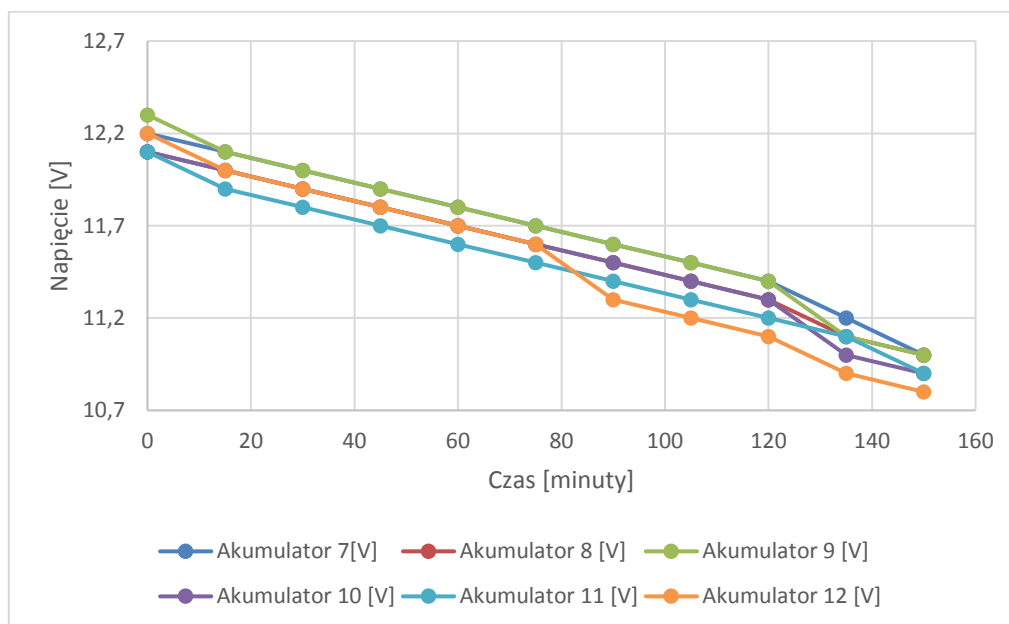


Wykres 197. Druga seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Tabela 113. Trzecia seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73	30	86,4	12,2	12,1	12,3	12,1	12,1	12,2
15	72,1	30	86,4	12,1	12	12,1	12	11,9	12
30	71,5	30	86,4	12	11,9	12	11,9	11,8	11,9
45	70,9	30	86,4	11,9	11,8	11,9	11,8	11,7	11,8
60	70,3	30	86,4	11,8	11,7	11,8	11,7	11,6	11,7
75	69,7	30	86,4	11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,6
90	68,9	30	86,4	11,6	11,5	11,6	11,5	11,4	11,3
105	68,3	30	86,4	11,5	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2
120	67,7	30	86,4	11,4	11,3	11,4	11,3	11,2	11,1
135	66,4	30	86,4	11,2	11,1	11,1	11	11,1	10,9
150	65,6	30	86,4	11	11	11	10,9	10,9	10,8

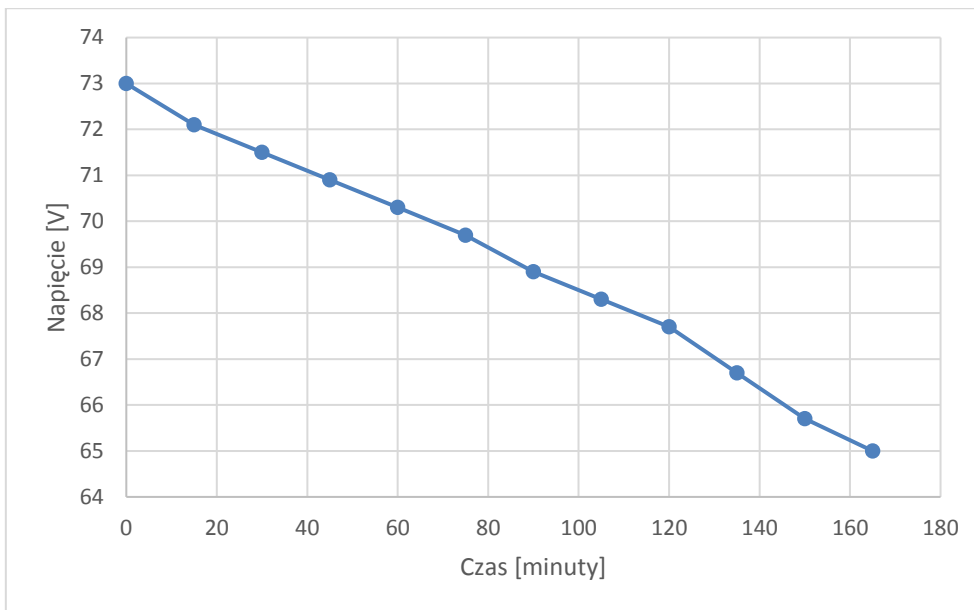

Wykres 198. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – trzecia seria



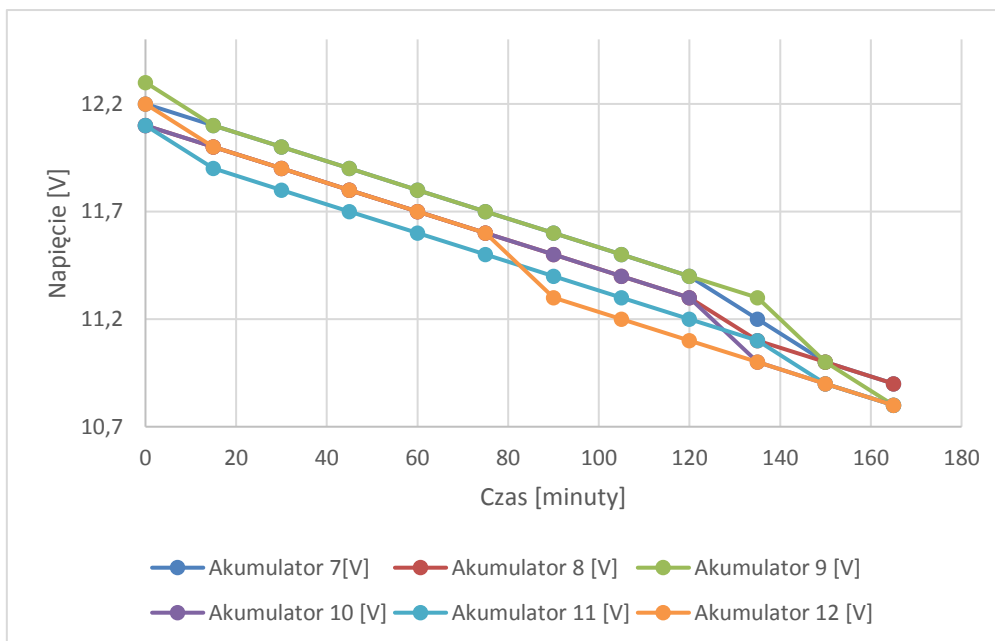
Wykres 199. Trzecia seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Tabela 114. Czwarta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73	30	86,4	12,2	12,1	12,3	12,1	12,1	12,2
15	72,1	30	86,4	12,1	12	12,1	12	11,9	12
30	71,5	30	86,4	12	11,9	12	11,9	11,8	11,9
45	70,9	30	86,4	11,9	11,8	11,9	11,8	11,7	11,8
60	70,3	30	86,4	11,8	11,7	11,8	11,7	11,6	11,7
75	69,7	30	86,4	11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,6
90	68,9	30	86,4	11,6	11,5	11,6	11,5	11,4	11,3
105	68,3	30	86,4	11,5	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2
120	67,7	30	86,4	11,4	11,3	11,4	11,3	11,2	11,1
135	66,7	30	86,4	11,2	11,1	11,3	11	11,1	11
150	65,7	30	86,4	11	11	11	10,9	10,9	10,9
165	65	30	86,4	10,9	10,9	10,8	10,8	10,8	10,8



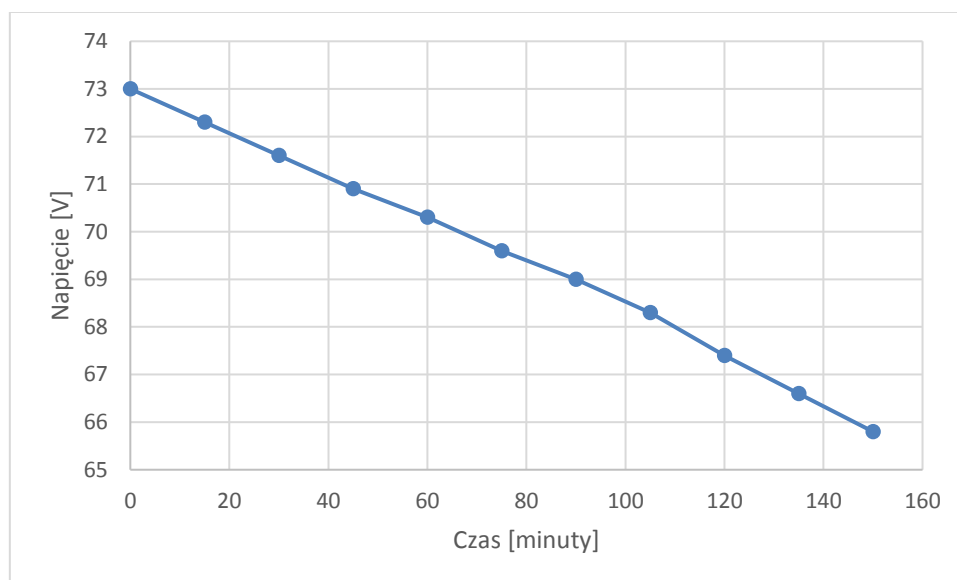
Wykres 200. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – czwarta seria

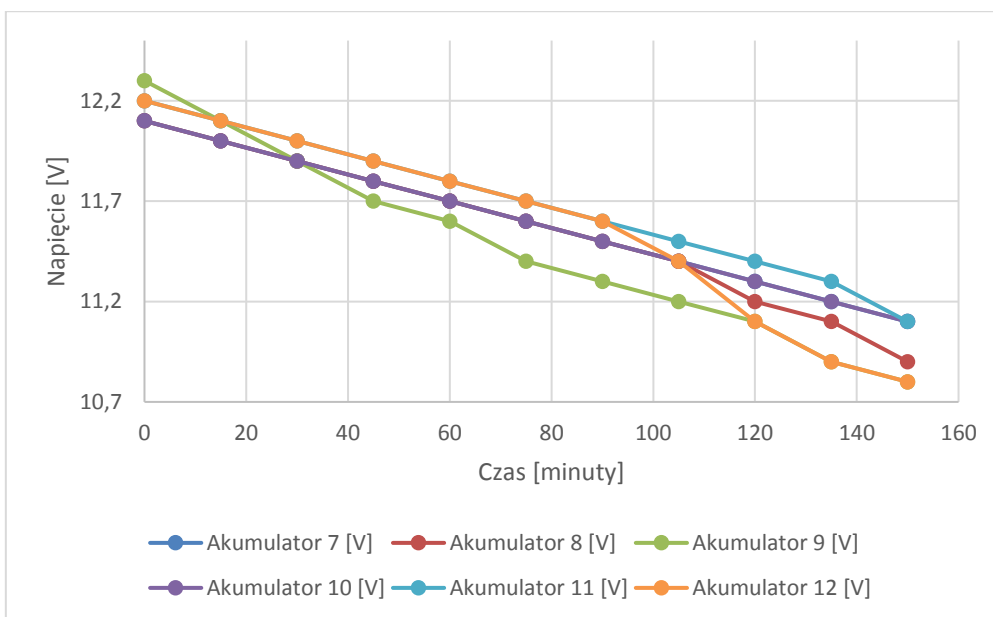


Wykres 201. Czwarta seria rozładowania akumulatorów ołowionych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Tabela 115. Piąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73	30	86,4	12,1	12,1	12,3	12,1	12,2	12,2
15	72,3	30	86,4	12	12	12,1	12	12,1	12,1
30	71,6	30	86,4	11,9	11,9	11,9	11,9	12	12
45	70,9	30	86,4	11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,9
60	70,3	30	86,4	11,7	11,7	11,6	11,7	11,8	11,8
75	69,6	30	86,4	11,6	11,6	11,4	11,6	11,7	11,7
90	69	30	86,4	11,5	11,5	11,3	11,5	11,6	11,6
105	68,3	30	86,4	11,4	11,4	11,2	11,4	11,5	11,4
120	67,4	30	86,4	11,3	11,2	11,1	11,3	11,4	11,1
135	66,6	30	86,4	11,2	11,1	10,9	11,2	11,3	10,9
150	65,8	30	86,4	11,1	10,9	10,8	11,1	11,1	10,8

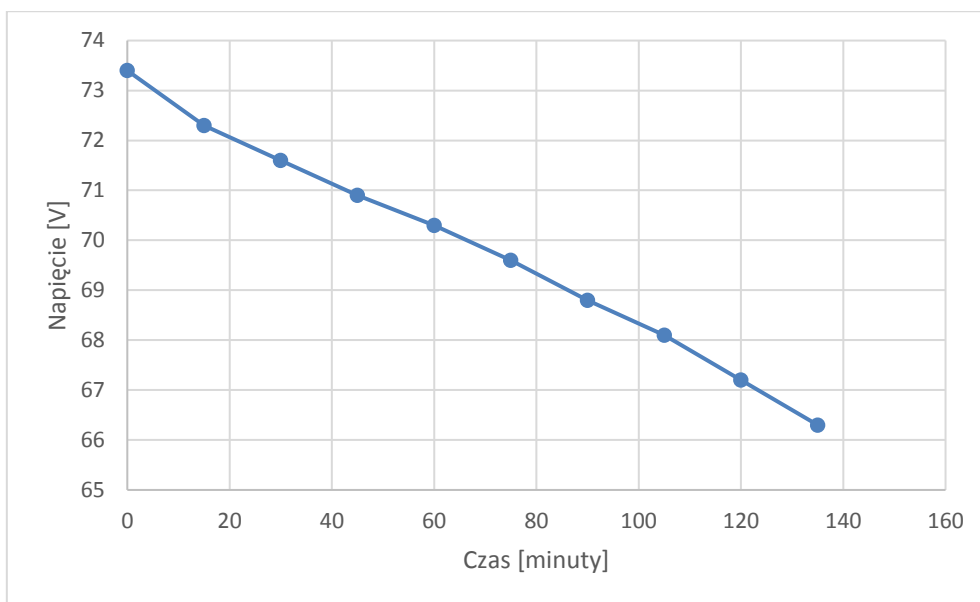

Wykres 202. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – piąta seria



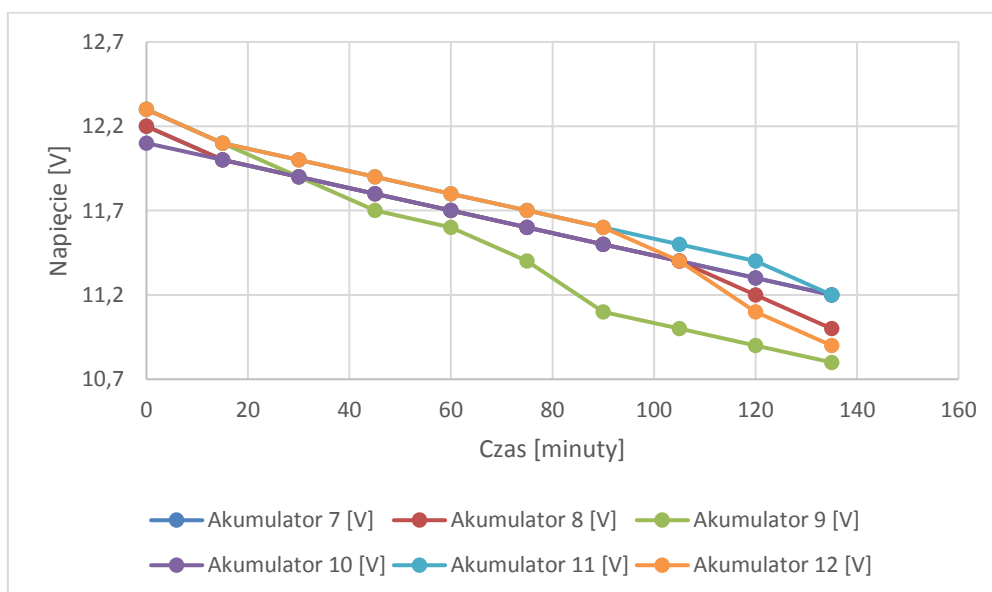
Wykres 203. Piąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Tabela 116. Szósta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,4	30	86,4	12,2	12,2	12,3	12,1	12,3	12,3
15	72,3	30	86,4	12	12	12,1	12	12,1	12,1
30	71,6	30	86,4	11,9	11,9	11,9	11,9	12	12
45	70,9	30	86,4	11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,9
60	70,3	30	86,4	11,7	11,7	11,6	11,7	11,8	11,8
75	69,6	30	86,4	11,6	11,6	11,4	11,6	11,7	11,7
90	68,8	30	86,4	11,5	11,5	11,1	11,5	11,6	11,6
105	68,1	30	86,4	11,4	11,4	11	11,4	11,5	11,4
120	67,2	30	86,4	11,3	11,2	10,9	11,3	11,4	11,1
135	66,3	30	86,4	11,2	11	10,8	11,2	11,2	10,9



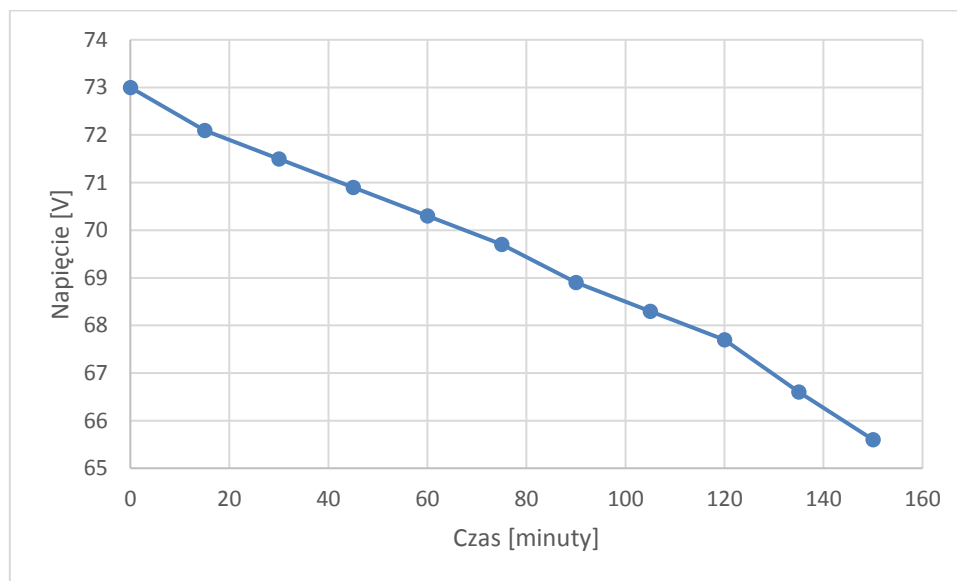
Wykres 204. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – szоста seria

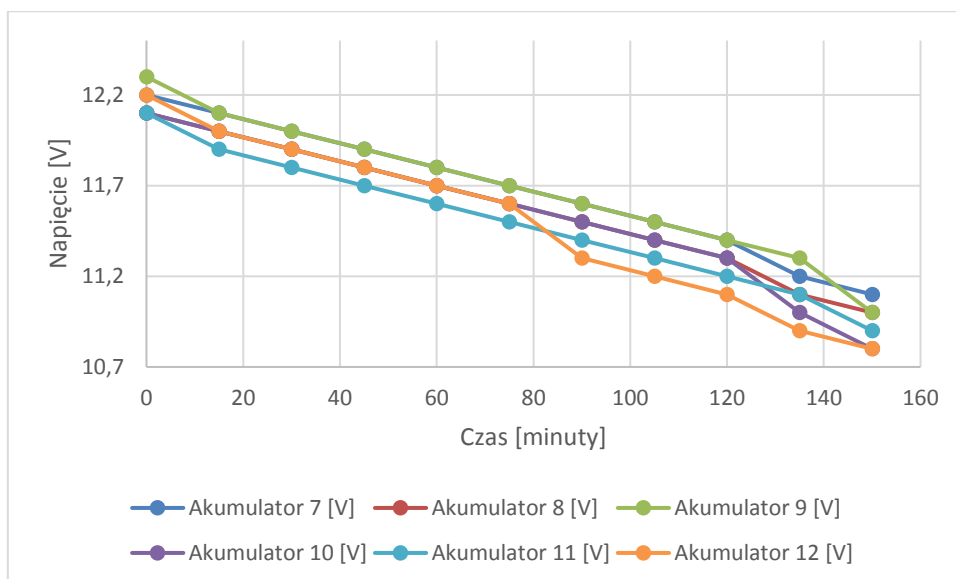


Wykres 205. Szosta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Tabela 117. Siódma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73	30	86,4	12,2	12,1	12,3	12,1	12,1	12,2
15	72,1	30	86,4	12,1	12	12,1	12	11,9	12
30	71,5	30	86,4	12	11,9	12	11,9	11,8	11,9
45	70,9	30	86,4	11,9	11,8	11,9	11,8	11,7	11,8
60	70,3	30	86,4	11,8	11,7	11,8	11,7	11,6	11,7
75	69,7	30	86,4	11,7	11,6	11,7	11,6	11,5	11,6
90	68,9	30	86,4	11,6	11,5	11,6	11,5	11,4	11,3
105	68,3	30	86,4	11,5	11,4	11,5	11,4	11,3	11,2
120	67,7	30	86,4	11,4	11,3	11,4	11,3	11,2	11,1
135	66,6	30	86,4	11,2	11,1	11,3	11	11,1	10,9
150	65,6	30	86,4	11,1	11	11	10,8	10,9	10,8

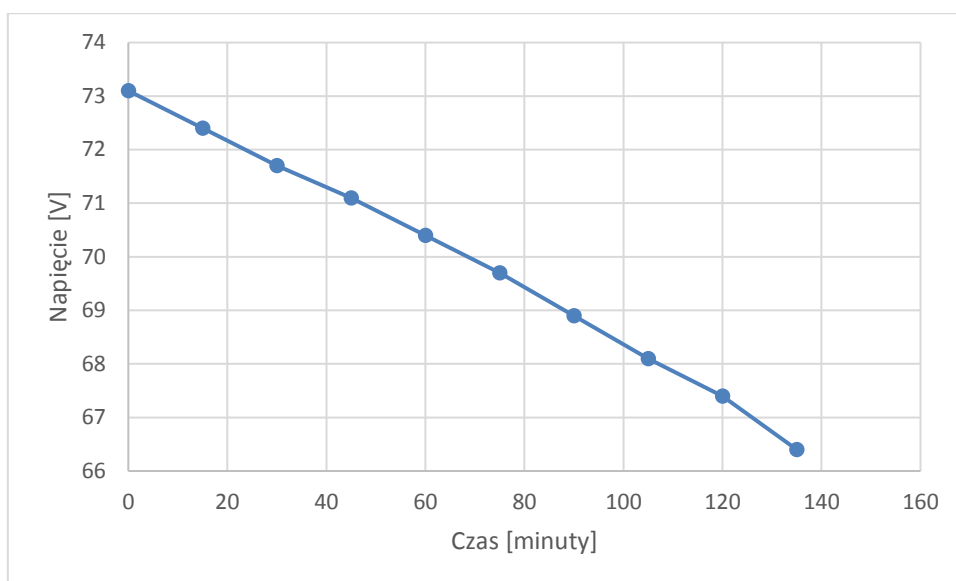

Wykres 206. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – siódma seria



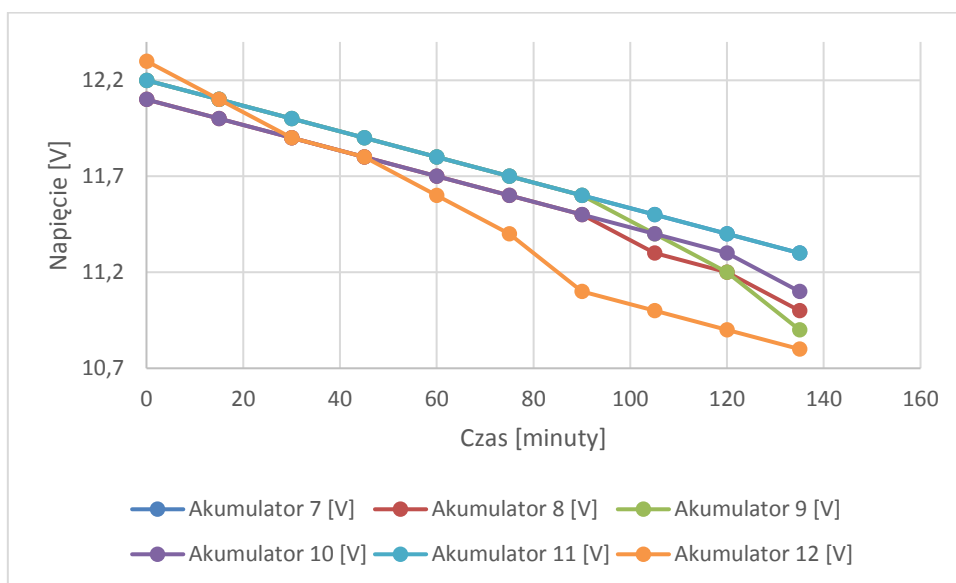
Wykres 207. Siódma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Tabela 118. Ósma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,1	30	86,4	12,2	12,1	12,2	12,1	12,2	12,3
15	72,4	30	86,4	12,1	12	12,1	12	12,1	12,1
30	71,7	30	86,4	12	11,9	12	11,9	12	11,9
45	71,1	30	86,4	11,9	11,8	11,9	11,8	11,9	11,8
60	70,4	30	86,4	11,8	11,7	11,8	11,7	11,8	11,6
75	69,7	30	86,4	11,7	11,6	11,7	11,6	11,7	11,4
90	68,9	30	86,4	11,6	11,5	11,6	11,5	11,6	11,1
105	68,1	30	86,4	11,5	11,3	11,4	11,4	11,5	11
120	67,4	30	86,4	11,4	11,2	11,2	11,3	11,4	10,9
135	66,4	30	86,4	11,3	11	10,9	11,1	11,3	10,8



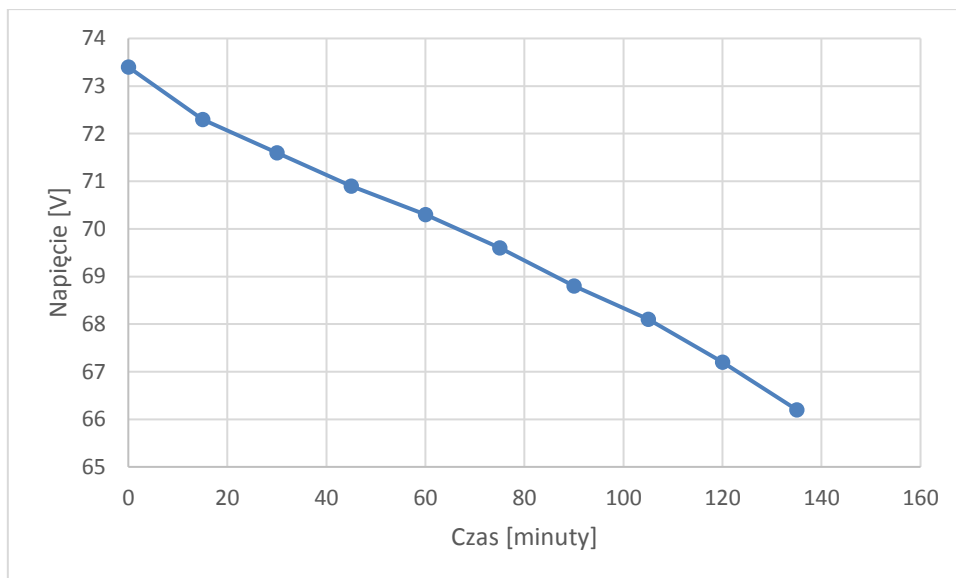
Wykres 208. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – ósma seria



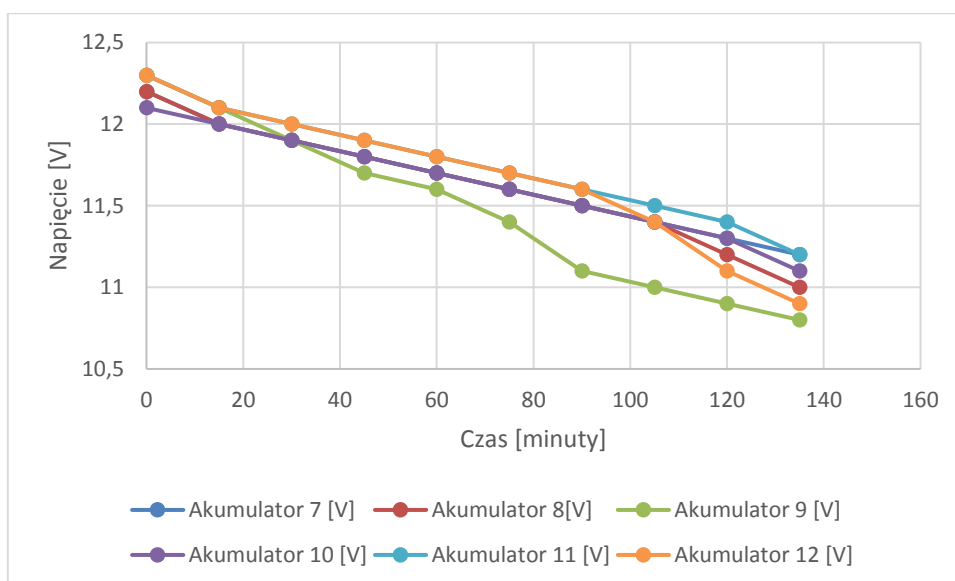
Wykres 209. Ósma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Tabela 119. Dziewiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,4	30	86,4	12,2	12,2	12,3	12,1	12,3	12,3
15	72,3	30	86,4	12	12	12,1	12	12,1	12,1
30	71,6	30	86,4	11,9	11,9	11,9	11,9	12	12
45	70,9	30	86,4	11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,9
60	70,3	30	86,4	11,7	11,7	11,6	11,7	11,8	11,8
75	69,6	30	86,4	11,6	11,6	11,4	11,6	11,7	11,7
90	68,8	30	86,4	11,5	11,5	11,1	11,5	11,6	11,6
105	68,1	30	86,4	11,4	11,4	11	11,4	11,5	11,4
120	67,2	30	86,4	11,3	11,2	10,9	11,3	11,4	11,1
135	66,2	30	86,4	11,2	11	10,8	11,1	11,2	10,9



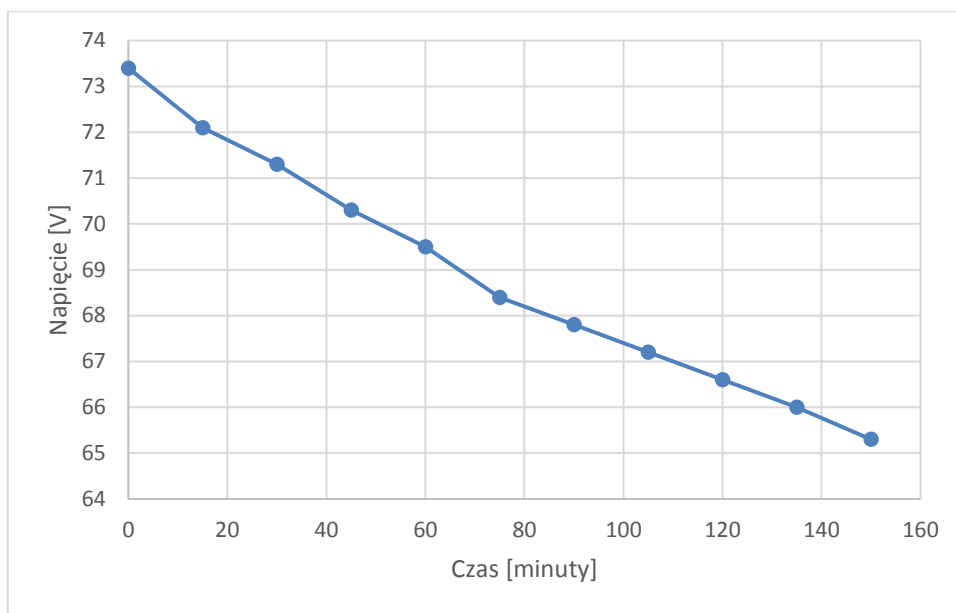
Wykres 210. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – dziewiąta seria



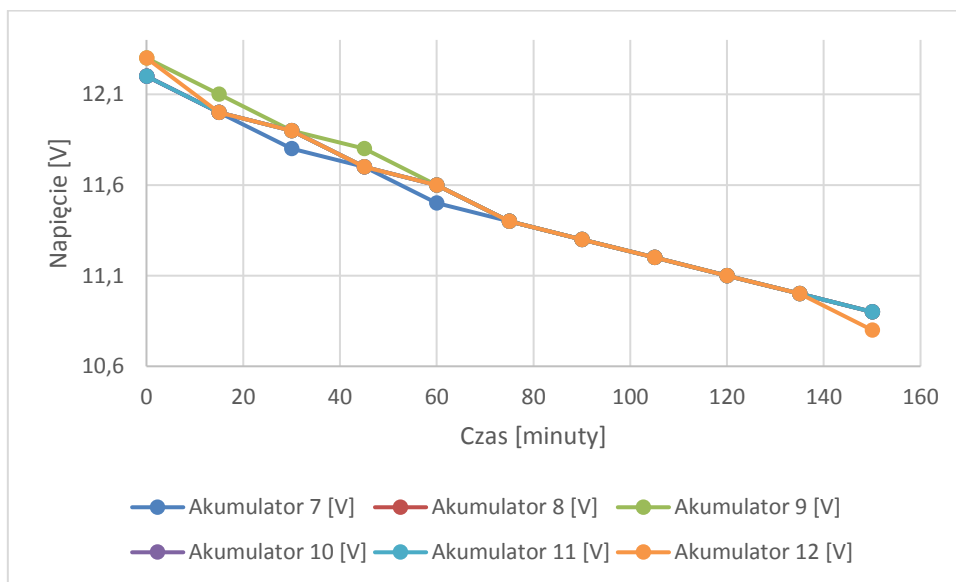
Wykres 211. Dziesiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Tabela 120. Dziesiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

Czas rozładowania [minuty]	Napięcie stringu akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	Maksymalne napięcie stringu akumulatorów [V]	Akumulator 7 [V]	Akumulator 8 [V]	Akumulator 9 [V]	Akumulator 10 [V]	Akumulator 11 [V]	Akumulator 12 [V]
0	73,4	30	86,4	12,2	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3
15	72,1	30	86,4	12	12	12,1	12	12	12
30	71,3	30	86,4	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
45	70,3	30	86,4	11,7	11,7	11,8	11,7	11,7	11,7
60	69,5	30	86,4	11,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
75	68,4	30	86,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4
90	67,8	30	86,4	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3
105	67,2	30	86,4	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
120	66,6	30	86,4	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
135	66	30	86,4	11	11	11	11	11	11
150	65,3	30	86,4	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,8



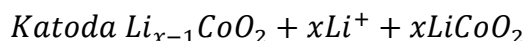
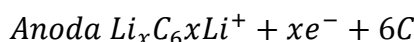
Wykres 212. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – dziesiąta seria



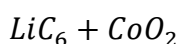
Wykres 213. Dziesiąta seria rozładowania akumulatorów ołowionych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS

8 Ogniwa litowo-jonowe

Wybór ogniw litowych jest bardzo obszerny, jednak należy pamiętać, że wszystkie akumulatory litowe są bardzo wrażliwe zarówno na przeładowanie jak i nadmierne rozładowanie. W obu przypadkach ogniwo ulega trwałemu uszkodzeniu, a przeładowanie może nawet grozić pożarem. W ogniwach litowo-jonowych podstawą magazynowania energii jest ruch dodatnich jonów litu między anodą i katodą w przewodzącym elektrolicie, co związane jest z przemianami chemicznymi. Zasada działania ogniw litowo-jonowych polega na migracji jonów Li^+ przez elektrolit pomiędzy dwoma elektrodami anodą i katodą, w trakcie odwracalnych procesów ładowania oraz wyładowania. Elektrody rozdzielone są separatorem nasyconym roztworem soli i litu. Jako elektrolit można stosować zarówno cieś, żel czy stały przewodzący polimer. Większość ogniw litowo-jonowych zawiera ciekły elektrolit z rozpuszczoną solą litu jak $LiPF_6$, $LiBF_4$. Rozpuszczalnikiem jest najczęściej mieszanina organicznych węglanów. Ponadto stosuje się dodatki zwiększające stabilność granicy faz elektroda/elektrolit. Proces interkalacji przedstawiono na przykładzie pierwszego ogniwa.



Reakcja ogniwa:



Ogniwa litowo-jonowe zostały zbudowane z anody grafitowej litowanego tlenku metalu, jako katody (w tym wypadku jest to katoda kobaltowa $LiCoO_2$) oraz separatora zapobiegającego bezpośredniemu kontaktowi elektrod. W ogólnym zarysie proces polega na migracji oraz dyfuzji jonów w elektrolicie i warstwie SEI (Solid Electrolyte Interphase), reakcji przejścia (w przypadku elektrody grafitowej jony litu są lokowane między warstwami materiału) i dyfuzji jonów litu w strukturze ciała stałego.

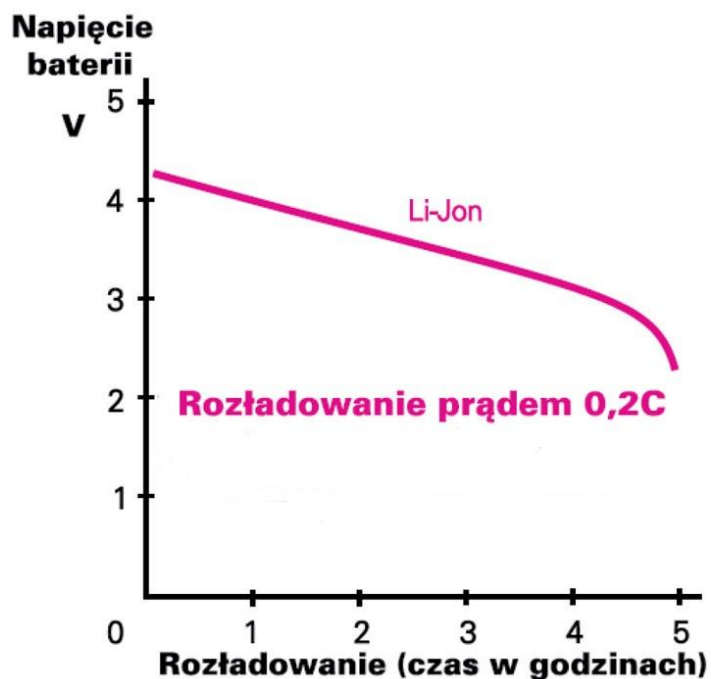
Algorytm ładowania dla akumulatorów litowo-jonowych możemy podzielić na trzy podstawowe fazy. W pierwszej fazie odbywa się ładowanie wstępne, przeznaczone głównie dla ogniw w stanie głębokiego rozładowania tzn., kiedy napięcie jest niższe od 2,8V. W takiej sytuacji wskazane jest ładowanie prądem nie większym niż 0,1C i w ograniczonym czasie.

W fazie drugiej dostarczany jest prąd, którego wartość wynosi około $1C$, takie ładowanie określane jest jako szybkie. Jednak, aby ograniczyć straty mocy oraz ilości generowanego ciepła w niektórych ładowarkach liniowych używane są stosowne mechanizmy. Ich działanie bazuje na stopniowym zwiększaniu prądu wraz ze wzrostem napięcia akumulatora. Między ogniwnem a zasilaczem iloczyn prądu i różnicy napięć utrzymuje się na względnie stałym poziomie.

W ostatniej fazie do ogniwa dostarczane jest stałe napięcie. Parametr ten powinien być szacowany z dużą dokładnością (powyżej 1%), ponieważ dla pojemności akumulatora ma to krytyczne znaczenie. Na tym etapie jest mierzony prąd wpływający do ogniwa, a wskazanie to wyznacza moment zakończenia procesu ładowania. Koniec ładowania jest określony poprzez osiągnięcie założonej wartości prądu (aż prąd spadnie do zera).

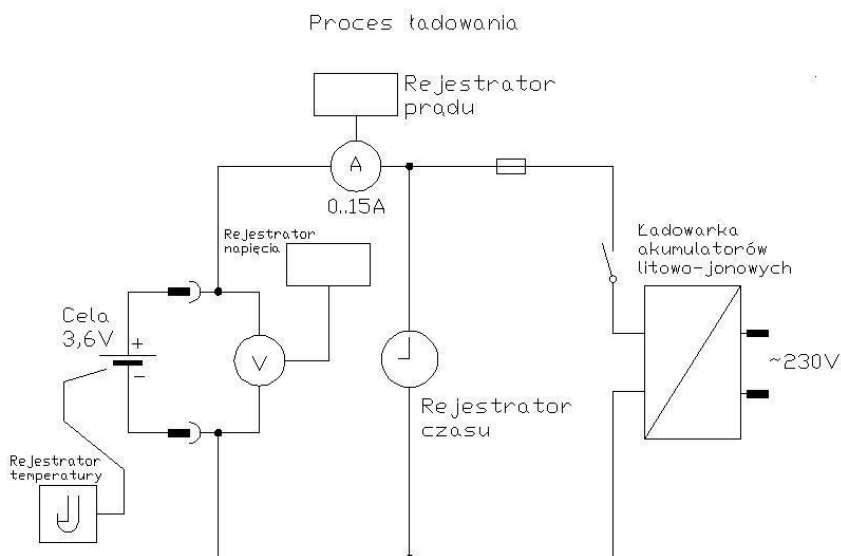
Zasadniczym warunkiem bezpiecznego ładowania jest zachowanie granicy dopuszczalnego napięcia oraz prądu ładowania. Wszelkie akumulatory litowe należy ładować na wstępie stałym prądem wynoszącym zwykle $0,2C...3C$, tylko w niektórych dopuszczalny jest prąd ładowania $0,5C...1C$. Gdy napięcie wzrośnie do wyznaczonej wartości, ładowarka powinna utrzymywać te wartości napięcia, a prąd będzie samoczynnie spadał do wartości 0. Ogniwa litowo-jonowe o napięciu nominalnym $3,7V$ generują napięcie ładowania równe $4,20V \pm 50mV$. Jest to najbardziej znany tryb ładowania ogniw litowo-jonowych, zwany metodą CC-CV. W dalszej części przedstawiony został schemat ładowania dla pojedynczego ogniwa.

Napięcie ogniw litowo-jonowych jest proporcjonalne do zgromadzonego ładunku, co pozwala łatwo i precyzyjnie określić aktualny stan akumulatora, a także określić początek i koniec cyklu ładowania. Wykres 214 pokazuje zależność napięcia od czasu rozładowania (prądem o niezmienniej wartości). Podobna zależność obowiązuje przy ładowaniu.



Wykres 214. Zależność napięcia od czasu rozładowania w ogniwach litowo-jonowych

Całkowitemu rozładowaniu akumulatorów litowo-jonowych zapobiega zastosowanie systemu kontroli BMS na ogniwach. Przy ładowaniu akumulatorów li-ion trzeba zachować precyzyjnie warunki podane przez producenta np. końcowe napięcie na w pełni naładowanym ogniwie powinno wynosić dokładnie 4,1V. Nawet niewielkie przeładowanie o 10 czy 15% może mieć fatalne następstwa tj. utrata pojemności, rozszczelnienie a nawet wybuch. Akumulator li-ion zbudowany z większej ilości ogniw połączonych w szereg musi być wyposażony w obwody monitorujące napięcie każdego ogniwa, pozwalające na indywidualną kontrolę w tym przepuszczenie prądu „obok” naładowanego ogniwa. Do ładowania akumulatorów li-ion stosuje się polecane, fabryczne ładowarki, mające parametry dostosowane do danego typu akumulatora.



Rysunek 21. Schemat ładowania dla pojedynczego ogniwa litowo-jonowego

8.1 Prace badawczo-pomiarowe

Badane zespoły zasilające zbudowane są z 4 pakietów ogniw (akumulatorów) o napięciu 3,7V na każdym ogniwie, połączonych szeregowo o pojemności minimum 25Ah. Jedna cela li-ion składa się z 4 ogniw połączonych szeregowo. Bank akumulatorów zbudowany jest z 20 takich cel, czyli 80 sztuk ogniw o napięciu 3,7V oraz pojemności minimum 25 Ah.

Pierwszy etap prac badawczo-pomiarowych dla ogniw litowo-jonowych rozpoczęto od wykonania rozruchowych cykli ładowania-rozładowania. Ładowanie odbywało się prądem nie przekraczającym wartości 0,1C do uzyskania maksymalnego napięcia ładowania, czyli 4,1 V na każdym ogniwie. Następnie rozpoczęto proces rozładowania pojedynczych ogniw do wartości minimalnego napięcia, czyli 2,8 V. Wartość prądu rozładowania nie przekroczyła 0,1C. Cykle ładowania-rozładowania w etapie początkowym są przeprowadzone niskim prądem ze względu na łagodne procesy chemiczne zachodzące w akumulatorach oraz w celu polepszenia trwałości akumulatorów. Cykle należy powtórzyć pięć razy, a w końcowym cyklu należy pozostawić ogniwa w stanie naładowania. Na etapie wykonania cykli rozruchowych pomiary są sterowane oraz rejestrowane za pomocą ładowarki ICharger, wchodzącej w skład wyposażenia stanowiska. Należy pamiętać, że wszystkie badania pomiarowe na ogniwach li-ion odbywają się z zastosowaniem

systemu nadzoru BMS, który kontroluje stan napięcia na każdym ogniwie, zmniejszając ryzyko uszkodzenia czy zniszczenia.

Wykonywanie cykli ładowanie-rozładowanie ogniw połączonych w jedną instalację laboratoryjną przeznaczoną do pojazdu elektrycznego ma na celu dobranie odpowiedniego typu połączeń między celami oraz zachowanie i parametry utrzymywane przez cele pracujące w połączeniu szeregowym. Pomiar polega na zbudowaniu układu pomiarowego zgodnie ze schematem na rysunku 16.

8.2 Łączenie instalacji laboratoryjnej składającej się z ogniw li-ion

Pakiety litowo-jonowe należy łączyć wyłącznie z ogniw rozładowanych. W przypadku zwarcia pakietu rozładowanego prąd będzie dużo mniejszy, a mała energia nie sprawi dużych szkód. Instalacja laboratoryjna składa się z 80 ogniw o napięciu 3,7V oraz pojemności min. 25Ah każdy. Cztery ogniwa łączy się w pojedynczą celę tzn. cała instalacja li-ion będzie zbudowana z 20 takich cel.

Ogniwa łączymy ze sobą szeregowo w celu uzyskania większego napięcia, natomiast pojemność pozostaje niezmienną. W przypadku takiego łączenia należy spełnić liczne wymagania jakościowe. Ważne jest, aby parametry stosowanych ogniw były zgodne (tzn. taka sama pojemność, zbliżona rezystancja wewnętrzna, taka sama marka i typ, podobny stopień zużycia, z jednej serii produkcyjnej). W pełni naładowany pakiet składający się z 20 ogniw doładowanych do napięcia 4,2V, osiągnie napięcie 84V.

Badania pod kątem sposobu łączenia ogniw litowo-jonowych w pakiet ogniw można wykonać na dwa sposoby:

- połączenie śrubowe,
- zaciski sprężyste.

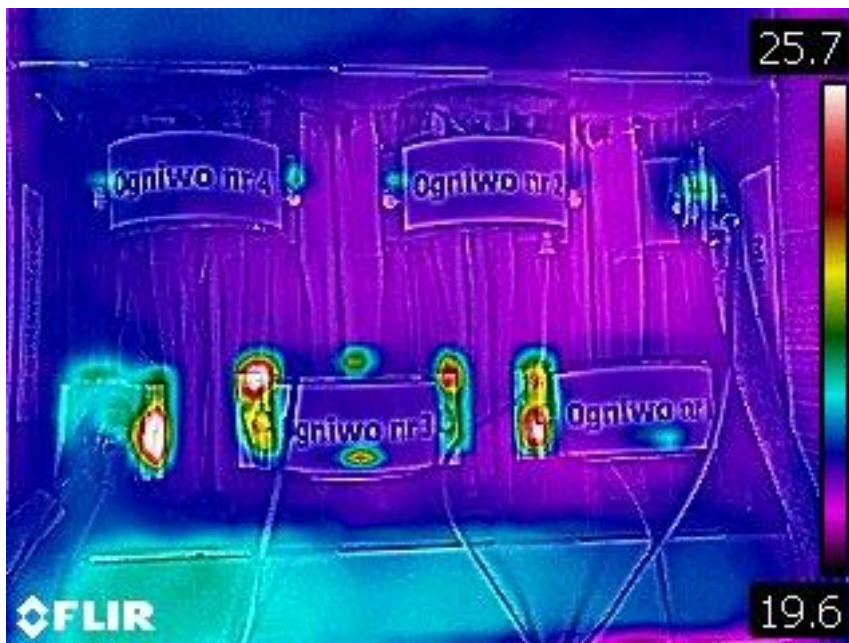
Połączenia zostaną odpowiednio udokumentowane (zdjęcia, charakterystyki). W celu lepszej oceny dodane zostaną również zdjęcia wykonane kamerą termowizyjną, potwierdzające najbardziej optymalne połączenie.

8.2.1 Połączenia śrubowe

Optymalnym połączeniem ogniw litowo-jonowych jest model połączenia śrubowego z dwustronnymi obejmami (zdjęcie 27), który powoduje przyleganie całej powierzchni konektora akumulatora. Dzięki czemu zostaje zmniejszona rezystancja wewnętrzna złącza do minimum i nie generuje wzrostu temperatury na elementach łączeniowych (zdjęcie 28).



Zdjęcie 27. Połączenie ogniw litowo-jonowych poprzez zaciski śrubowe



Zdjęcie 28. Połączenie śrubowe ogniw litowo-jonowych, zdjęcie wykonane kamerą termowizyjną

8.2.2 Zaciski sprężyste

Kolejne połączenie ogniw litowo-jonowych w instalację laboratoryjną jest możliwe przy wykorzystaniu zacisków sprężystych. Testów połączenia nie wykonujemy z uwagi na próby tego łączenia na akumulatorach ołowiowych. Zgodnie z nimi zaciski sprężyste uznano za nie odpowiednie, przede wszystkim



z uwagi na małą powierzchnię styku, która powoduje zwiększenie temperatury w miejscu styku. Ponadto wymiary zacisków sprężystych są spore, co również utrudnia procesy ładowania/rozładowania całej instalacji złożonej z ogniw li-ion.

8.3 Proces ładowania cel litowo-jonowych

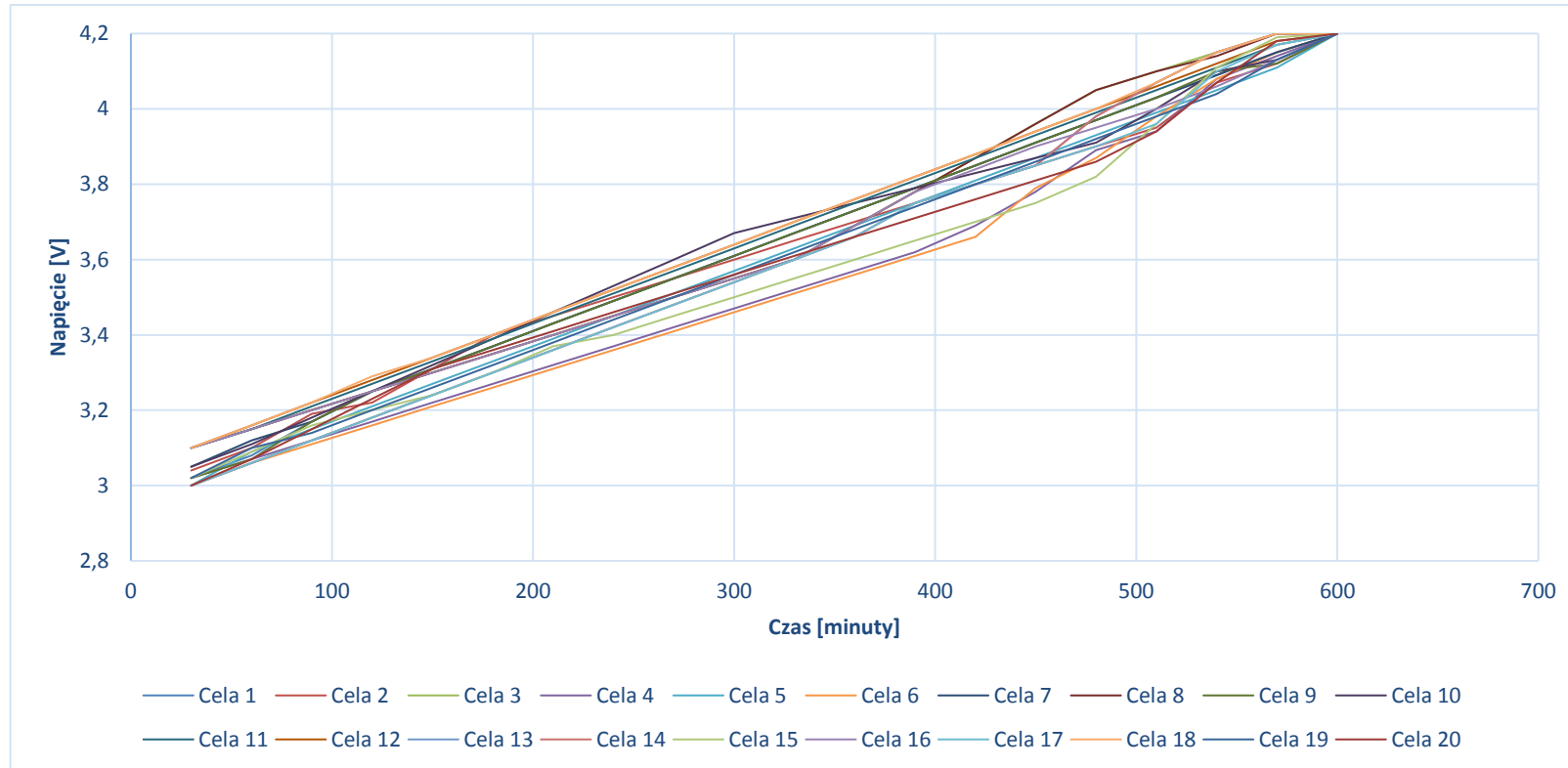
Kolejny etap prac badawczo-rozwojowych z zastosowaniem ogniw litowo-jonowych polega na dziesięciokrotnym cyklu rozładowania-ładowania każdego pojedynczej celi wchodzącego w skład instalacji laboratoryjnej. Ładowanie odbywa się za pomocą dostępnej aparatury badawczej: ładowarka ICharger. Przed rozpoczęciem badań została przeprowadzona kontrola napięcia pojedynczych ogniw. Następnie wszystkie ogniwa należy wyrównać do jednakowego poziomu maksymalnego napięcia, czyli 4,20 V. Ładowanie odbywa się prądem 10 A. Każdy proces ładowania-rozładowania na ogniwach litowo-jonowych wymaga użycia systemu nadzoru BMS. W badaniach zastosowano ogólnodostępny BMS, umożliwiający balansowanie ogniw. Osiągnięcie maksymalnego napięcia na którymkolwiek ogniwie uruchomi balanser, który ograniczy prąd ładowania. Naładowane ogniwo zostaje obciążone, a pozostałe dalej się ładują. W trakcie pomiarów monitorowano napięcie, prąd, i czas trwania cyklu. Uzyskane pomiary zostały zapisane w przygotowanych tabelach oraz przedstawione w postaci wykresów i posłużą do określenia pojemności oraz mocy zgromadzonej w badanych ogniwach li-ion.

Przeprowadzono serię dziesięciokrotnego ładowania cel li-ion z użyciem systemu nadzoru BMS. Na podstawie otrzymanych pomiarów powstały tabele (121-130) oraz wykresy (215-224). Wykresy ukazują liniowy rosnący trend dla każdej celi. Wszystkie cele ładowały się w jednolity sposób, bez znaczących rozbieżności. Na wykresie 217 najbardziej wysunięta jest cewa 6 oraz cewa 2. Na podstawie wyników pomiarów stan techniczny cel li-ion można uznać za dobry, ze względu na zachowanie pojemności oraz długości cykli. Parametry ładowania są podobne dla wszystkich cel.



Tabela 121. Seria pierwsza ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,02	3,04	3,1	3,02	3	3	3,05	3,1	3,02	3,05	3,1	3,1	3	3	3,02	3,1	3	3,1	3,02	3	30	60,84	10
3,08	3,1	3,15	3,07	3,09	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,06	3,16	3,1	3,07	60	62,08	10
3,17	3,19	3,2	3,12	3,15	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,12	3,22	3,14	3,15	90	63,37	10
3,25	3,22	3,25	3,17	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,18	3,29	3,2	3,23	120	64,6	10
3,31	3,31	3,3	3,22	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,24	3,34	3,26	3,31	150	65,81	10
3,37	3,4	3,35	3,27	3,33	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,3	3,4	3,32	3,36	180	67,02	10
3,43	3,45	3,4	3,32	3,39	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,36	3,53	3,37	3,4	3,36	3,46	3,38	3,41	210	68,2	10
3,49	3,5	3,45	3,37	3,45	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,42	3,6	3,4	3,45	3,42	3,52	3,44	3,46	240	69,32	10
3,55	3,55	3,5	3,42	3,51	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,48	3,67	3,45	3,5	3,48	3,58	3,5	3,51	270	70,46	10
3,61	3,6	3,55	3,47	3,57	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,54	3,71	3,5	3,55	3,54	3,64	3,56	3,56	300	71,57	10
3,67	3,65	3,6	3,52	3,63	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,75	3,55	3,6	3,6	3,7	3,62	3,61	330	72,65	10
3,73	3,7	3,69	3,57	3,69	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,66	3,79	3,6	3,69	3,66	3,76	3,68	3,66	360	73,85	10
3,79	3,75	3,78	3,62	3,75	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,75	3,83	3,65	3,78	3,75	3,82	3,74	3,71	390	75,11	10
3,85	3,8	3,87	3,69	3,81	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,8	3,87	3,7	3,84	3,8	3,88	3,8	3,76	420	76,28	10
3,91	3,85	3,96	3,78	3,87	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,85	3,91	3,75	3,9	3,85	3,94	3,86	3,81	450	77,55	10
3,97	3,9	4,05	3,89	3,93	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	3,98	3,99	3,82	3,95	3,9	4	3,92	3,86	480	78,92	10
4,03	3,95	4,1	3,94	3,99	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	4,07	4,05	3,96	4	3,96	4,07	3,98	3,94	510	80,29	10
4,09	4,07	4,15	4,08	4,05	4,08	4,09	4,14	4,1	4,1	4,11	4,12	4,15	4,1	4,11	4,06	4,1	4,15	4,04	4,07	540	81,96	10
4,15	4,12	4,2	4,14	4,11	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,2	4,17	4,19	4,13	4,17	4,2	4,13	4,18	570	83,19	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10

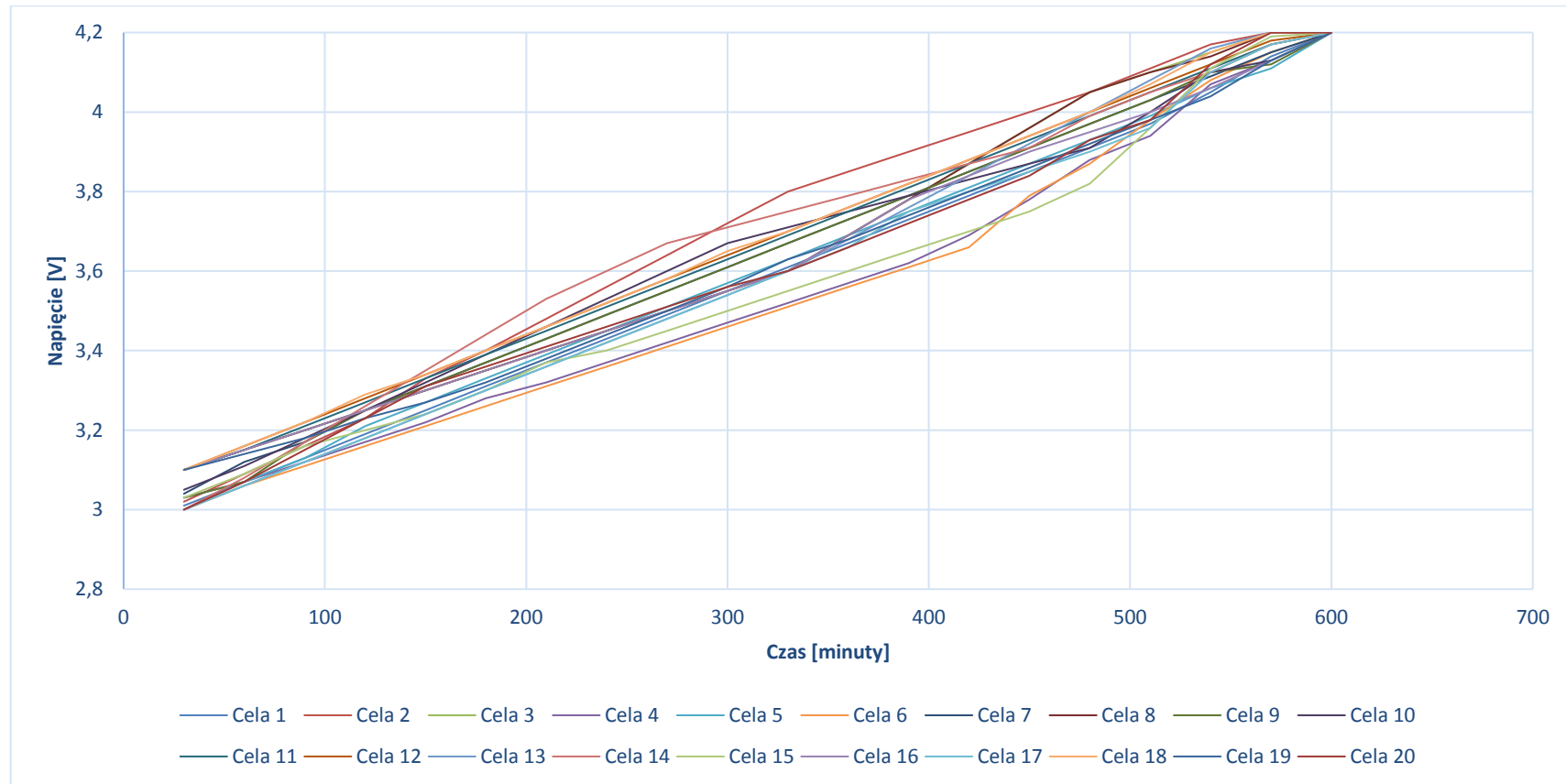


Wykres 215. Pierwsza seria ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 122. Druga seria ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,01	3,02	3,1	3,03	3	3	3,04	3,1	3,03	3,05	3,1	3,1	3	3	3,03	3,1	3	3,1	3,1	3	30	60,91	10
3,07	3,09	3,15	3,07	3,07	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,06	3,16	3,14	3,07	60	62,08	10
3,13	3,16	3,2	3,12	3,13	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,12	3,22	3,18	3,15	90	63,32	10
3,19	3,23	3,25	3,17	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,18	3,29	3,23	3,23	120	64,58	10
3,25	3,33	3,3	3,22	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,24	3,34	3,27	3,31	150	65,78	10
3,31	3,4	3,35	3,28	3,33	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,3	3,4	3,32	3,36	180	66,97	10
3,37	3,48	3,4	3,32	3,39	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,36	3,53	3,37	3,4	3,36	3,46	3,38	3,41	210	68,17	10
3,43	3,56	3,45	3,37	3,45	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,42	3,6	3,4	3,45	3,42	3,52	3,44	3,46	240	69,32	10
3,49	3,64	3,5	3,42	3,51	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,48	3,67	3,45	3,5	3,48	3,58	3,5	3,51	270	70,49	10
3,55	3,72	3,55	3,47	3,57	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,54	3,71	3,5	3,55	3,54	3,65	3,56	3,56	300	71,64	10
3,61	3,8	3,6	3,52	3,63	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,75	3,55	3,6	3,6	3,7	3,63	3,6	330	72,74	10
3,67	3,85	3,69	3,57	3,69	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,68	3,79	3,6	3,69	3,66	3,76	3,68	3,66	360	73,96	10
3,73	3,9	3,78	3,62	3,75	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,76	3,83	3,65	3,78	3,75	3,82	3,74	3,72	390	75,22	10
3,79	3,95	3,87	3,69	3,81	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,84	3,87	3,7	3,84	3,8	3,88	3,8	3,78	420	76,43	10
3,85	4	3,96	3,78	3,87	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,92	3,91	3,75	3,9	3,85	3,94	3,86	3,84	450	77,74	10
3,91	4,05	4,05	3,88	3,93	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	4	3,99	3,82	3,95	3,9	4	3,92	3,93	480	79,09	10
3,97	4,11	4,1	3,94	3,99	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	4,08	4,05	3,96	4	3,96	4,07	3,98	3,98	510	80,44	10
4,05	4,17	4,15	4,07	4,06	4,08	4,09	4,14	4,1	4,1	4,11	4,12	4,16	4,1	4,11	4,06	4,1	4,15	4,04	4,12	540	82,08	10
4,14	4,2	4,2	4,13	4,11	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,2	4,17	4,19	4,13	4,17	4,2	4,13	4,2	570	83,27	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10

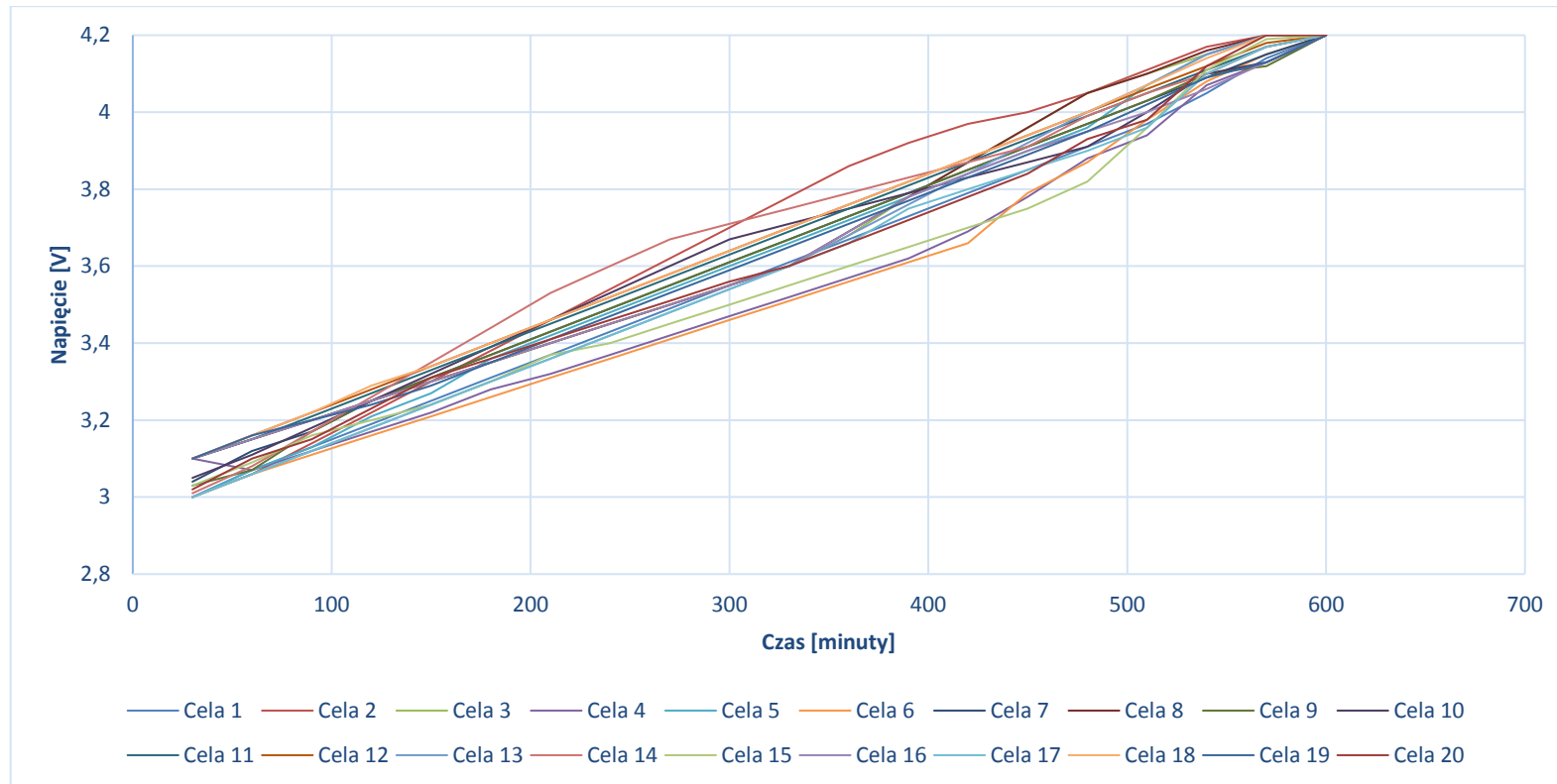


Wykres 216. Seria druga ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 123. Seria trzecia ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3	3	3,1	3,1	3	3	3,04	3,1	3,03	3,05	3,1	3,1	3	3,01	3,03	3,1	3	3,1	3,1	3,02	30	60,98	10
3,07	3,06	3,15	3,07	3,07	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,06	3,16	3,16	3,1	60	62,1	10
3,13	3,14	3,2	3,12	3,13	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,12	3,22	3,2	3,15	90	63,32	10
3,19	3,22	3,25	3,17	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,18	3,29	3,24	3,23	120	64,58	10
3,25	3,3	3,3	3,22	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,24	3,34	3,29	3,31	150	65,77	10
3,31	3,38	3,35	3,28	3,36	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,3	3,4	3,35	3,36	180	67,01	10
3,37	3,46	3,4	3,32	3,42	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,36	3,53	3,37	3,4	3,36	3,46	3,41	3,41	210	68,21	10
3,43	3,54	3,45	3,37	3,48	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,42	3,6	3,4	3,45	3,42	3,52	3,47	3,46	240	69,36	10
3,49	3,62	3,5	3,42	3,54	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,48	3,67	3,45	3,5	3,48	3,58	3,53	3,51	270	70,53	10
3,55	3,7	3,55	3,47	3,6	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,54	3,71	3,5	3,55	3,54	3,64	3,59	3,56	300	71,67	10
3,61	3,78	3,6	3,52	3,66	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,75	3,55	3,6	3,6	3,7	3,65	3,6	330	72,77	10
3,67	3,86	3,68	3,57	3,72	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,68	3,79	3,6	3,69	3,66	3,76	3,71	3,66	360	74,02	10
3,73	3,92	3,78	3,62	3,78	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,76	3,83	3,65	3,78	3,75	3,82	3,77	3,72	390	75,3	10
3,79	3,97	3,87	3,69	3,84	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,84	3,87	3,7	3,84	3,8	3,88	3,83	3,78	420	76,51	10
3,85	4	3,96	3,78	3,9	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,92	3,91	3,75	3,9	3,85	3,94	3,89	3,84	450	77,8	10
3,91	4,05	4,05	3,88	3,96	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	4	3,99	3,82	3,95	3,9	4	3,95	3,93	480	79,15	10
3,97	4,11	4,1	3,94	4,07	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	4,07	4,05	3,96	4	3,96	4,07	4,02	3,98	510	80,55	10
4,05	4,17	4,15	4,07	4,15	4,08	4,09	4,16	4,1	4,1	4,11	4,12	4,15	4,1	4,11	4,06	4,1	4,14	4,09	4,12	540	82,22	10
4,14	4,2	4,2	4,13	4,2	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,2	4,17	4,19	4,13	4,17	4,2	4,13	4,2	570	83,36	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10

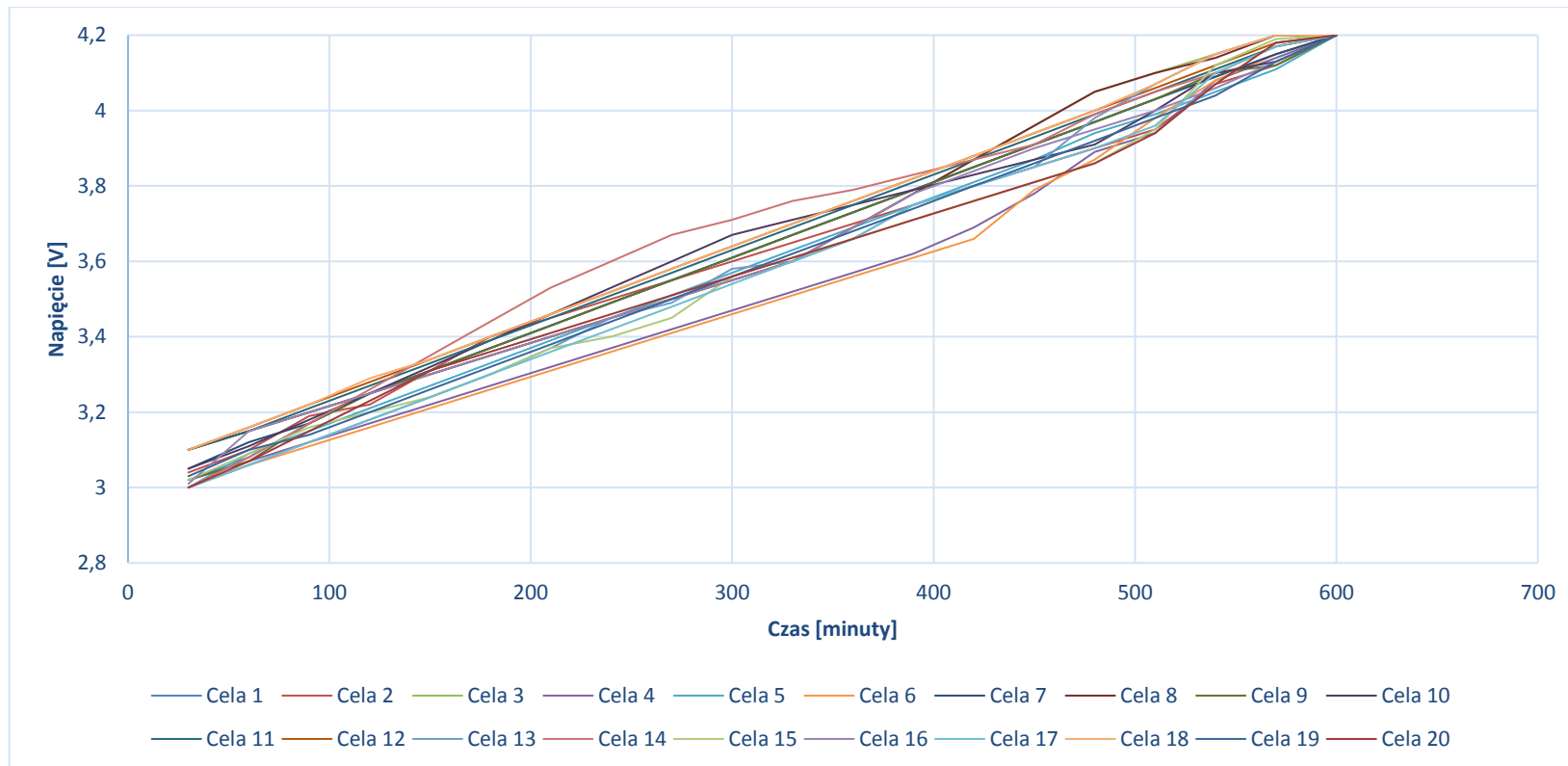


Wykres 217. Trzecia seria ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 124. Czwarta seria ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,02	3,04	3,1	3,02	3	3	3,05	3,1	3,02	3,05	3,1	3,1	3	3	3,02	3,01	3	3,1	3,03	3	30	60,76	10
3,08	3,1	3,15	3,07	3,09	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,06	3,16	3,1	3,07	60	62,08	10
3,17	3,19	3,2	3,12	3,15	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,12	3,22	3,14	3,15	90	63,37	10
3,25	3,22	3,25	3,17	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,18	3,29	3,2	3,23	120	64,6	10
3,31	3,31	3,3	3,22	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,24	3,34	3,26	3,31	150	65,81	10
3,37	3,4	3,35	3,27	3,33	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,3	3,4	3,32	3,36	180	67,02	10
3,43	3,45	3,4	3,32	3,39	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,37	3,53	3,37	3,4	3,36	3,46	3,38	3,41	210	68,21	10
3,49	3,5	3,45	3,37	3,45	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,45	3,6	3,4	3,45	3,42	3,52	3,44	3,46	240	69,35	10
3,55	3,55	3,5	3,42	3,51	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,49	3,67	3,45	3,5	3,48	3,58	3,5	3,51	270	70,47	10
3,61	3,6	3,55	3,47	3,57	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,58	3,71	3,56	3,55	3,54	3,64	3,56	3,56	300	71,67	10
3,67	3,65	3,6	3,52	3,63	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,76	3,61	3,6	3,6	3,7	3,62	3,61	330	72,72	10
3,73	3,7	3,69	3,57	3,69	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,66	3,79	3,66	3,69	3,66	3,76	3,68	3,66	360	73,91	10
3,79	3,75	3,78	3,62	3,75	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,75	3,83	3,71	3,78	3,75	3,82	3,74	3,71	390	75,17	10
3,85	3,8	3,87	3,69	3,81	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,8	3,87	3,76	3,84	3,8	3,88	3,8	3,76	420	76,34	10
3,91	3,85	3,96	3,78	3,87	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,85	3,91	3,81	3,9	3,85	3,94	3,86	3,81	450	77,61	10
3,97	3,9	4,05	3,89	3,94	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	3,98	3,99	3,86	3,95	3,9	4	3,92	3,86	480	78,97	10
4,03	3,95	4,1	3,94	3,99	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	4,07	4,05	3,95	4	3,96	4,07	3,98	3,94	510	80,28	10
4,09	4,07	4,15	4,08	4,05	4,08	4,09	4,14	4,1	4,1	4,11	4,12	4,15	4,1	4,12	4,06	4,1	4,15	4,04	4,07	540	81,97	10
4,15	4,12	4,2	4,14	4,11	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,2	4,17	4,19	4,13	4,17	4,2	4,13	4,18	570	83,19	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10

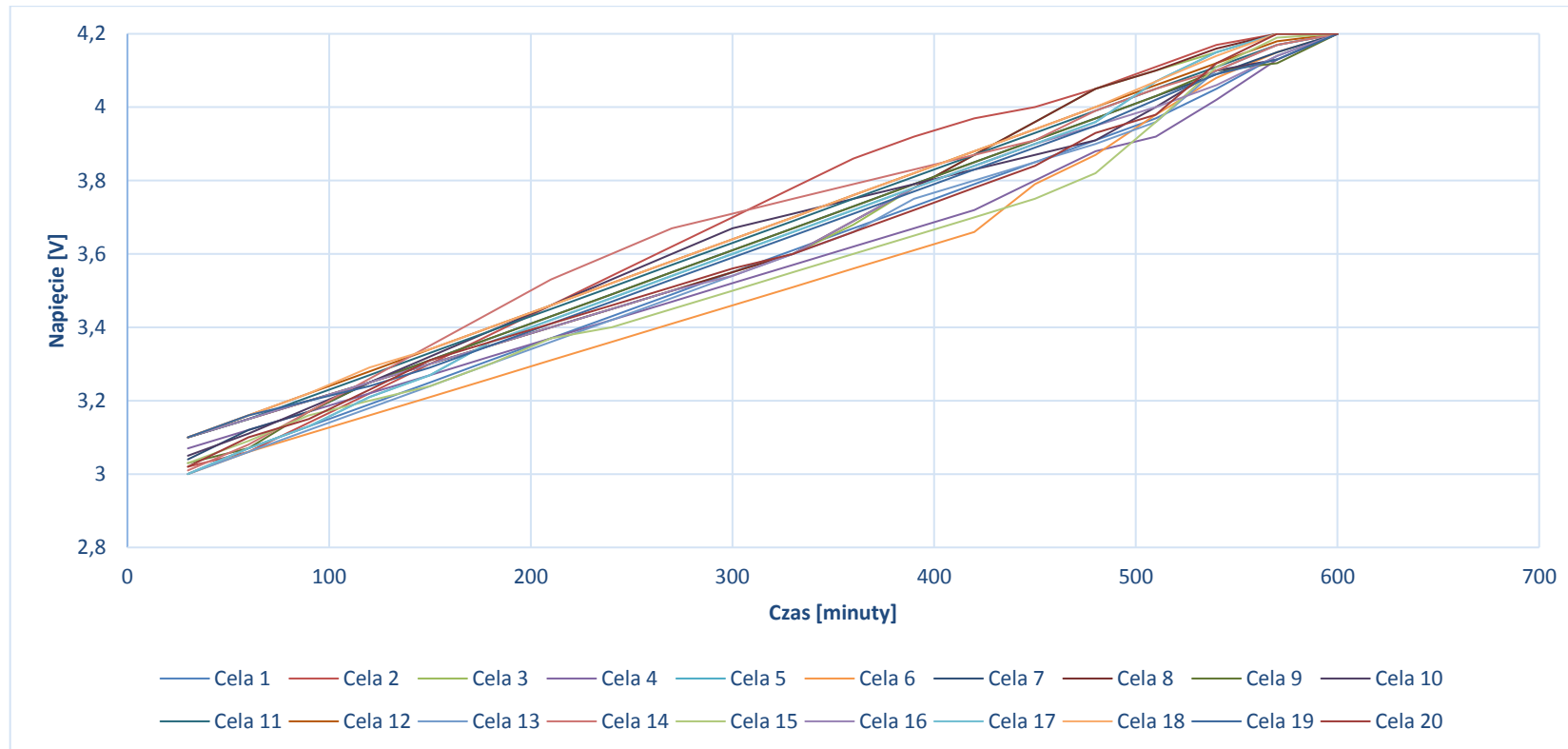


Wykres 218. Seria czwarta ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 125. Seria piąta ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3	3,02	3,1	3,07	3	3	3,04	3,1	3,03	3,05	3,1	3,1	3	3,01	3,03	3,1	3	3,1	3,1	3,02	30	60,97	10
3,07	3,06	3,15	3,12	3,07	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,07	3,16	3,16	3,1	60	62,16	10
3,13	3,14	3,2	3,17	3,13	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,13	3,22	3,2	3,15	90	63,38	10
3,19	3,22	3,25	3,22	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,21	3,29	3,24	3,23	120	64,66	10
3,25	3,3	3,3	3,27	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,27	3,34	3,29	3,31	150	65,85	10
3,31	3,38	3,35	3,32	3,36	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,36	3,4	3,35	3,36	180	67,11	10
3,37	3,46	3,4	3,37	3,42	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,36	3,53	3,37	3,4	3,42	3,46	3,41	3,41	210	68,32	10
3,43	3,54	3,45	3,42	3,48	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,42	3,6	3,4	3,45	3,48	3,52	3,47	3,46	240	69,47	10
3,49	3,62	3,5	3,47	3,54	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,48	3,67	3,45	3,5	3,54	3,58	3,53	3,51	270	70,64	10
3,55	3,7	3,55	3,52	3,6	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,54	3,71	3,5	3,54	3,6	3,64	3,59	3,56	300	71,77	10
3,61	3,78	3,6	3,57	3,66	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,75	3,55	3,6	3,66	3,7	3,65	3,6	330	72,88	10
3,67	3,86	3,68	3,62	3,72	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,66	3,79	3,6	3,69	3,72	3,76	3,71	3,66	360	74,11	10
3,73	3,92	3,78	3,67	3,78	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,75	3,83	3,65	3,78	3,78	3,82	3,77	3,72	390	75,37	10
3,79	3,97	3,87	3,72	3,84	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,8	3,87	3,7	3,84	3,84	3,88	3,83	3,78	420	76,54	10
3,85	4	3,96	3,8	3,9	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,85	3,91	3,75	3,9	3,9	3,94	3,89	3,84	450	77,8	10
3,91	4,05	4,05	3,88	3,96	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	3,9	3,99	3,82	3,95	3,96	4	3,95	3,93	480	79,11	10
3,97	4,11	4,1	3,92	4,07	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	3,96	4,05	3,96	4	4,07	4,07	4,02	3,98	510	80,53	10
4,05	4,17	4,15	4,02	4,15	4,08	4,09	4,16	4,1	4,1	4,11	4,12	4,1	4,1	4,11	4,06	4,15	4,14	4,09	4,12	540	82,17	10
4,14	4,2	4,2	4,13	4,2	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,17	4,17	4,19	4,14	4,2	4,2	4,13	4,2	570	83,37	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10

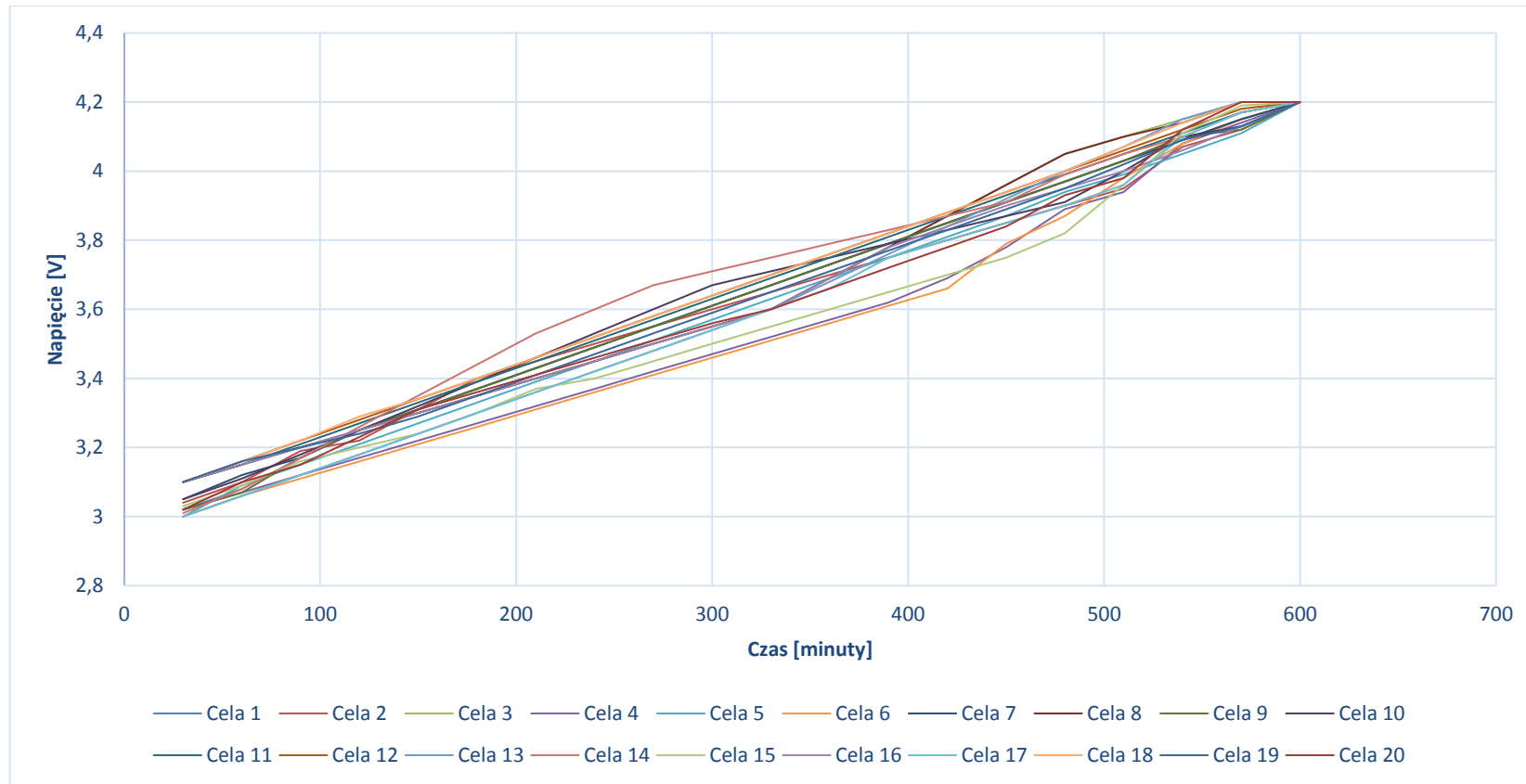


Wykres 219. Seria piąta ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 126. Seria szósta ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,02	3,04	3,1	3,02	3	3	3,05	3,1	3,02	3,05	3,1	3,1	3	3,01	3,03	3,1	3	3,1	3,1	3,02	30	60,96	10
3,08	3,1	3,15	3,07	3,09	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,06	3,16	3,16	3,1	60	62,17	10
3,17	3,19	3,2	3,12	3,15	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,12	3,22	3,2	3,15	90	63,43	10
3,25	3,22	3,25	3,17	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,18	3,29	3,24	3,23	120	64,64	10
3,31	3,31	3,3	3,22	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,24	3,34	3,29	3,31	150	65,84	10
3,37	3,4	3,35	3,27	3,33	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,3	3,4	3,35	3,36	180	67,05	10
3,43	3,45	3,4	3,32	3,39	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,36	3,53	3,37	3,4	3,36	3,46	3,41	3,41	210	68,23	10
3,49	3,5	3,45	3,37	3,45	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,42	3,6	3,4	3,45	3,42	3,52	3,47	3,46	240	69,35	10
3,55	3,55	3,5	3,42	3,51	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,48	3,67	3,45	3,5	3,48	3,58	3,53	3,51	270	70,49	10
3,61	3,6	3,55	3,47	3,57	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,54	3,71	3,5	3,55	3,54	3,64	3,59	3,56	300	71,6	10
3,67	3,65	3,6	3,52	3,63	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,75	3,55	3,6	3,6	3,7	3,65	3,6	330	72,67	10
3,73	3,7	3,69	3,57	3,69	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,68	3,79	3,6	3,69	3,66	3,76	3,71	3,66	360	73,9	10
3,79	3,75	3,78	3,62	3,75	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,76	3,83	3,65	3,78	3,75	3,82	3,77	3,72	390	75,16	10
3,85	3,8	3,87	3,69	3,81	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,84	3,87	3,7	3,84	3,8	3,88	3,83	3,78	420	76,37	10
3,91	3,85	3,96	3,78	3,87	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,92	3,91	3,75	3,9	3,85	3,94	3,89	3,84	450	77,68	10
3,97	3,9	4,05	3,89	3,94	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	4	3,99	3,82	3,95	3,9	4	3,95	3,93	480	79,05	10
4,03	3,95	4,1	3,94	3,99	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	4,07	4,05	3,96	4	3,96	4,07	4,02	3,98	510	80,37	10
4,09	4,07	4,15	4,08	4,05	4,08	4,09	4,14	4,1	4,1	4,11	4,12	4,15	4,1	4,11	4,06	4,1	4,14	4,09	4,12	540	82,05	10
4,15	4,12	4,2	4,14	4,11	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,2	4,17	4,19	4,13	4,17	4,2	4,13	4,2	570	83,21	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10

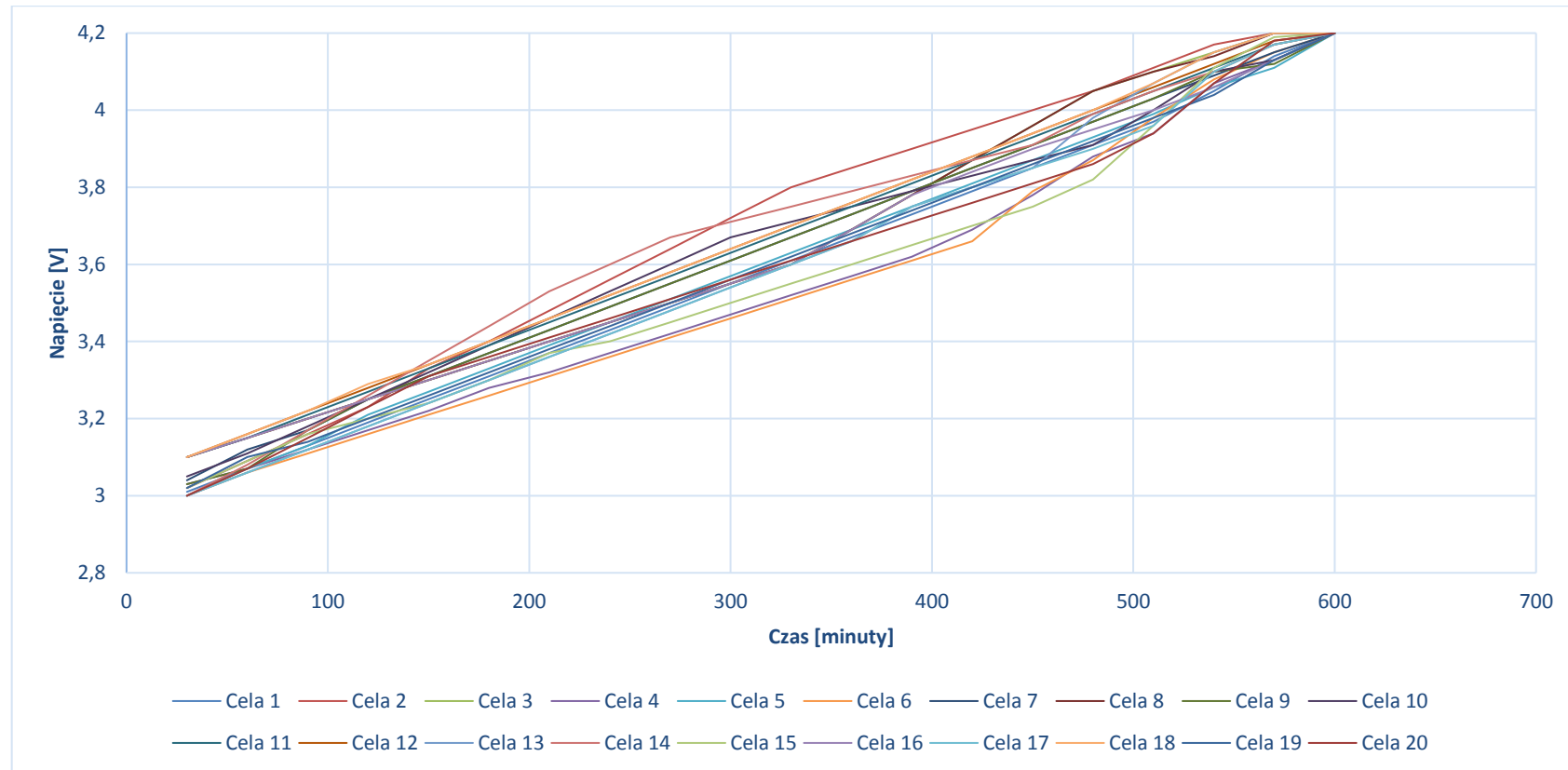


Wykres 220. Seria szоста rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 127. Seria siódma ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,01	3,02	3,1	3,03	3	3	3,04	3,1	3,03	3,05	3,1	3,1	3	3	3,02	3,1	3	3,1	3,02	3	30	60,82	10
3,07	3,09	3,15	3,07	3,07	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,06	3,16	3,1	3,07	60	62,04	10
3,13	3,16	3,2	3,12	3,13	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,12	3,22	3,14	3,15	90	63,28	10
3,19	3,23	3,25	3,17	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,18	3,29	3,2	3,23	120	64,55	10
3,25	3,33	3,3	3,22	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,24	3,34	3,26	3,31	150	65,77	10
3,31	3,4	3,35	3,28	3,33	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,3	3,4	3,32	3,36	180	66,97	10
3,37	3,48	3,4	3,32	3,39	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,36	3,53	3,37	3,4	3,36	3,46	3,38	3,41	210	68,17	10
3,43	3,56	3,45	3,37	3,45	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,42	3,6	3,4	3,45	3,42	3,52	3,44	3,46	240	69,32	10
3,49	3,64	3,5	3,42	3,51	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,48	3,67	3,45	3,5	3,48	3,58	3,5	3,51	270	70,49	10
3,55	3,72	3,55	3,47	3,57	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,54	3,71	3,5	3,55	3,54	3,64	3,56	3,56	300	71,63	10
3,61	3,8	3,6	3,52	3,63	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,75	3,55	3,6	3,6	3,7	3,62	3,61	330	72,74	10
3,67	3,85	3,69	3,57	3,69	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,66	3,79	3,6	3,69	3,66	3,76	3,68	3,66	360	73,94	10
3,73	3,9	3,78	3,62	3,75	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,75	3,83	3,65	3,78	3,75	3,82	3,74	3,71	390	75,2	10
3,79	3,95	3,87	3,69	3,81	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,8	3,87	3,7	3,84	3,8	3,88	3,8	3,76	420	76,37	10
3,85	4	3,96	3,78	3,87	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,85	3,91	3,75	3,9	3,85	3,94	3,86	3,81	450	77,64	10
3,91	4,05	4,05	3,88	3,93	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	3,98	3,99	3,82	3,95	3,9	4	3,92	3,86	480	79	10
3,97	4,11	4,1	3,94	3,99	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	4,07	4,05	3,96	4	3,96	4,07	3,98	3,94	510	80,39	10
4,05	4,17	4,15	4,07	4,06	4,08	4,09	4,14	4,1	4,1	4,11	4,12	4,15	4,1	4,11	4,06	4,1	4,15	4,04	4,07	540	82,02	10
4,14	4,2	4,2	4,13	4,11	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,2	4,17	4,19	4,13	4,17	4,2	4,13	4,18	570	83,25	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10

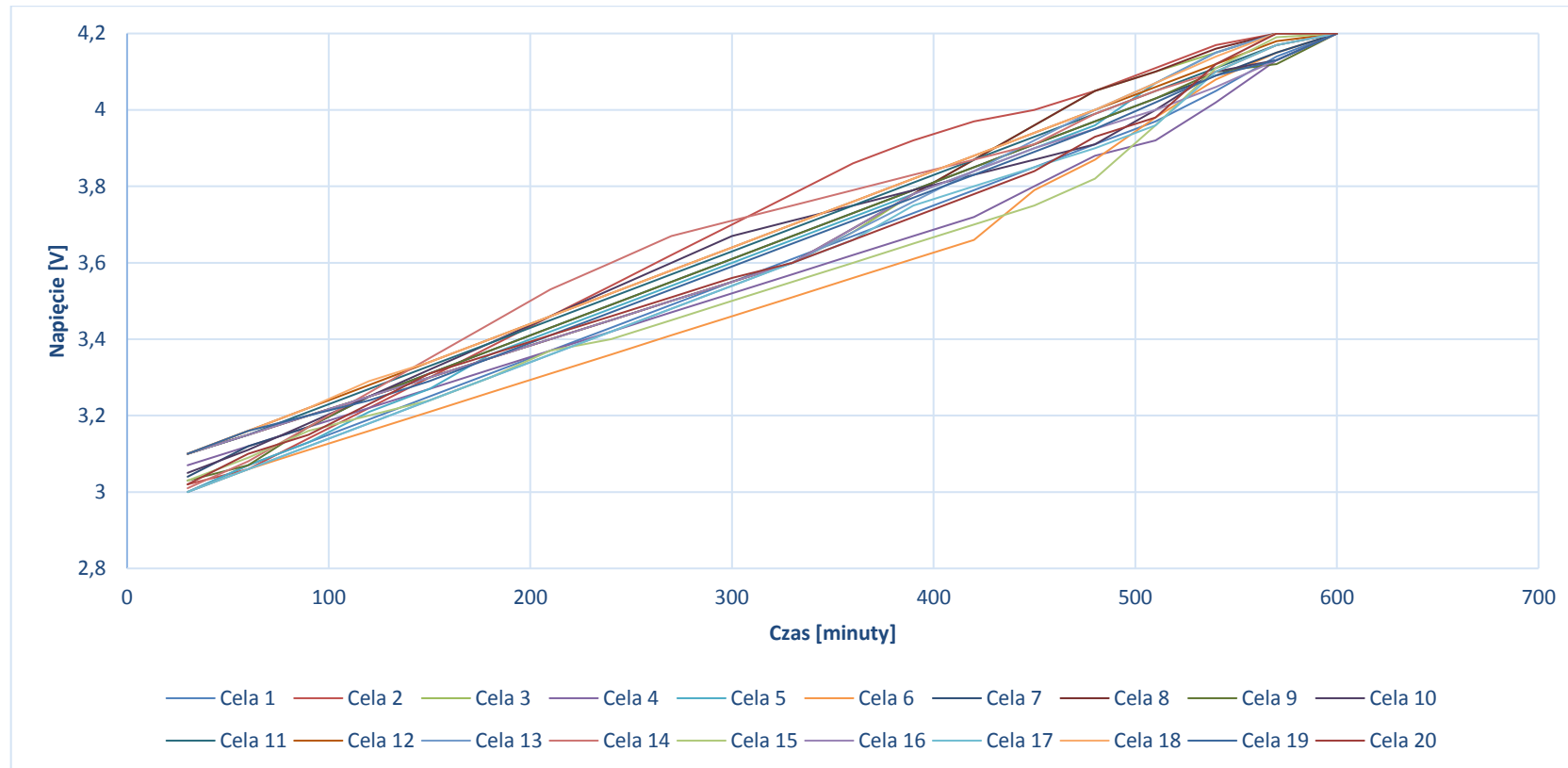


Wykres 221. Seria siódma ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 128. Seria osma ładowania ogniwi li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3	3,02	3,1	3,07	3	3	3,04	3,1	3,03	3,05	3,1	3,1	3	3,01	3,03	3,1	3	3,1	3,1	3,02	30	60,97	10
3,07	3,06	3,15	3,12	3,07	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,06	3,16	3,16	3,1	60	62,15	10
3,13	3,14	3,2	3,17	3,13	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,12	3,22	3,2	3,15	90	63,37	10
3,19	3,22	3,25	3,22	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,18	3,29	3,24	3,23	120	64,63	10
3,25	3,3	3,3	3,27	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,24	3,34	3,29	3,31	150	65,82	10
3,31	3,38	3,35	3,32	3,36	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,3	3,4	3,35	3,36	180	67,05	10
3,37	3,46	3,4	3,37	3,42	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,36	3,53	3,37	3,4	3,36	3,46	3,41	3,41	210	68,26	10
3,43	3,54	3,45	3,42	3,48	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,42	3,6	3,4	3,45	3,42	3,52	3,47	3,46	240	69,41	10
3,49	3,62	3,5	3,47	3,54	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,48	3,67	3,45	3,5	3,48	3,58	3,53	3,51	270	70,58	10
3,55	3,7	3,55	3,52	3,6	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,54	3,71	3,5	3,55	3,54	3,64	3,59	3,56	300	71,72	10
3,61	3,78	3,6	3,57	3,66	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,75	3,55	3,6	3,6	3,7	3,65	3,6	330	72,82	10
3,67	3,86	3,68	3,62	3,72	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,68	3,79	3,6	3,69	3,66	3,76	3,71	3,66	360	74,07	10
3,73	3,92	3,78	3,67	3,78	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,76	3,83	3,65	3,78	3,75	3,82	3,77	3,72	390	75,35	10
3,79	3,97	3,87	3,72	3,84	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,84	3,87	3,7	3,84	3,8	3,88	3,83	3,78	420	76,54	10
3,85	4	3,96	3,8	3,9	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,92	3,91	3,75	3,9	3,85	3,94	3,89	3,84	450	77,82	10
3,91	4,05	4,05	3,88	3,96	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	4	3,99	3,82	3,95	3,9	4	3,95	3,93	480	79,15	10
3,97	4,11	4,1	3,92	4,07	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	4,07	4,05	3,96	4	3,96	4,07	4,02	3,98	510	80,53	10
4,05	4,17	4,15	4,02	4,15	4,08	4,09	4,16	4,1	4,1	4,11	4,12	4,15	4,1	4,11	4,06	4,1	4,14	4,09	4,12	540	82,17	10
4,14	4,2	4,2	4,13	4,2	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,2	4,17	4,19	4,13	4,17	4,2	4,13	4,2	570	83,36	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10

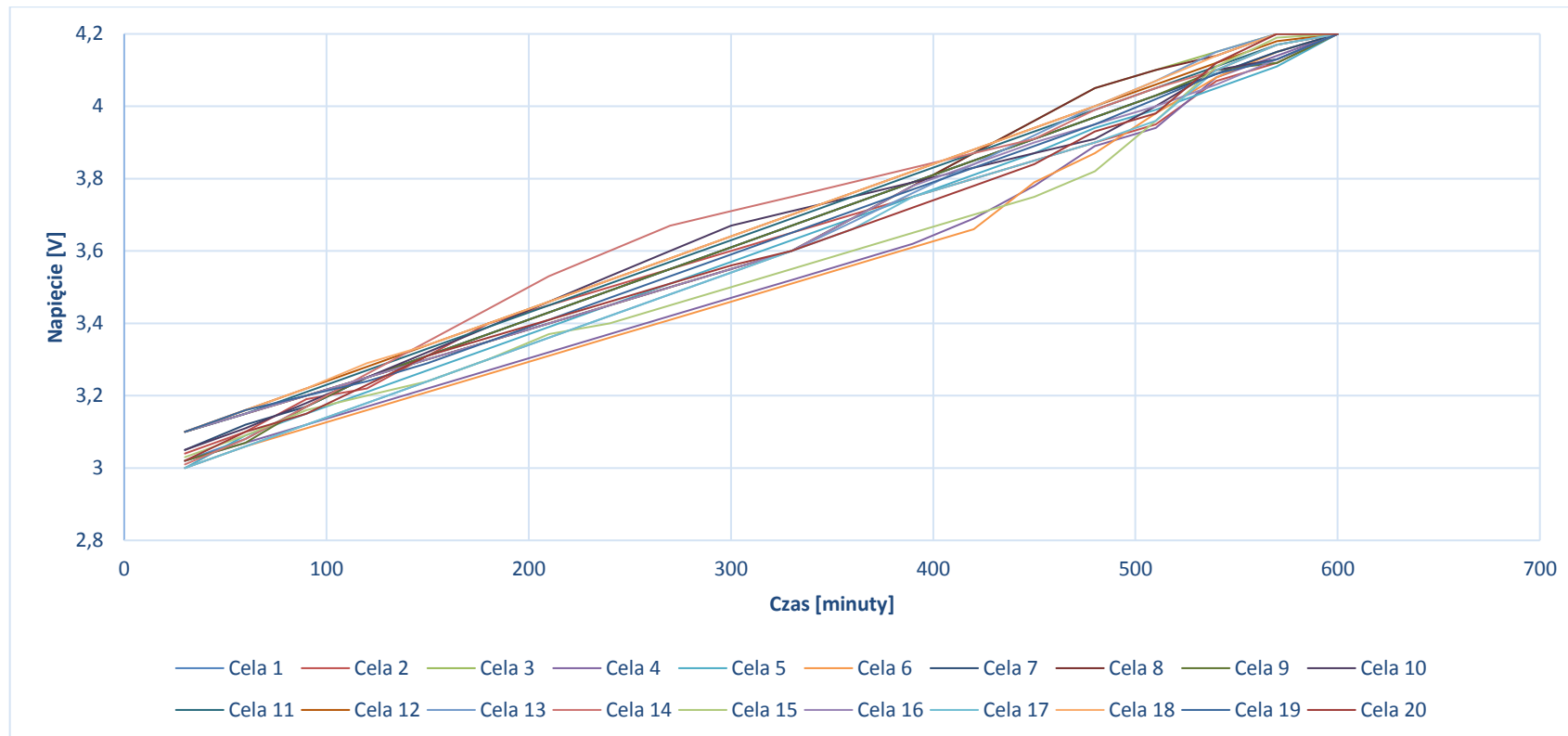


Wykres 222. Seria ósma ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 129. Seria dziewiąta ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,02	3,04	3,1	3,02	3	3	3,05	3,1	3,02	3,05	3,1	3,1	3	3,01	3,03	3,1	3	3,1	3,1	3,02	30	60,96	10
3,08	3,1	3,15	3,07	3,09	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,06	3,16	3,16	3,1	60	62,17	10
3,17	3,19	3,2	3,12	3,15	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,12	3,22	3,2	3,15	90	63,43	10
3,25	3,22	3,25	3,17	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,18	3,29	3,24	3,23	120	64,64	10
3,31	3,31	3,3	3,22	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,24	3,34	3,29	3,31	150	65,84	10
3,37	3,4	3,35	3,27	3,33	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,3	3,4	3,35	3,36	180	67,05	10
3,43	3,45	3,4	3,32	3,39	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,36	3,53	3,37	3,4	3,36	3,46	3,41	3,41	210	68,23	10
3,49	3,5	3,45	3,37	3,45	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,42	3,6	3,4	3,45	3,42	3,52	3,47	3,46	240	69,35	10
3,55	3,55	3,5	3,42	3,51	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,48	3,67	3,45	3,5	3,48	3,58	3,53	3,51	270	70,49	10
3,61	3,6	3,55	3,47	3,57	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,54	3,71	3,5	3,55	3,54	3,64	3,59	3,56	300	71,6	10
3,67	3,65	3,6	3,52	3,63	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,75	3,55	3,6	3,6	3,7	3,65	3,6	330	72,67	10
3,73	3,7	3,69	3,57	3,69	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,68	3,79	3,6	3,69	3,66	3,76	3,71	3,66	360	73,9	10
3,79	3,75	3,78	3,62	3,75	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,76	3,83	3,65	3,78	3,75	3,82	3,77	3,72	390	75,16	10
3,85	3,8	3,87	3,69	3,81	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,84	3,87	3,7	3,84	3,8	3,88	3,83	3,78	420	76,37	10
3,91	3,85	3,96	3,78	3,87	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,92	3,91	3,75	3,9	3,85	3,94	3,89	3,84	450	77,68	10
3,97	3,9	4,05	3,89	3,94	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	4	3,99	3,82	3,95	3,9	4	3,95	3,93	480	79,05	10
4,03	3,95	4,1	3,94	3,99	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	4,07	4,05	3,96	4	3,96	4,07	4,02	3,98	510	80,37	10
4,09	4,07	4,15	4,08	4,05	4,08	4,09	4,14	4,1	4,1	4,11	4,12	4,15	4,1	4,11	4,06	4,1	4,14	4,09	4,12	540	82,05	10
4,15	4,12	4,2	4,14	4,11	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,2	4,17	4,19	4,13	4,17	4,2	4,13	4,2	570	83,21	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10

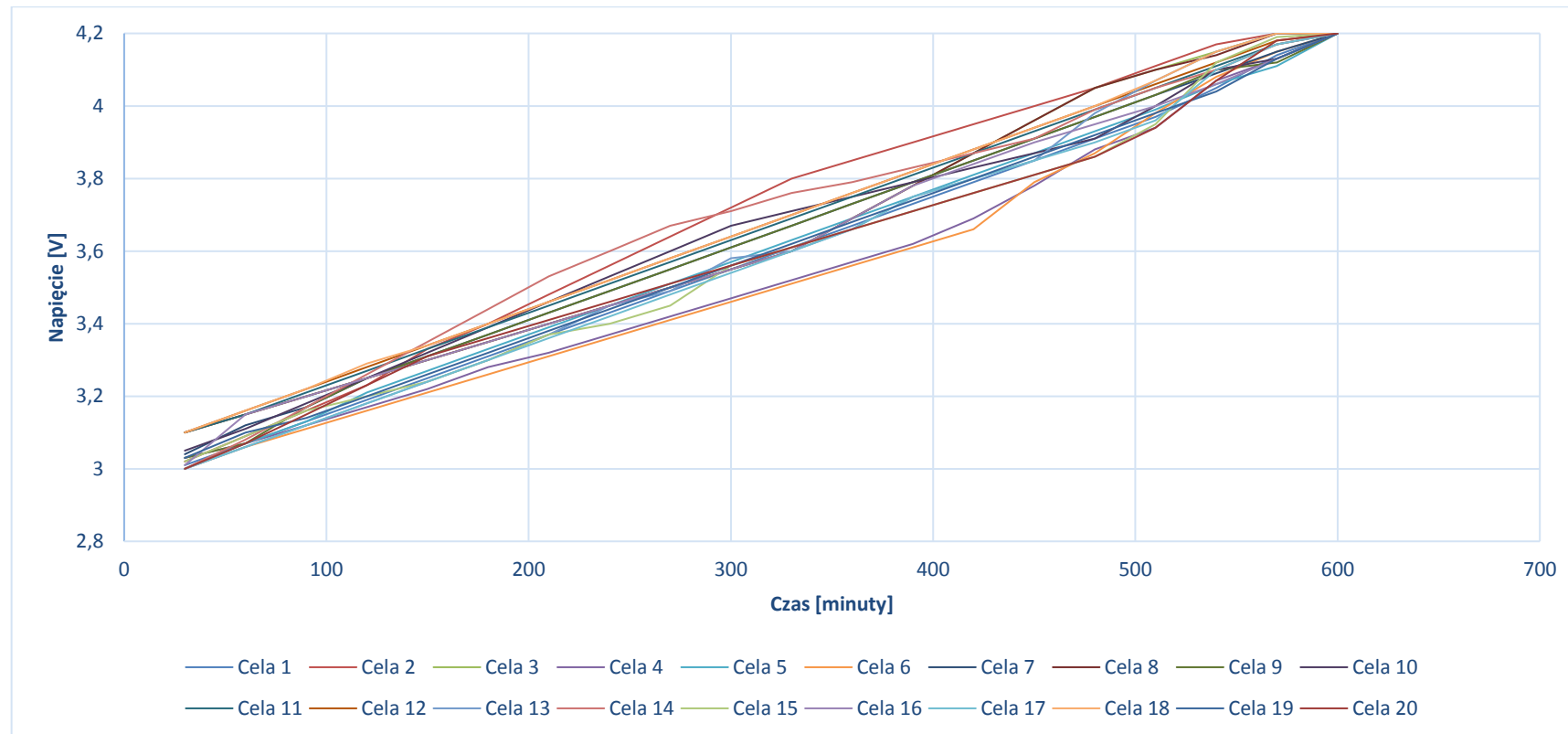


Wykres 223. Seria dziewięć ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 130. Seria dziesiąta ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,01	3,02	3,1	3,03	3	3	3,04	3,1	3,03	3,05	3,1	3,1	3	3	3,02	3,01	3	3,1	3,03	3	30	60,74	10
3,07	3,09	3,15	3,07	3,07	3,06	3,12	3,15	3,07	3,11	3,15	3,16	3,06	3,08	3,09	3,15	3,06	3,16	3,1	3,07	60	62,04	10
3,13	3,16	3,2	3,12	3,13	3,11	3,17	3,2	3,17	3,18	3,21	3,22	3,12	3,17	3,16	3,2	3,12	3,22	3,14	3,15	90	63,28	10
3,19	3,23	3,25	3,17	3,21	3,16	3,25	3,25	3,25	3,25	3,27	3,28	3,18	3,26	3,2	3,25	3,18	3,29	3,2	3,23	120	64,55	10
3,25	3,33	3,3	3,22	3,27	3,21	3,31	3,3	3,31	3,32	3,33	3,34	3,24	3,35	3,24	3,3	3,24	3,34	3,26	3,31	150	65,77	10
3,31	3,4	3,35	3,28	3,33	3,26	3,37	3,35	3,37	3,39	3,39	3,4	3,3	3,44	3,3	3,35	3,3	3,4	3,32	3,36	180	66,97	10
3,37	3,48	3,4	3,32	3,39	3,31	3,43	3,4	3,43	3,46	3,45	3,46	3,37	3,53	3,37	3,4	3,36	3,46	3,38	3,41	210	68,18	10
3,43	3,56	3,45	3,37	3,45	3,36	3,49	3,45	3,49	3,53	3,51	3,52	3,45	3,6	3,4	3,45	3,42	3,52	3,44	3,46	240	69,35	10
3,49	3,64	3,5	3,42	3,51	3,41	3,55	3,5	3,55	3,6	3,57	3,58	3,49	3,67	3,45	3,5	3,48	3,58	3,5	3,51	270	70,5	10
3,55	3,72	3,55	3,47	3,57	3,46	3,61	3,55	3,61	3,67	3,63	3,64	3,58	3,71	3,56	3,55	3,54	3,64	3,56	3,56	300	71,73	10
3,61	3,8	3,6	3,52	3,63	3,51	3,67	3,6	3,67	3,71	3,69	3,7	3,6	3,76	3,61	3,6	3,6	3,7	3,62	3,61	330	72,81	10
3,67	3,85	3,69	3,57	3,69	3,56	3,73	3,69	3,73	3,75	3,75	3,76	3,66	3,79	3,66	3,69	3,66	3,76	3,68	3,66	360	74	10
3,73	3,9	3,78	3,62	3,75	3,61	3,79	3,78	3,79	3,79	3,81	3,82	3,75	3,83	3,71	3,78	3,75	3,82	3,74	3,71	390	75,26	10
3,79	3,95	3,87	3,69	3,81	3,66	3,85	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,8	3,87	3,76	3,84	3,8	3,88	3,8	3,76	420	76,43	10
3,85	4	3,96	3,78	3,87	3,79	3,91	3,96	3,91	3,87	3,93	3,94	3,85	3,91	3,81	3,9	3,85	3,94	3,86	3,81	450	77,7	10
3,91	4,05	4,05	3,88	3,93	3,87	3,97	4,05	3,97	3,91	3,99	4	3,98	3,99	3,86	3,95	3,9	4	3,92	3,86	480	79,04	10
3,97	4,11	4,1	3,94	3,99	3,98	4,03	4,1	4,03	4	4,05	4,06	4,07	4,05	3,95	4	3,96	4,07	3,98	3,94	510	80,38	10
4,05	4,17	4,15	4,07	4,06	4,08	4,09	4,14	4,1	4,1	4,11	4,12	4,15	4,1	4,12	4,06	4,1	4,15	4,04	4,07	540	82,03	10
4,14	4,2	4,2	4,13	4,11	4,15	4,15	4,2	4,12	4,13	4,17	4,18	4,2	4,17	4,19	4,13	4,17	4,2	4,13	4,18	570	83,25	10
4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	600	84	10



Wykres 224. Seria dziesiąta ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną

8.4 Proces rozładowania cel litowo-jonowych

W momencie, gdy wszystkie ogniwa mają takie samo napięcie można rozpocząć proces rozładowania. Rozładowanie odbywa się prądem o wartości 30 A z użyciem zespołów silników. W procesie rozładowania konieczne jest również zastosowanie systemu nadzoru BMS, który będzie kontrolował stan rozładowania ogniw i w momencie osiągnięcia minimalnego poziomu napięcia - 2,8 V na którymkolwiek ogniwie, zakończy proces badawczy. Pozwala to na ograniczenie ryzyka uszkodzenia ogniw spowodowanego nadmiernym rozładowaniem. W trakcie pomiarów będzie monitorowane napięcie, prąd oraz czas trwania cyklu. Odczytane dane zostaną zapisane w przygotowanych tabelach (131-140) oraz posłużą do wyznaczenia pojemności i mocy zgromadzonej w ogniwach litowo-jonowych.

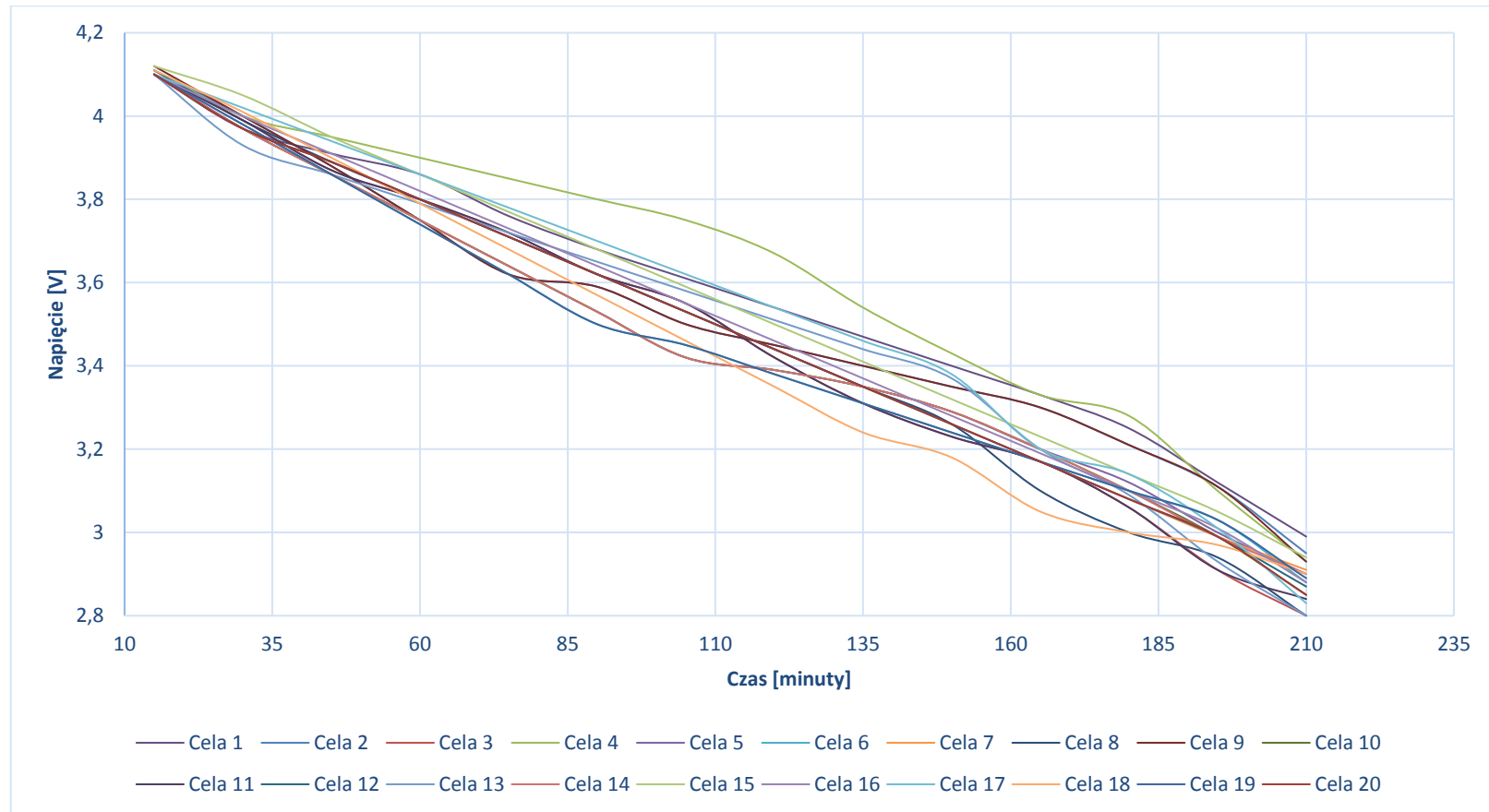
Pomiary z procesu rozładowania 20 cel litowo-jonowych zostały również przedstawione w postaci wykresów (225-234). Zarówno wykres 225 jak i pozostałe przedstawiają liniowy trend rozładowania do momentu osiągnięcia minimalnego napięcia rozładowania na celi o najmniejszej pojemności. W tym momencie proces rozładowania zostaje zatrzymany, aby uniknąć uszkodzenia ogniw w wyniku nadmiernego rozładowania. W celu ochrony i kontroli ogniw podczas rozładowania wskazane jest użycie systemu nadzoru BMS.

Parametry rozładowania dla poszczególnych cel są podobne. Na wykresie 225 można zaobserwować niewielkie różnice (rozbieżności) głównie pomiędzy celą 4 a celą 18. Z wykresów można również wywnioskować, że ogniwa li-ion są w dobrym stanie technicznym, bez znaczących różnic parametrów. Krzywa rozładowania dla każdej z celi jest bardzo zbliżona, co świadczy o podobnej pojemności cel. Proces oddawania energii następuje w analogiczny sposób oraz w podobnym czasie we wszystkich ogniwach.



Tabela 131. Seria pierwsza rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,1	4,11	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,11	4,12	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,12	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	15	82,08	30
3,97	4	3,99	4	3,97	3,98	3,97	3,99	4	3,97	3,99	3,97	3,93	3,97	4,05	4	4,02	4,01	3,98	3,97	30	79,73	30
3,91	3,88	3,87	3,95	3,86	3,86	3,89	3,89	3,88	3,86	3,87	3,89	3,86	3,86	3,95	3,91	3,94	3,9	3,86	3,89	45	77,78	30
3,86	3,75	3,8	3,9	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,8	3,79	3,75	3,86	3,82	3,86	3,79	3,74	3,8	60	75,91	30
3,76	3,62	3,72	3,85	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,71	3,72	3,64	3,77	3,73	3,78	3,68	3,62	3,71	75	73,97	30
3,68	3,59	3,62	3,8	3,53	3,5	3,62	3,62	3,59	3,53	3,62	3,62	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,57	3,5	3,62	90	72,21	30
3,61	3,5	3,55	3,75	3,42	3,45	3,53	3,53	3,5	3,42	3,55	3,53	3,58	3,42	3,59	3,55	3,62	3,46	3,45	3,53	105	70,54	30
3,54	3,45	3,42	3,67	3,39	3,38	3,44	3,44	3,45	3,39	3,42	3,44	3,51	3,39	3,5	3,46	3,54	3,35	3,38	3,44	120	69	30
3,47	3,4	3,31	3,54	3,35	3,31	3,35	3,35	3,4	3,35	3,31	3,35	3,44	3,35	3,41	3,37	3,46	3,24	3,31	3,35	135	67,42	30
3,4	3,35	3,23	3,43	3,29	3,24	3,26	3,26	3,35	3,29	3,23	3,26	3,37	3,29	3,32	3,28	3,38	3,18	3,24	3,26	150	65,91	30
3,33	3,3	3,17	3,33	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,2	3,2	3,23	3,19	3,2	3,05	3,17	3,17	165	64,02	30
3,25	3,21	3,06	3,28	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,06	3,08	3,09	3,1	3,14	3,1	3,14	3	3,1	3,08	180	62,3	30
3,12	3,11	2,91	3,1	3	3,03	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	2,99	2,93	2,99	3,05	3,01	3,01	2,97	3,03	2,99	195	60,18	30
2,99	2,95	2,8	2,93	2,9	2,88	2,91	2,8	2,93	2,85	2,84	2,87	2,8	2,9	2,94	2,88	2,83	2,9	2,89	2,85	210	57,64	30

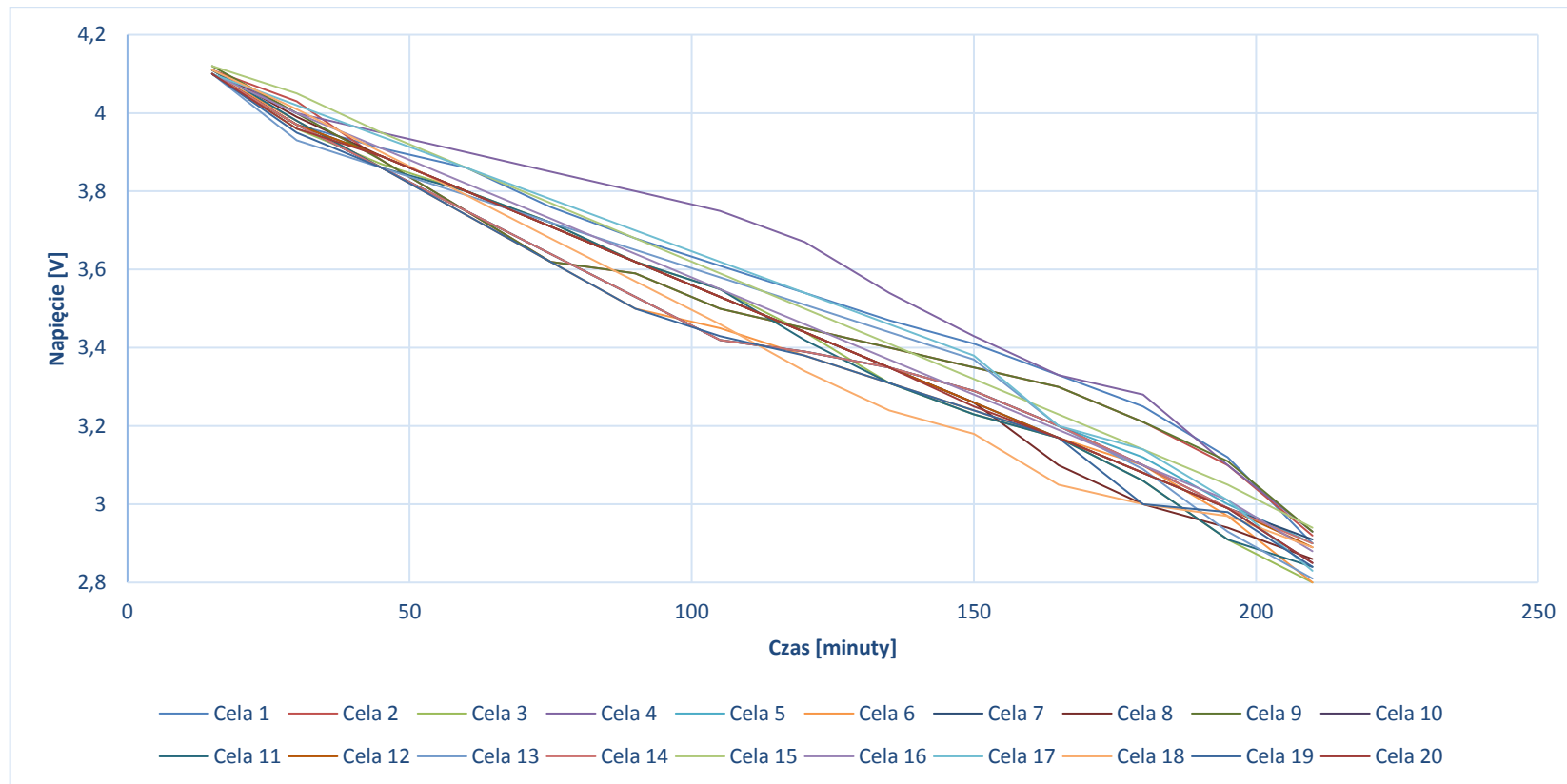


Wykres 225. Seria pierwsza rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 132. Seria druga rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,1	4,11	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,11	4,12	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,12	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	15	82,09	30
3,97	4,03	3,96	4	3,97	3,98	3,97	3,99	4	3,97	3,98	3,97	3,93	3,97	4,05	4	4,02	4,01	3,95	3,96	30	79,68	30
3,91	3,88	3,87	3,95	3,86	3,86	3,89	3,89	3,88	3,86	3,86	3,89	3,86	3,86	3,95	3,91	3,94	3,9	3,86	3,89	45	77,77	30
3,86	3,75	3,8	3,9	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,8	3,79	3,75	3,86	3,82	3,86	3,79	3,74	3,8	60	75,91	30
3,76	3,62	3,72	3,85	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,71	3,72	3,64	3,77	3,73	3,78	3,68	3,62	3,71	75	73,97	30
3,68	3,59	3,62	3,8	3,53	3,5	3,62	3,62	3,59	3,53	3,62	3,62	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,57	3,5	3,62	90	72,21	30
3,61	3,5	3,55	3,75	3,42	3,45	3,53	3,53	3,5	3,42	3,55	3,53	3,58	3,42	3,59	3,55	3,62	3,46	3,43	3,53	105	70,52	30
3,54	3,45	3,44	3,67	3,39	3,38	3,44	3,44	3,45	3,39	3,42	3,44	3,51	3,39	3,5	3,46	3,54	3,34	3,38	3,44	120	69,01	30
3,47	3,4	3,31	3,54	3,35	3,31	3,35	3,35	3,4	3,35	3,31	3,35	3,44	3,35	3,41	3,37	3,46	3,24	3,31	3,35	135	67,42	30
3,41	3,35	3,23	3,43	3,29	3,24	3,26	3,26	3,35	3,29	3,23	3,26	3,37	3,29	3,32	3,28	3,38	3,18	3,24	3,25	150	65,91	30
3,33	3,3	3,17	3,33	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,2	3,2	3,23	3,19	3,2	3,05	3,17	3,17	165	64,02	30
3,25	3,21	3,06	3,28	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,06	3,08	3,09	3,1	3,14	3,1	3,14	3	3	3,08	180	62,2	30
3,12	3,1	2,91	3,1	3	2,97	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	2,99	2,93	2,99	3,05	3,01	3,01	2,97	2,98	2,99	195	60,06	30
2,9	2,92	2,8	2,93	2,9	2,8	2,91	2,86	2,93	2,85	2,84	2,89	2,81	2,9	2,94	2,88	2,83	2,89	2,84	2,85	210	57,47	30

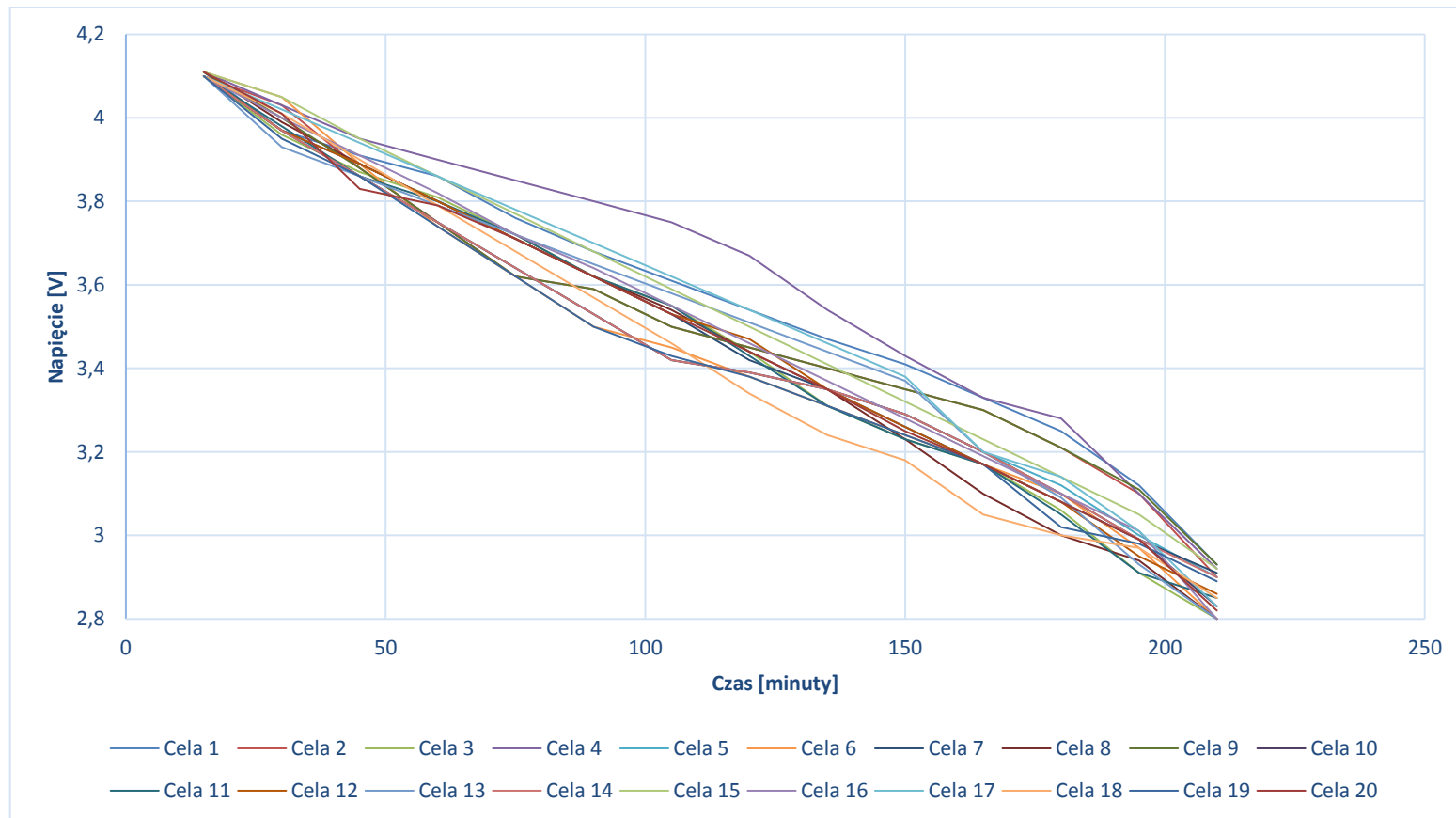


Wykres 226. Seria druga rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 133. Seria trzecia rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,11	4,1	4,1	4,11	4,1	4,11	4,1	4,11	4,11	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,1	4,11	15	82,07	30
3,97	4,03	3,96	4,03	3,97	4,05	3,97	3,99	4	3,97	3,98	3,97	3,93	3,97	4,05	4	4,02	4,01	3,95	4,01	30	79,83	30
3,91	3,88	3,87	3,95	3,86	3,89	3,89	3,89	3,88	3,86	3,86	3,89	3,86	3,86	3,95	3,91	3,94	3,9	3,86	3,83	45	77,74	30
3,86	3,75	3,81	3,9	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,8	3,79	3,75	3,86	3,82	3,86	3,79	3,74	3,79	60	75,91	30
3,76	3,62	3,72	3,85	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,71	3,72	3,64	3,77	3,72	3,78	3,68	3,62	3,71	75	73,96	30
3,68	3,59	3,62	3,8	3,53	3,5	3,62	3,62	3,59	3,53	3,62	3,62	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,57	3,5	3,62	90	72,21	30
3,61	3,5	3,55	3,75	3,42	3,45	3,53	3,54	3,5	3,42	3,55	3,53	3,58	3,42	3,59	3,55	3,62	3,46	3,43	3,53	105	70,53	30
3,54	3,45	3,44	3,67	3,39	3,38	3,42	3,44	3,45	3,39	3,43	3,47	3,51	3,39	3,5	3,46	3,54	3,34	3,38	3,44	120	69,03	30
3,47	3,4	3,31	3,54	3,35	3,31	3,35	3,35	3,4	3,35	3,31	3,35	3,44	3,35	3,41	3,37	3,46	3,24	3,31	3,35	135	67,42	30
3,41	3,35	3,23	3,43	3,29	3,24	3,26	3,23	3,35	3,29	3,23	3,26	3,37	3,29	3,32	3,28	3,38	3,18	3,24	3,25	150	65,88	30
3,33	3,3	3,17	3,33	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,2	3,2	3,23	3,19	3,2	3,05	3,17	3,17	165	64,02	30
3,25	3,21	3,06	3,28	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,05	3,08	3,09	3,1	3,14	3,1	3,14	3	3,02	3,08	180	62,21	30
3,12	3,1	2,91	3,1	3	2,97	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	2,95	2,93	2,99	3,05	3,01	3,01	2,97	2,98	2,99	195	60,02	30
2,93	2,9	2,8	2,92	2,9	2,8	2,91	2,8	2,93	2,83	2,85	2,86	2,8	2,9	2,92	2,8	2,83	2,85	2,89	2,82	210	57,24	30

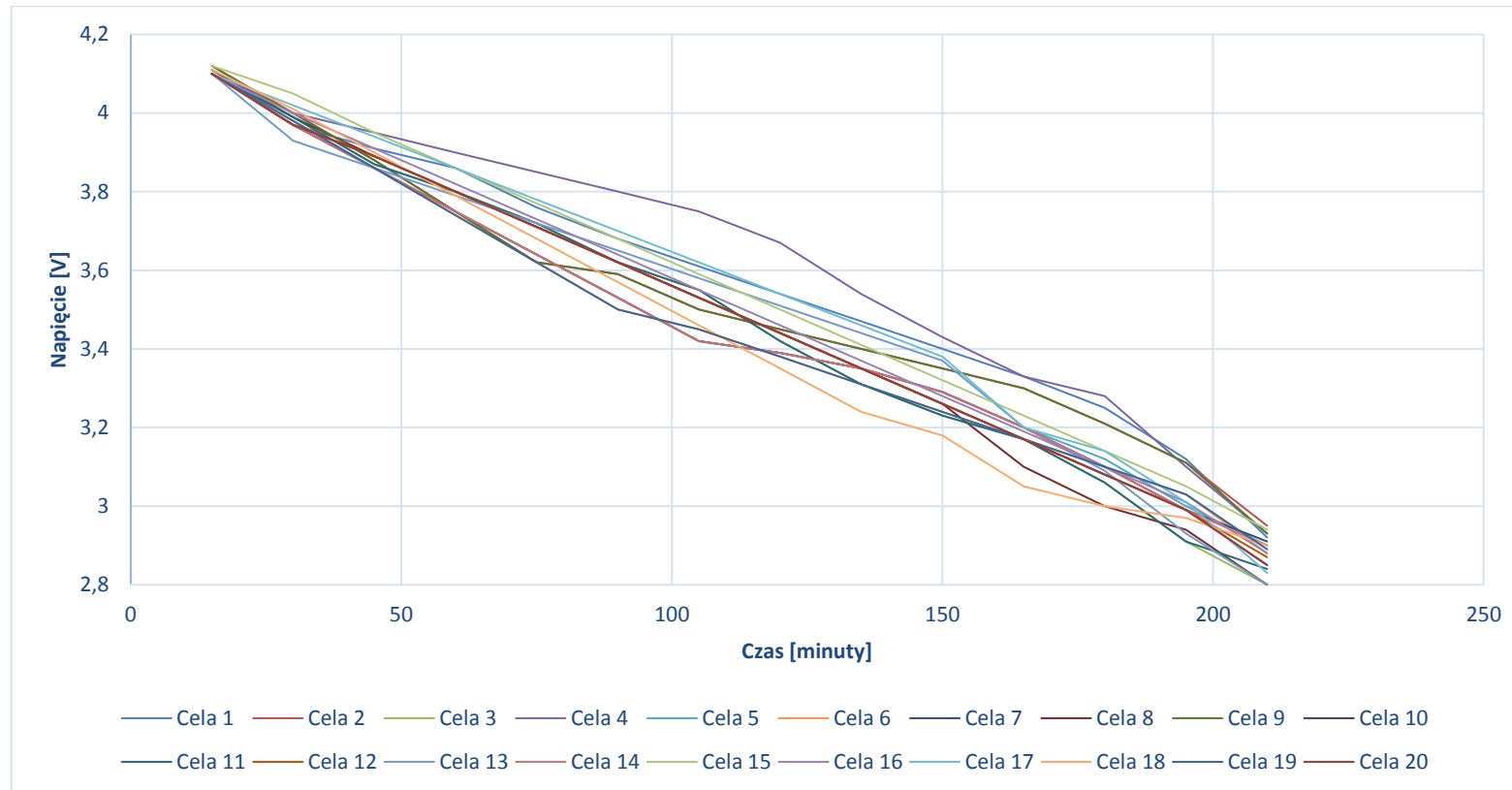


Wykres 227. Seria trzecia rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 134. Seria czwarta rozładowania ogniwi li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,1	4,12	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,11	4,12	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,12	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	15	82,09	30
3,97	4	3,99	4	3,97	3,98	3,97	3,99	4	3,97	3,99	3,97	3,93	3,97	4,05	4	4,02	4,01	3,98	3,97	30	79,73	30
3,91	3,88	3,87	3,95	3,86	3,86	3,89	3,89	3,88	3,86	3,87	3,89	3,86	3,86	3,95	3,91	3,94	3,9	3,86	3,89	45	77,78	30
3,86	3,75	3,8	3,9	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,8	3,79	3,75	3,86	3,82	3,86	3,79	3,74	3,8	60	75,91	30
3,76	3,62	3,72	3,85	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,71	3,72	3,64	3,77	3,73	3,78	3,68	3,62	3,71	75	73,97	30
3,68	3,59	3,62	3,8	3,53	3,5	3,62	3,62	3,59	3,53	3,62	3,62	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,57	3,5	3,62	90	72,21	30
3,61	3,5	3,55	3,75	3,42	3,45	3,53	3,53	3,5	3,42	3,55	3,53	3,58	3,42	3,59	3,55	3,62	3,46	3,45	3,53	105	70,54	30
3,54	3,45	3,42	3,67	3,39	3,38	3,44	3,44	3,45	3,39	3,42	3,44	3,51	3,39	3,5	3,46	3,54	3,35	3,38	3,44	120	69	30
3,47	3,4	3,31	3,54	3,35	3,31	3,35	3,35	3,4	3,35	3,31	3,35	3,44	3,35	3,41	3,37	3,46	3,24	3,31	3,35	135	67,42	30
3,4	3,35	3,23	3,43	3,29	3,24	3,26	3,26	3,35	3,29	3,23	3,26	3,37	3,29	3,32	3,28	3,38	3,18	3,24	3,26	150	65,91	30
3,33	3,3	3,17	3,33	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,2	3,2	3,23	3,19	3,2	3,05	3,17	3,17	165	64,02	30
3,25	3,21	3,06	3,28	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,06	3,08	3,09	3,1	3,14	3,1	3,14	3	3,1	3,08	180	62,3	30
3,12	3,11	2,91	3,1	3	3,03	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	2,99	2,93	2,99	3,05	3,01	3,01	2,97	3,03	2,99	195	60,18	30
2,92	2,95	2,8	2,93	2,9	2,88	2,91	2,8	2,93	2,85	2,84	2,87	2,8	2,9	2,94	2,88	2,83	2,9	2,89	2,85	210	57,57	30

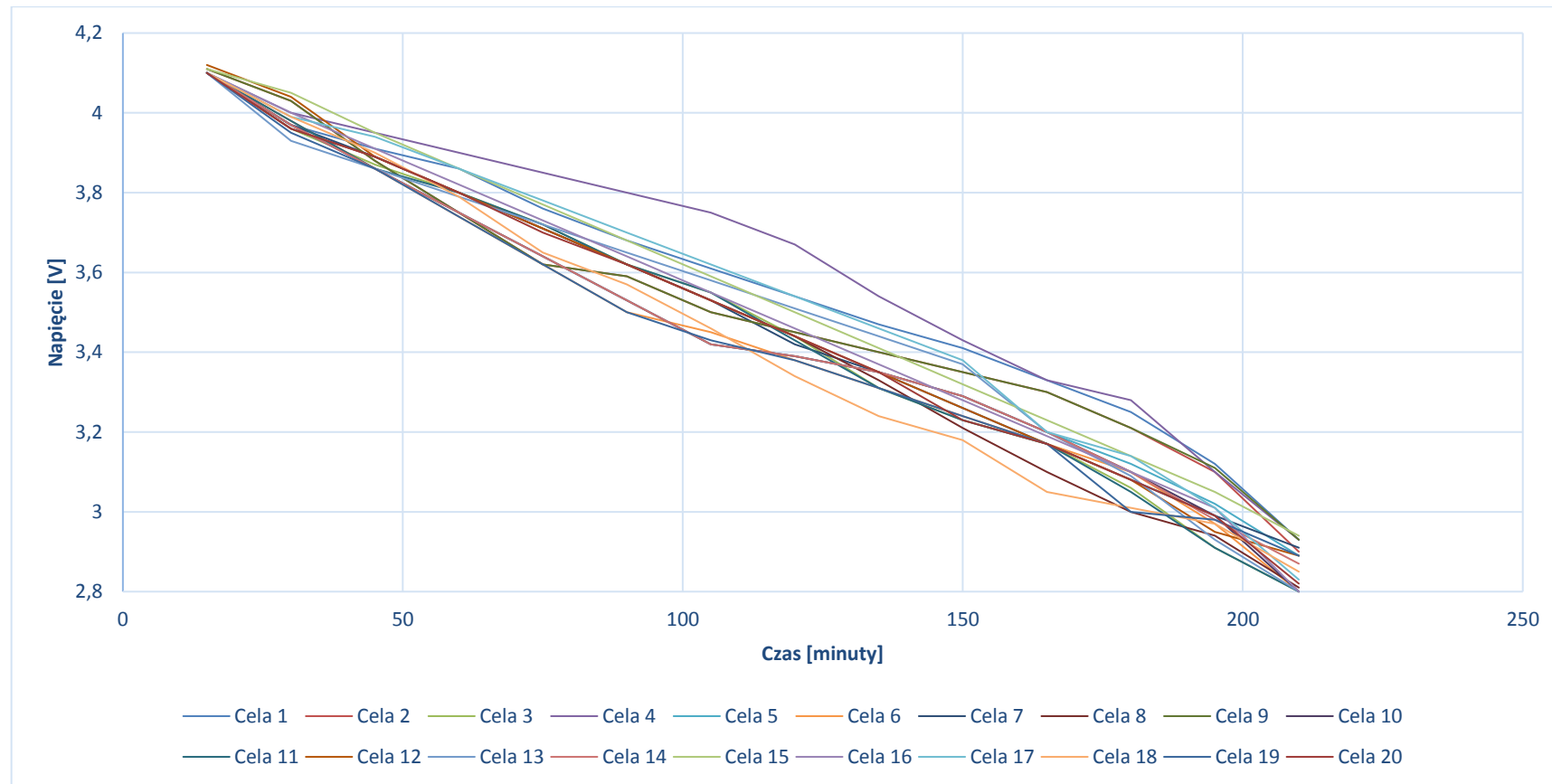


Wykres 228. Seria czwarta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 135. Seria piąta rozładowania ogniwi li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	4,12	4,1	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,1	15	86,15	30
3,97	4,03	3,96	4	3,97	3,98	3,97	3,96	4,03	3,97	3,98	4,04	3,98	3,93	3,97	4,05	4	3,99	3,99	3,95	30	83,68	30
3,91	3,88	3,87	3,95	3,86	3,86	3,89	3,89	3,88	3,86	3,86	3,89	3,86	3,86	3,86	3,95	3,91	3,94	3,9	3,86	45	81,63	30
3,86	3,75	3,8	3,9	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,8	3,74	3,79	3,75	3,86	3,82	3,86	3,79	3,74	60	79,65	30
3,76	3,62	3,72	3,85	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,71	3,62	3,72	3,64	3,77	3,73	3,78	3,65	3,62	75	77,55	30
3,68	3,59	3,62	3,8	3,53	3,5	3,62	3,62	3,59	3,53	3,62	3,62	3,5	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,57	3,5	90	75,71	30
3,61	3,5	3,55	3,75	3,42	3,45	3,53	3,53	3,5	3,42	3,55	3,53	3,45	3,58	3,42	3,59	3,55	3,62	3,46	3,43	105	73,97	30
3,54	3,45	3,44	3,67	3,39	3,38	3,42	3,44	3,45	3,39	3,43	3,44	3,38	3,51	3,39	3,5	3,46	3,54	3,34	3,38	120	72,38	30
3,47	3,4	3,31	3,54	3,35	3,31	3,35	3,33	3,4	3,35	3,31	3,35	3,31	3,44	3,35	3,41	3,37	3,46	3,24	3,31	135	70,71	30
3,41	3,35	3,23	3,43	3,29	3,24	3,26	3,21	3,35	3,29	3,23	3,26	3,24	3,37	3,29	3,32	3,28	3,38	3,18	3,24	150	69,08	30
3,33	3,3	3,17	3,33	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,17	3,2	3,2	3,23	3,19	3,2	3,05	3,17	165	67,19	30
3,25	3,21	3,06	3,28	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,05	3,08	3,1	3,09	3,1	3,14	3,1	3,14	3,01	3	180	65,3	30
3,12	3,1	2,91	3,1	3,02	2,97	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	2,95	3,03	2,93	2,98	3,05	3,01	3,01	2,97	2,98	195	63,06	30
2,93	2,9	2,8	2,93	2,89	2,8	2,91	2,81	2,93	2,8	2,8	2,89	2,85	2,8	2,87	2,94	2,8	2,83	2,85	2,89	210	60,04	30

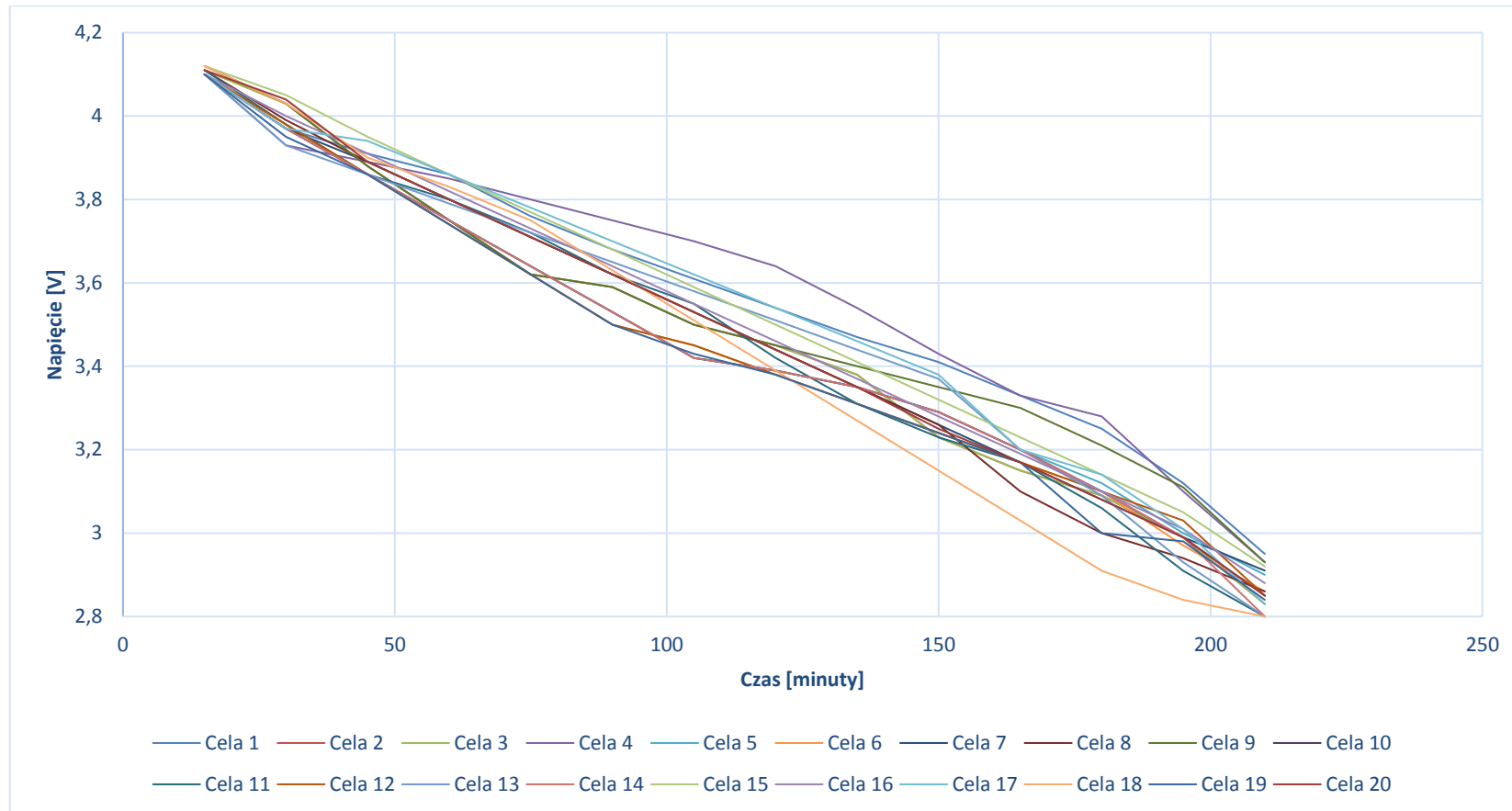


Wykres 229. Seria piąta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 136. Seria szósta rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,11	4,12	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,12	4,1	4,1	4,12	4,1	4,11	15	82,1	30
3,97	4,03	3,96	3,93	3,97	3,98	3,97	3,99	4,03	3,97	3,98	3,98	3,93	3,97	4,05	4	3,97	4,03	3,95	4,04	30	79,7	30
3,91	3,88	3,87	3,89	3,86	3,86	3,89	3,89	3,88	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,95	3,91	3,94	3,9	3,86	3,89	45	77,68	30
3,86	3,75	3,8	3,85	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,74	3,79	3,75	3,86	3,82	3,86	3,83	3,74	3,8	60	75,84	30
3,76	3,62	3,72	3,8	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,62	3,72	3,64	3,77	3,73	3,78	3,75	3,62	3,71	75	73,9	30
3,68	3,59	3,62	3,75	3,53	3,5	3,62	3,62	3,59	3,53	3,62	3,5	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,63	3,5	3,62	90	72,1	30
3,61	3,5	3,55	3,7	3,42	3,45	3,53	3,53	3,5	3,42	3,55	3,45	3,58	3,42	3,59	3,55	3,62	3,51	3,43	3,53	105	70,44	30
3,54	3,45	3,44	3,64	3,39	3,38	3,44	3,44	3,45	3,39	3,42	3,38	3,51	3,39	3,5	3,46	3,54	3,39	3,38	3,44	120	68,97	30
3,47	3,38	3,31	3,54	3,35	3,31	3,35	3,35	3,4	3,35	3,31	3,31	3,44	3,35	3,41	3,37	3,46	3,27	3,31	3,35	135	67,39	30
3,41	3,23	3,23	3,43	3,29	3,24	3,26	3,26	3,35	3,29	3,23	3,24	3,37	3,29	3,32	3,28	3,38	3,15	3,24	3,25	150	65,74	30
3,33	3,15	3,17	3,33	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,2	3,2	3,23	3,19	3,2	3,03	3,17	3,17	165	63,85	30
3,25	3,09	3,06	3,28	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,06	3,1	3,09	3,1	3,14	3,1	3,14	2,91	3	3,08	180	62,01	30
3,12	2,99	2,91	3,1	3	2,97	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	3,03	2,93	2,99	3,05	3,01	3,01	2,84	2,98	2,99	195	59,86	30
2,95	2,83	2,81	2,93	2,9	2,86	2,91	2,86	2,93	2,85	2,8	2,85	2,8	2,8	2,92	2,88	2,83	2,8	2,84	2,85	210	57,2	30

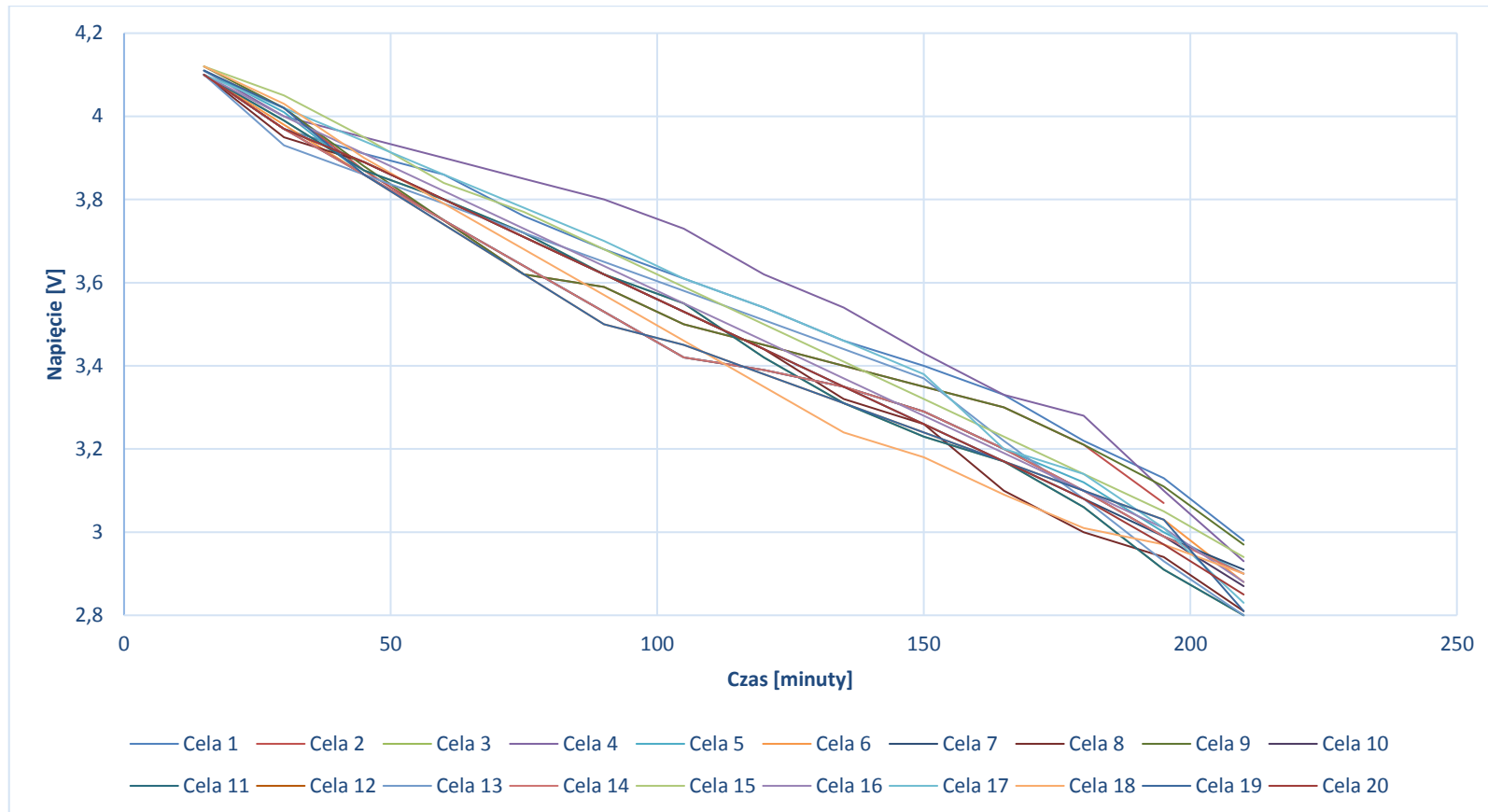


Wykres 230. Seria szósta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 137. Seria siódma rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,1	4,11	4,1	4,11	4,11	4,1	4,1	4,1	4,12	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,12	4,1	4,1	4,12	4,11	4,1	15	82,1	30
3,97	4,02	3,99	4	4,01	3,98	3,97	3,95	4,02	3,97	3,99	3,97	3,93	3,97	4,05	4	4,02	4,03	4,02	3,97	30	79,83	30
3,91	3,87	3,87	3,95	3,86	3,86	3,89	3,89	3,88	3,86	3,87	3,89	3,86	3,86	3,95	3,91	3,94	3,9	3,86	3,89	45	77,77	30
3,86	3,75	3,8	3,9	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,8	3,79	3,75	3,84	3,82	3,86	3,79	3,74	3,8	60	75,89	30
3,76	3,62	3,72	3,85	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,71	3,72	3,64	3,77	3,73	3,78	3,68	3,62	3,71	75	73,97	30
3,68	3,59	3,62	3,8	3,53	3,5	3,62	3,62	3,59	3,53	3,62	3,62	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,57	3,5	3,62	90	72,21	30
3,61	3,5	3,55	3,73	3,42	3,45	3,53	3,53	3,5	3,42	3,55	3,53	3,58	3,42	3,59	3,55	3,61	3,46	3,45	3,53	105	70,51	30
3,54	3,45	3,42	3,62	3,39	3,38	3,44	3,44	3,45	3,39	3,42	3,44	3,51	3,39	3,5	3,46	3,54	3,35	3,38	3,44	120	68,95	30
3,46	3,4	3,31	3,54	3,35	3,31	3,35	3,32	3,4	3,35	3,31	3,35	3,44	3,35	3,41	3,37	3,46	3,24	3,31	3,35	135	67,38	30
3,4	3,35	3,23	3,43	3,29	3,24	3,26	3,26	3,35	3,29	3,23	3,26	3,37	3,29	3,32	3,28	3,38	3,18	3,24	3,26	150	65,91	30
3,33	3,3	3,17	3,33	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,22	3,2	3,23	3,19	3,2	3,09	3,17	3,17	165	64,08	30
3,22	3,21	3,06	3,28	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,06	3,08	3,08	3,1	3,14	3,1	3,14	3,01	3,1	3,08	180	62,27	30
3,13	3,07	2,91	3,1	3	3,03	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	2,99	2,93	2,99	3,05	3,01	3,01	2,97	3,03	2,97	195	60,13	30
2,98	2,91	2,8	2,93	2,9	2,88	2,91	2,81	2,97	2,87	2,8	2,87	2,8	2,9	2,94	2,88	2,83	2,9	2,81	2,85	210	57,54	30

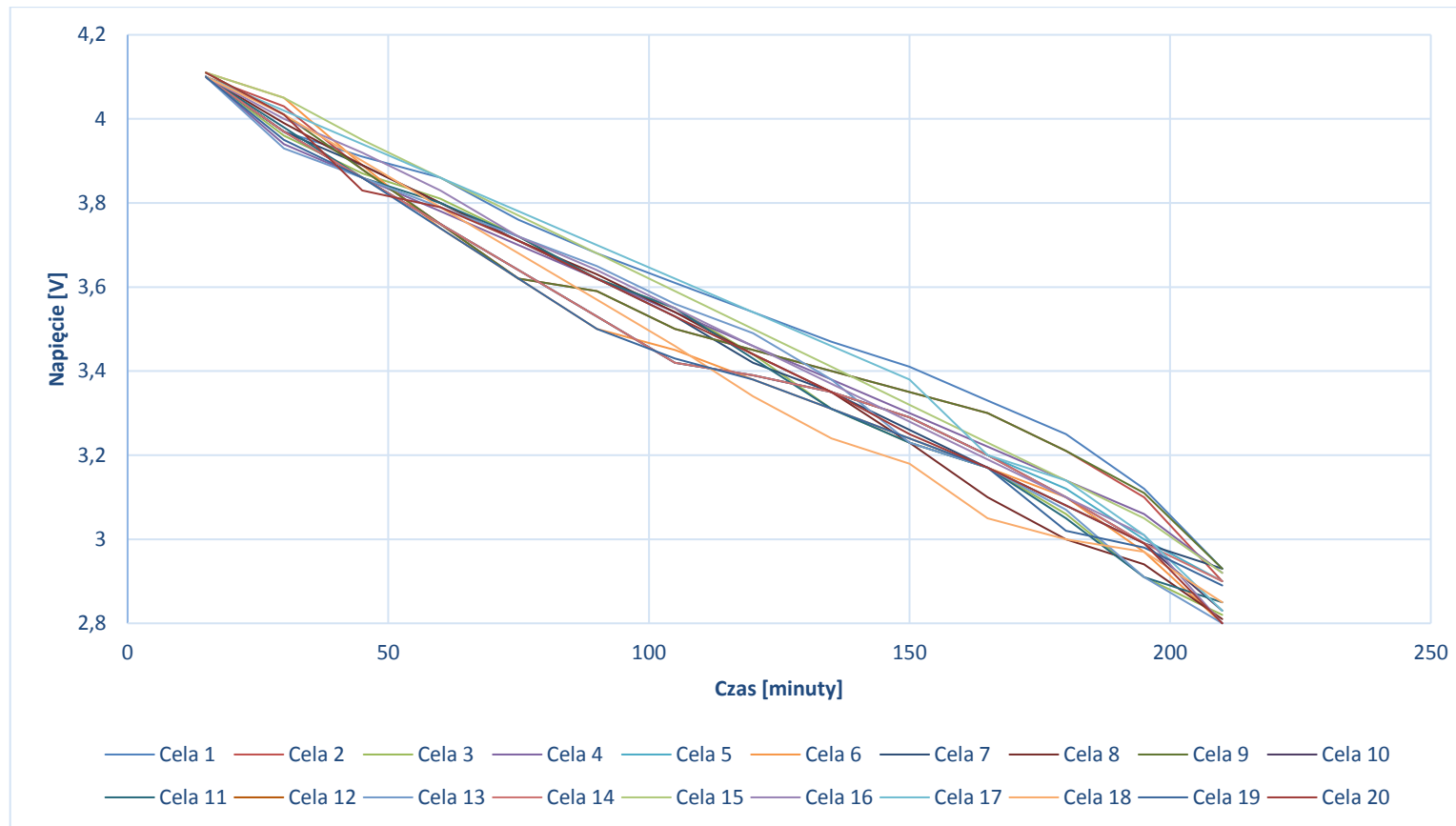


Wykres 231. Seria siódma rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 138. Seria ósma rozładowania ogniwi li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,1	4,11	15	82,04	30
3,97	4,03	3,96	3,94	3,97	4,05	3,97	3,99	4,01	3,97	3,98	3,97	3,93	3,97	4,05	4	4,02	4,01	3,95	4,01	30	79,75	30
3,91	3,88	3,87	3,86	3,86	3,89	3,89	3,89	3,88	3,86	3,86	3,89	3,86	3,86	3,95	3,92	3,94	3,9	3,86	3,83	45	77,66	30
3,86	3,75	3,81	3,78	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,8	3,79	3,75	3,86	3,83	3,86	3,79	3,74	3,79	60	75,8	30
3,76	3,62	3,72	3,7	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,71	3,72	3,64	3,77	3,72	3,78	3,68	3,62	3,71	75	73,81	30
3,68	3,59	3,62	3,62	3,53	3,5	3,62	3,63	3,59	3,53	3,62	3,62	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,57	3,5	3,62	90	72,04	30
3,61	3,5	3,55	3,54	3,42	3,45	3,53	3,54	3,5	3,42	3,55	3,53	3,56	3,42	3,59	3,55	3,62	3,46	3,43	3,53	105	70,3	30
3,54	3,45	3,44	3,46	3,39	3,38	3,42	3,44	3,45	3,39	3,43	3,47	3,49	3,39	3,5	3,46	3,54	3,34	3,38	3,44	120	68,8	30
3,47	3,4	3,31	3,38	3,35	3,31	3,35	3,35	3,4	3,35	3,31	3,35	3,38	3,35	3,41	3,37	3,46	3,24	3,31	3,35	135	67,2	30
3,41	3,35	3,23	3,3	3,29	3,24	3,26	3,23	3,35	3,29	3,23	3,26	3,23	3,29	3,32	3,28	3,38	3,18	3,24	3,25	150	65,61	30
3,33	3,3	3,17	3,22	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,17	3,2	3,23	3,19	3,2	3,05	3,17	3,17	165	63,88	30
3,25	3,21	3,06	3,14	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,05	3,08	3,07	3,1	3,14	3,1	3,14	3	3,02	3,08	180	62,05	30
3,12	3,1	2,91	3,06	3	2,97	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	2,95	2,91	2,99	3,05	3,01	3,01	2,97	2,98	2,99	195	59,96	30
2,93	2,9	2,82	2,92	2,9	2,8	2,93	2,81	2,93	2,83	2,85	2,86	2,8	2,9	2,92	2,8	2,83	2,85	2,89	2,8	210	57,27	30

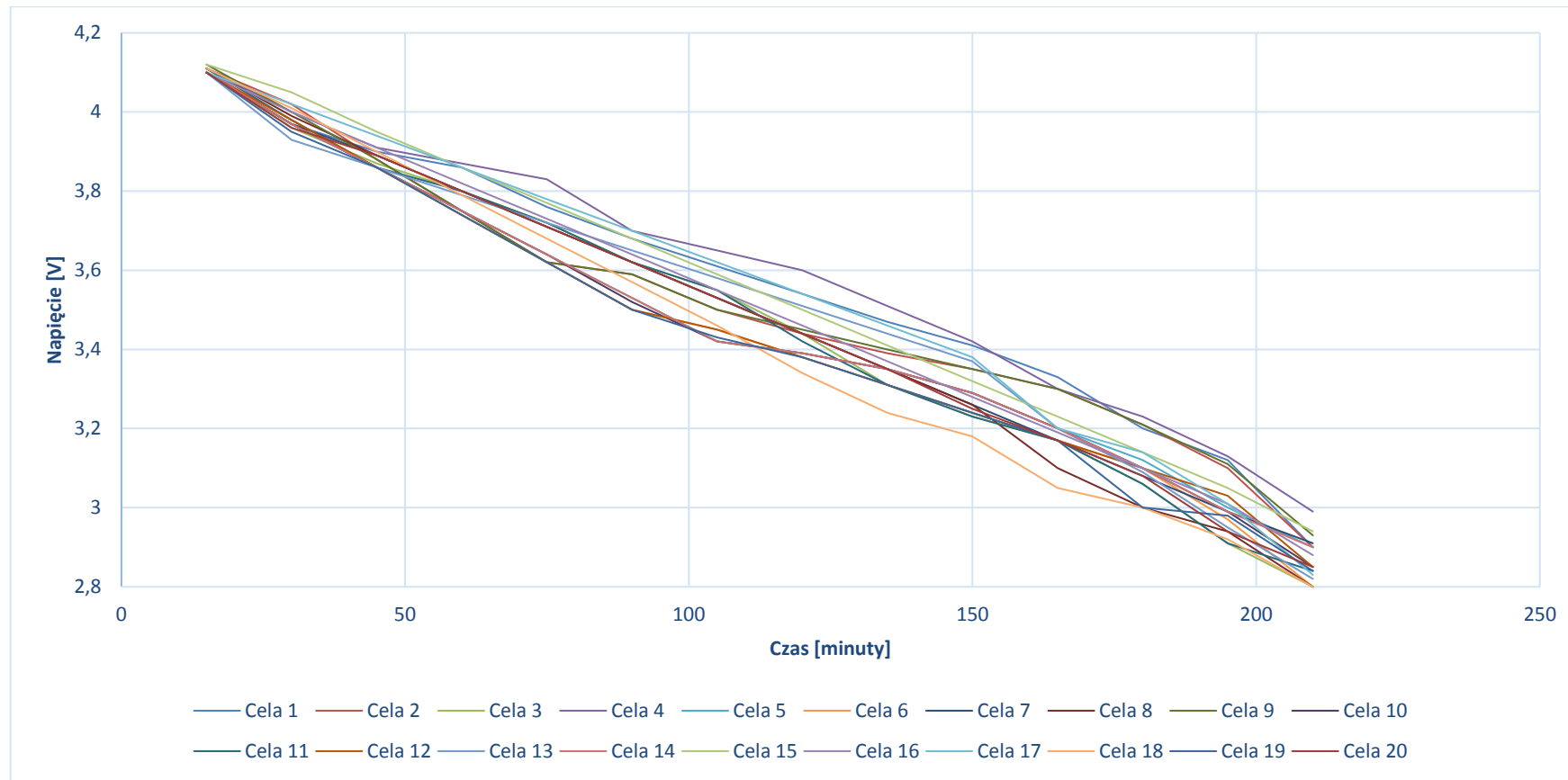


Wykres 232. Seria ósma rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 139. Seria dziewiąta rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,1	4,11	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,11	4,12	4,1	4,11	4,1	4,1	4,1	4,12	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	15	82,09	30
3,97	4,02	3,96	4	3,97	3,98	3,97	3,99	4	3,97	3,98	3,98	3,93	3,97	4,05	4	4,02	4,01	3,95	3,96	30	79,68	30
3,9	3,88	3,87	3,91	3,86	3,86	3,89	3,89	3,88	3,86	3,86	3,86	3,86	3,86	3,95	3,91	3,94	3,9	3,86	3,89	45	77,69	30
3,86	3,75	3,8	3,87	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,74	3,79	3,75	3,86	3,82	3,86	3,79	3,74	3,8	60	75,82	30
3,76	3,62	3,72	3,83	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,62	3,72	3,64	3,77	3,73	3,78	3,68	3,62	3,71	75	73,86	30
3,68	3,59	3,62	3,7	3,53	3,5	3,62	3,62	3,59	3,52	3,62	3,5	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,57	3,5	3,62	90	71,98	30
3,61	3,5	3,55	3,65	3,42	3,45	3,53	3,53	3,5	3,42	3,55	3,45	3,58	3,42	3,59	3,55	3,62	3,46	3,43	3,53	105	70,34	30
3,54	3,44	3,44	3,6	3,39	3,38	3,44	3,44	3,45	3,39	3,42	3,38	3,51	3,39	3,5	3,46	3,54	3,34	3,38	3,44	120	68,87	30
3,47	3,39	3,31	3,51	3,35	3,31	3,35	3,35	3,4	3,35	3,31	3,31	3,44	3,35	3,41	3,37	3,46	3,24	3,31	3,35	135	67,34	30
3,41	3,35	3,23	3,42	3,29	3,24	3,26	3,26	3,35	3,29	3,23	3,24	3,37	3,29	3,32	3,28	3,38	3,18	3,24	3,25	150	65,88	30
3,33	3,3	3,17	3,3	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,2	3,2	3,23	3,19	3,2	3,05	3,17	3,17	165	63,99	30
3,2	3,21	3,06	3,23	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,06	3,1	3,09	3,1	3,14	3,1	3,14	3	3	3,08	180	62,12	30
3,12	3,1	2,91	3,13	3	2,97	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	3,03	2,95	2,99	3,05	3,01	3,01	2,92	2,98	2,94	195	60,05	30
2,9	2,9	2,8	2,99	2,9	2,8	2,91	2,8	2,93	2,85	2,84	2,85	2,82	2,9	2,94	2,88	2,83	2,8	2,84	2,85	210	57,33	30

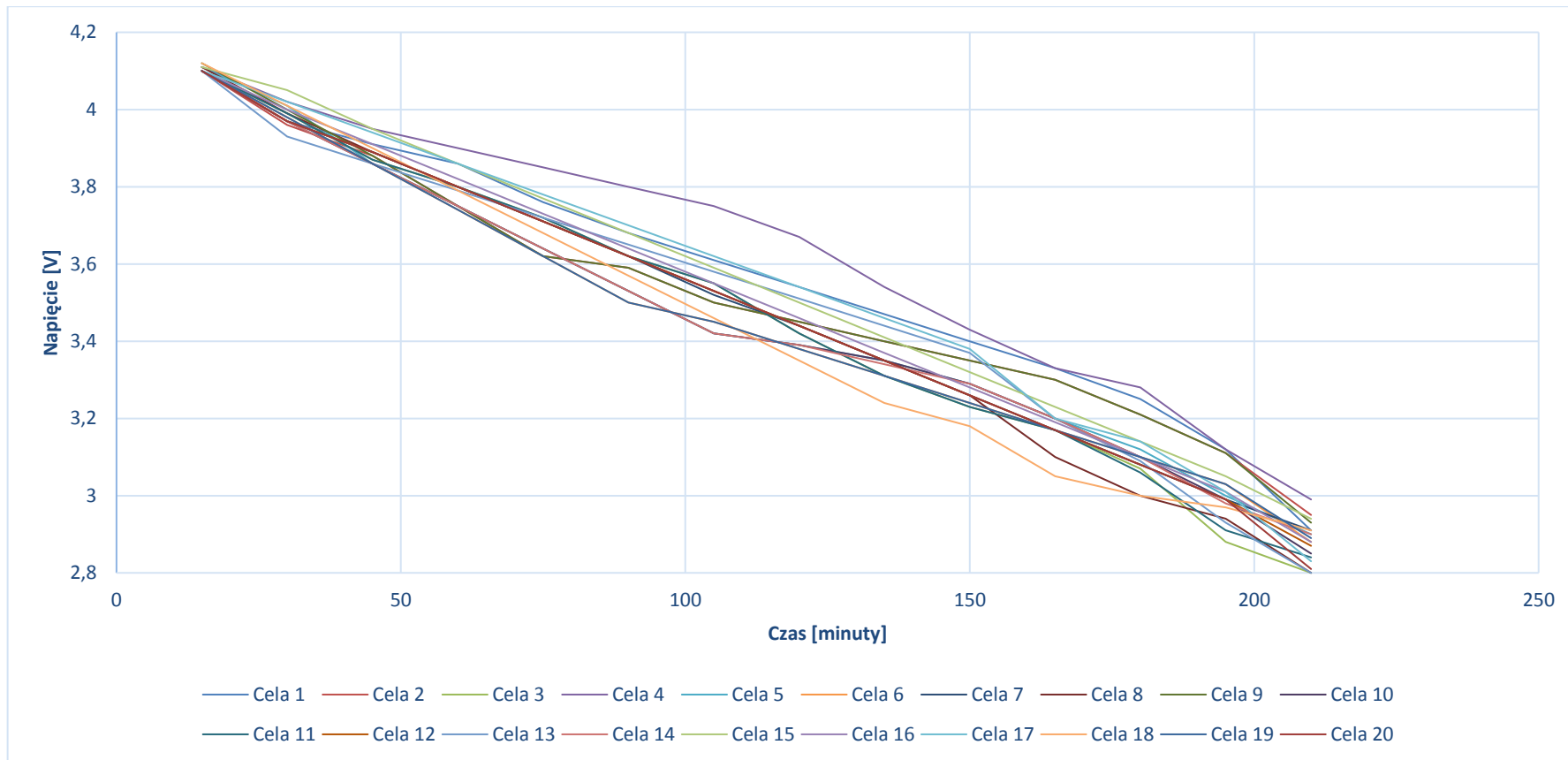


Wykres 233. Seria dziewiąta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 140. Seria dziesiąta rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
4,1	4,1	4,1	4,11	4,11	4,1	4,1	4,11	4,12	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,11	4,1	4,1	4,12	4,1	4,1	15	82,08	30
3,97	3,96	3,99	4,02	4,01	3,98	3,97	3,99	4	3,97	3,99	3,97	3,93	3,97	4,05	4	4,02	4,01	3,98	3,97	30	79,75	30
3,91	3,88	3,87	3,95	3,86	3,86	3,89	3,89	3,88	3,86	3,87	3,89	3,86	3,86	3,95	3,91	3,94	3,9	3,86	3,89	45	77,78	30
3,86	3,75	3,8	3,9	3,75	3,74	3,8	3,8	3,75	3,75	3,8	3,8	3,79	3,75	3,86	3,82	3,86	3,79	3,74	3,8	60	75,91	30
3,76	3,62	3,72	3,85	3,64	3,62	3,71	3,71	3,62	3,64	3,72	3,71	3,72	3,64	3,77	3,73	3,78	3,68	3,62	3,71	75	73,97	30
3,68	3,59	3,62	3,8	3,53	3,5	3,62	3,62	3,59	3,53	3,62	3,62	3,65	3,53	3,68	3,64	3,7	3,57	3,5	3,62	90	72,21	30
3,61	3,5	3,55	3,75	3,42	3,45	3,52	3,53	3,5	3,42	3,55	3,53	3,58	3,42	3,59	3,55	3,62	3,46	3,45	3,53	105	70,53	30
3,54	3,45	3,42	3,67	3,39	3,38	3,44	3,44	3,45	3,39	3,42	3,44	3,51	3,39	3,5	3,46	3,54	3,35	3,38	3,44	120	69	30
3,47	3,4	3,31	3,54	3,35	3,31	3,35	3,35	3,4	3,35	3,31	3,35	3,44	3,34	3,41	3,37	3,46	3,24	3,31	3,35	135	67,41	30
3,4	3,35	3,23	3,43	3,29	3,24	3,26	3,26	3,35	3,29	3,23	3,26	3,37	3,29	3,32	3,28	3,38	3,18	3,24	3,26	150	65,91	30
3,33	3,3	3,17	3,33	3,2	3,17	3,17	3,1	3,3	3,2	3,17	3,17	3,2	3,2	3,23	3,19	3,2	3,05	3,17	3,17	165	64,02	30
3,25	3,21	3,07	3,28	3,12	3,1	3,08	3	3,21	3,1	3,06	3,08	3,09	3,1	3,14	3,1	3,14	3	3,1	3,08	180	62,31	30
3,12	3,11	2,88	3,12	3	3,03	2,99	2,94	3,11	2,99	2,91	2,99	2,93	2,98	3,05	3,01	3,01	2,97	3,03	2,99	195	60,16	30
2,91	2,95	2,8	2,99	2,9	2,88	2,91	2,8	2,93	2,85	2,84	2,87	2,8	2,9	2,94	2,88	2,83	2,91	2,89	2,81	210	57,59	30

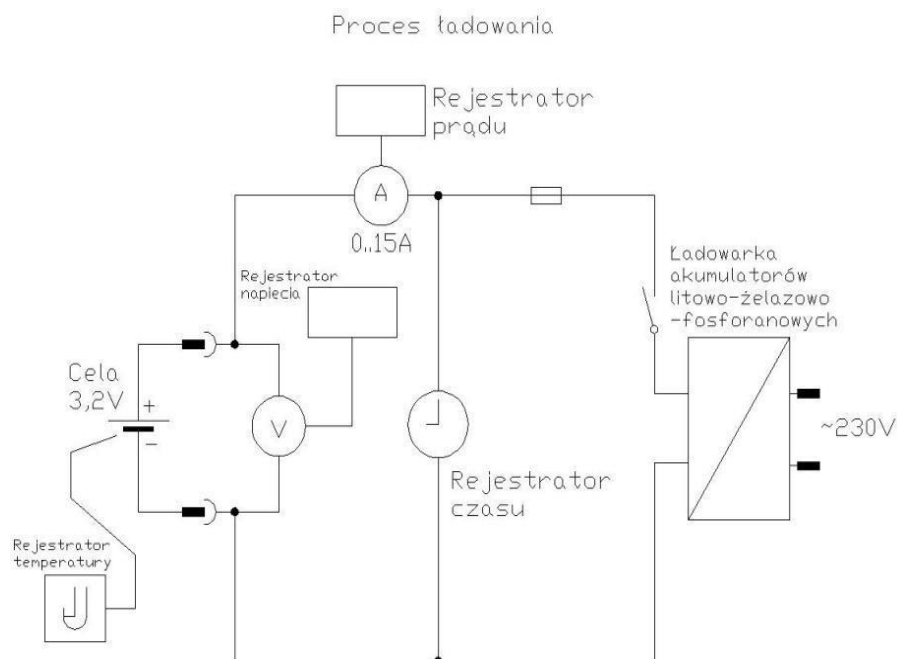


Wykres 234. Seria dziesiąta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną

9 Cele LiFePO₄ - litowo – żelazowo – fosforanowe

Akumulatory litowo-żelazowo-fosforanowe (LiFePO₄) są kolejną odmianą akumulatorów litowych. Tego typu ogniwa charakteryzują się znamionowym napięciem pracy wynoszącym 3,2V. Akumulatory LiFePO₄ prezentują wysoką technologię, która łączy zalety wysokiej wydajności prądowej, długiego czasu eksploatacji, bezpieczeństwa oraz dużej gęstości energetycznej. Poprzez swoje napięcie 3,2V i przy maksymalnym naładowaniu są idealną alternatywą dla ciężkich ołowiowych akumulatorów samochodowych. Ogniwa te mają najlepszą krzywą rozładowania, ponieważ rozładowują się równomiernie i do ostatniej chwili swojego naładowania oferują około 3V napięcia, czyli mają jedną z najlepszych efektywności energetycznych. Kolejną cechą, która wyróżnia je spośród innych to liczba cykli, która może wynosić nawet do 2000 cykli przy rozładowaniach 0,2C. W działaniu akumulatora żelazowego kluczowe znaczenie ma jego krystaliczna budowa LiFePO₄, który podczas procesu ładowania oddaje jony litu i pozostaje jako fosforan żelaza FePO₄ o niezmięnionej budowie krystalicznej.

Akumulatory LiFePO₄ ładuje się tak jak wszystkie akumulatory litowe metodą CC-CV (constant current/constant voltage). Polega ona na ładowaniu akumulatora w dwóch etapach: pierwszym z ograniczeniem prądu do wartości dopuszczalnej dla danego ogniwa, aż do osiągnięcia przez akumulator napięcia 4,2V. Natomiast w drugim etapie prąd akumulatora samoistnie spada, a zadaniem ładowarki jest stabilizacja napięcia 4,2V na zaciskach. W tym miejscu istotna jest dokładna stabilizacja napięcia (producenci zazwyczaj podają dopuszczalną tolerancję 0,05V). W momencie, gdy w drugiej fazie ładowania prąd ogniwa spadnie poniżej 0,04...0,05C to przyjmujemy, że proces ładowania został zakończony. W czasie użytkowania akumulatorów, należy monitorować stan napięcia i jeśli spadnie poniżej 3V, należy przerwać pobór prądu. Poświadczona przez producentów trwałość ogniwa mieści się w przedziale 1000...2000 cykli, jednak jest to próg bardzo optymistyczny. Aby przedłużyć żywotność ogniwa to warto zastosować pracę w tzw. małym oknie pojemności. Ogniwa LiFePO₄ nie należy ładować do pełna ani też wyładowywać do końca.



Rysunek 22. Schemat ładowania pojedynczej celi LiFePO4

9.1 Prace badawczo-pomiarowe

Instalacja laboratoryjna zbudowana jest z 24 cel połączonych szeregowo o napięciu 3,2V i pojemności minimum 100Ah.

Prace badawczo-pomiarowe dla cel LiFePO4 rozpoczynamy od wykonania ładowania-rozładowania rozruchowego wszystkich cel do osiągnięcia napięcia 3,2V. Wartość prądu rozładowania nie przekraczała 0,1C. Cykl trwał do momentu uzyskania minimalnego napięcia rozładowania – 2,2V. Zastosowanie niskiego prądu jest celowe ze względu na łagodne procesy zachodzące w celach oraz w celu zwiększenia trwałości cel. Cykle należy powtórzyć pięć razy, a w końcowym cyklu należy pozostawić cele w stanie naładowania. W badaniach cykli rozruchowych pomiary są sterowane oraz rejestrowane za pomocą ładowarki ICharger. Ważną kwestią jest zabezpieczenie cel podczas wszystkich cykli ładowania-rozładowania, stosując system nadzoru BMS. System kontroluje stan napięcia na każdej celi, zmniejszając ryzyko uszkodzenia czy zniszczenia.

Wykonywanie cykli ładowanie-rozładowanie ogniwo połączonych w jedną instalację laboratoryjną przeznaczoną do pojazdu elektrycznego ma na celu dobranie odpowiedniego typu

połączeń między celami oraz zachowanie i parametry utrzymywane przez cele pracujące w połączeniu szeregowym. Pomiary polegają na zbudowaniu układu pomiarowego zgodnie ze schematem na rysunku 22.

9.2 Łączenie instalacji laboratoryjnej składającej się z cel litowo-żelazowo-fosforanowych

Instalacja laboratoryjna złożona z cel litowo-żelazowo-fosforanowych została połączona wyłącznie z ogniów rozładowanych ponieważ na wypadek zwarcia mały prąd nie spowoduje dużych szkód. Instalacja laboratoryjna składa się z 24 cel o napięciu znamionowym 3,2V oraz pojemności 100Ah.

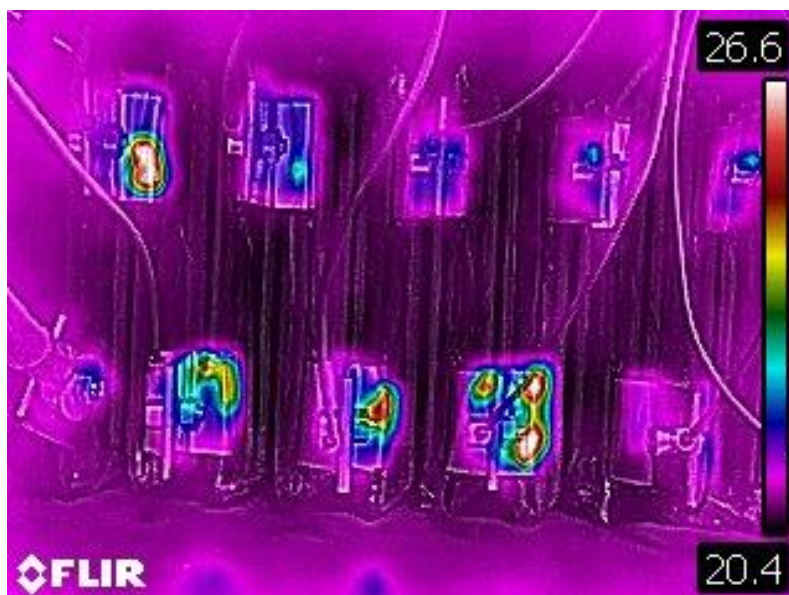
Cele łączymy ze sobą szeregowo w celu uzyskania większego napięcia. Maksymalne napięcie cel będących w stringu wynosi 86,4V. Połączenie szeregowo cel nie zmienia wartości pojemności. W przypadku takiego połączenia konieczne jest spełnienie określonych wymagań jakościowych. Ważne jest, aby parametry stosowanych ogniów były zgodne (tzn. taka sama pojemność, zbliżona rezystancja wewnętrzna, taka sama marka i typ, podobny stopień zużycia, z jednej serii produkcyjnej). Badania pod kątem sposobu łączenia ogniów litowo-żelazowo-fosforanowych w instalacji laboratoryjnej należy wykonać poprzez zaciski śrubowe. Jest to najbardziej optymalne połączenie. Połączenia zostaną odpowiednio udokumentowane (zdjęcia, charakterystyki). W celu lepszej oceny zostaną dodane również zdjęcia wykonane kamerą termowizyjną, potwierdzające najbardziej optymalne połączenie.

9.2.1 Połączenie poprzez zaciski śrubowe

Jest to najbardziej optymalne połączenie mechaniczne dla cel litowo-żelazowo-fosforanowych. Połączenie poprzez zaciski śrubowe (zdj.29) sprzyja przyleganiu całej powierzchni konektora celi. Rezystancja wewnętrzna złącza zmniejsza się do minimum i nie generuje znacznego wzrostu temperatury na elementach łączeniowych (zdj.30).



Zdjęcie 29. Połączenie cel LiFePO4 zaciskami śrubowymi



Zdjęcie 30. Połączenie cel LiFePO4 zaciskami śrubowymi- zdjęcie z kamery termowizyjnej

9.2.2 Połączenie poprzez zaciski sprężyste

Drugą możliwością łączenia cel LiFePO_4 w instalację laboratoryjną jest możliwe z wykorzystaniem zacisków sprężystych. Jednak testów nie wykonujemy, ponieważ próby takiego typu łączenia były już wykonywane w przypadku wcześniejszych badanych ogniw i nie spełniły swojej funkcji. Przede wszystkim z uwagi na małą powierzchnię styku, która powoduje wzrost temperatury w miejscu łączenia. Ponadto wymiary zacisków sprężystych są znaczne, co utrudnia procesy ładowania-rozładowania całej instalacji złożonej z ogniw li-ion.

9.3 Proces ładowania cel LiFePO_4

Następny etap prac badawczo-rozwojowych z zastosowaniem cel litowo-żelazowo-fosforanowych polega na przeprowadzeniu dziesięciokrotnych cykli ładowania-rozładowania pojedynczych celi wchodzących w skład instalacji laboratoryjnej. Do badań wykorzystano ładowarkę ICharger będącą na wyposażeniu stanowiska badawczego.

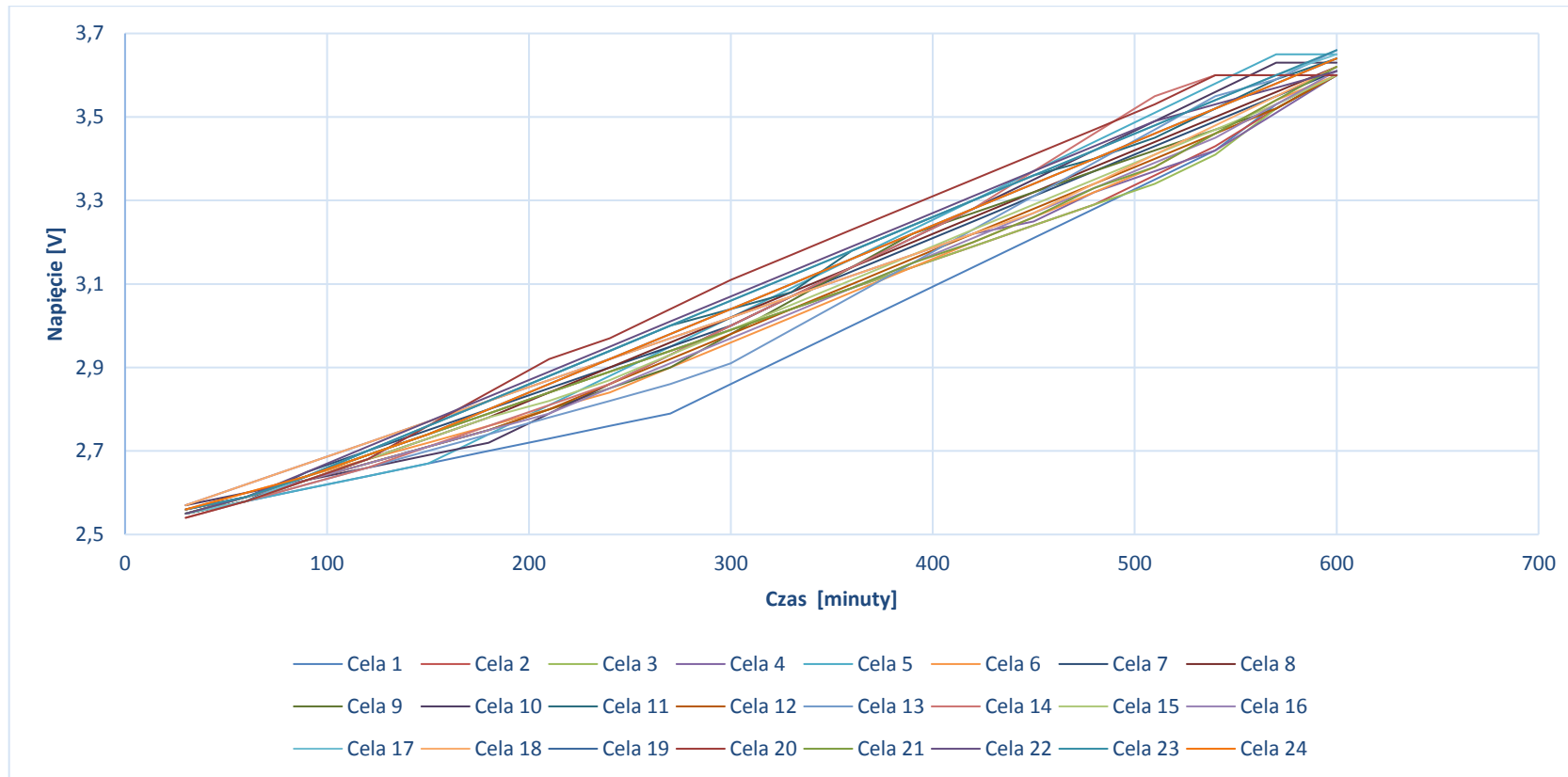
Na początku etapu przeprowadzono kontrolę napięć na poszczególnych celach. Różnicę napięć należy wyrównać poprzez proces doładowania do zgodnego poziomu maksymalnego napięcia – 3,6V. Wartość prądu ładowania wynosi 10A. W każdym cyklu ładowanie-rozładowanie cel obowiązuje wymóg użycia systemu kontroli BMS. W badaniach zastosowano ogólnodostępny BMS, umożliwiający balansowanie ogniw. Osiągnięcie maksymalnego napięcia przez jedną celę uruchamia balanser, który ogranicza prąd ładowania. W pełni naładowana celda zostaje obciążona, a pozostałe ładują się dalej. W trakcie cykli pomiarów monitorowano napięcie, prąd oraz czas trwania cyklu. Wyniki pomiarów zostały zapisane w przygotowanych tabelach oraz przedstawione w postaci wykresów, które zostały wykorzystane do określenia pojemności oraz mocy zgromadzonej w badanych celach LiFePO_4 .

Przeprowadzono serię dziesięciokrotnego ładowania cel LiFePO_4 z zastosowaniem systemu BMS. Wyniki pomiarów zamieszczono w tabelach 141-150 i przedstawiono w postaci wykresów 235-244. Wykresy wskazują liniowy rosnący trend dla każdej celi. Wszystkie cele ładowały się w jednolity sposób, bez znaczących rozbieżności. Uzyskane wyniki sygnalizują o dobrym stanie technicznym wszystkich cel LiFePO_4 . Zauważalna jest również jednoraka zdolność do magazynowania energii.



Tabela 141. Seria pierwsza ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,55	2,54	2,56	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	2,55	2,57	2,56	2,57	2,56	2,56	2,55	2,54	2,55	2,57	2,55	2,56	30	61,33	10
2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,6	2,59	2,6	2,59	2,62	2,59	2,6	2,58	2,58	2,59	2,6	2,58	2,59	60	62,19	10
2,62	2,62	2,63	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,66	2,64	2,64	2,63	2,64	2,64	2,67	2,64	2,64	2,65	2,63	2,63	2,63	2,64	2,63	90	63,33	10
2,66	2,66	2,68	2,67	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	2,67	2,69	2,69	2,72	2,69	2,68	2,7	2,68	2,67	2,66	2,7	2,67	120	64,47	10
2,7	2,71	2,73	2,71	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	2,74	2,74	2,74	2,77	2,74	2,72	2,75	2,73	2,71	2,69	2,76	2,71	150	65,69	10
2,74	2,76	2,78	2,75	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	2,81	2,79	2,79	2,82	2,79	2,76	2,8	2,78	2,75	2,72	2,82	2,75	180	66,93	10
2,78	2,81	2,82	2,79	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	2,88	2,84	2,84	2,87	2,84	2,8	2,85	2,84	2,8	2,79	2,88	2,8	210	68,23	10
2,82	2,86	2,87	2,85	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	2,95	2,89	2,89	2,92	2,9	2,84	2,9	2,9	2,85	2,86	2,94	2,86	240	69,55	10
2,86	2,93	2,93	2,92	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	3,02	2,94	2,94	2,97	2,96	2,9	2,95	2,96	2,9	2,93	3	2,92	270	70,95	10
2,91	2,99	2,99	2,97	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	3,09	2,99	2,99	3,02	3,02	2,96	3	3,02	2,98	3	3,04	2,98	300	72,34	10
2,99	3,07	3,05	3,04	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	3,16	3,04	3,04	3,07	3,08	3,02	3,07	3,08	3,06	3,07	3,08	3,04	330	73,81	10
3,07	3,14	3,11	3,09	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	3,23	3,09	3,09	3,12	3,14	3,08	3,13	3,14	3,14	3,14	3,18	3,1	360	75,3	10
3,15	3,21	3,17	3,15	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	3,28	3,14	3,14	3,17	3,2	3,14	3,19	3,2	3,22	3,21	3,24	3,16	390	76,75	10
3,23	3,28	3,23	3,21	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	3,33	3,19	3,19	3,22	3,26	3,2	3,25	3,26	3,27	3,28	3,3	3,22	420	78,16	10
3,31	3,37	3,29	3,27	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	3,38	3,24	3,24	3,25	3,32	3,26	3,31	3,32	3,32	3,35	3,36	3,28	450	79,58	10
3,39	3,46	3,35	3,33	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	3,43	3,29	3,29	3,32	3,38	3,32	3,37	3,38	3,37	3,42	3,4	3,34	480	81,05	10
3,47	3,55	3,41	3,39	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	3,48	3,36	3,34	3,37	3,44	3,38	3,43	3,44	3,42	3,49	3,45	3,4	510	82,51	10
3,55	3,6	3,47	3,45	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	3,53	3,43	3,41	3,42	3,5	3,46	3,49	3,5	3,47	3,56	3,52	3,46	540	84,01	10
3,59	3,6	3,54	3,53	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	3,58	3,52	3,52	3,51	3,56	3,54	3,55	3,56	3,52	3,63	3,59	3,52	570	85,48	10
3,66	3,6	3,6	3,61	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	3,63	3,6	3,6	3,6	3,62	3,6	3,61	3,62	3,6	3,63	3,64	3,6	600	86,86	10

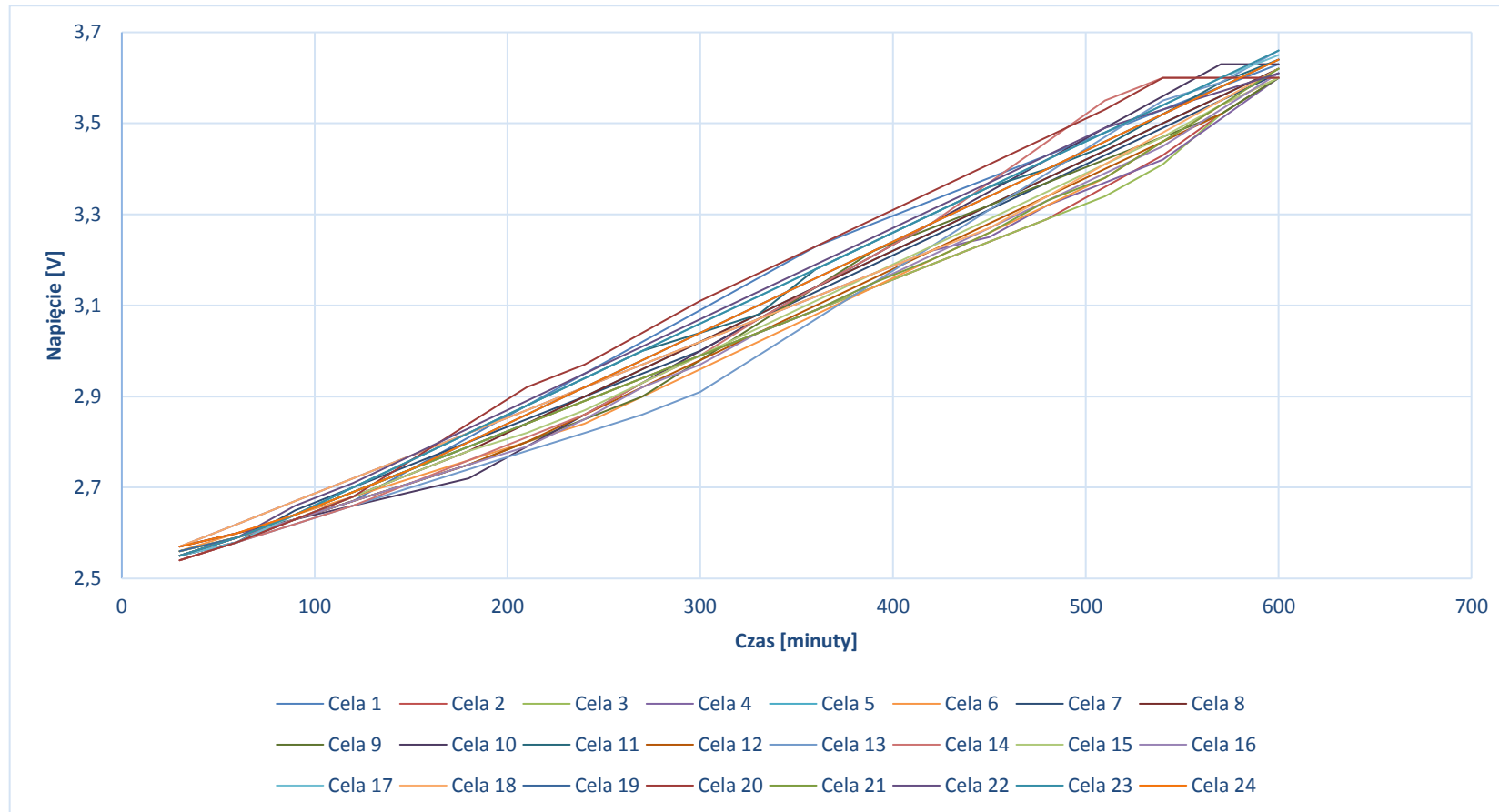


Wykres 235. Seria pierwsza ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 142. Seria druga ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,55	2,57	2,56	2,57	2,56	2,56	2,55	2,54	2,55	2,57	2,55	2,56	2,55	2,54	2,56	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	30	61,33	10
2,59	2,6	2,59	2,62	2,59	2,6	2,58	2,58	2,59	2,6	2,58	2,59	2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,6	60	62,19	10
2,63	2,64	2,64	2,67	2,64	2,64	2,65	2,63	2,63	2,63	2,64	2,63	2,62	2,62	2,63	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,66	2,64	2,64	90	63,33	10
2,67	2,69	2,69	2,72	2,69	2,68	2,7	2,68	2,67	2,66	2,7	2,67	2,66	2,66	2,68	2,67	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	120	64,47	10
2,74	2,74	2,74	2,77	2,74	2,72	2,75	2,73	2,71	2,69	2,76	2,71	2,7	2,71	2,73	2,71	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	150	65,69	10
2,81	2,79	2,79	2,82	2,79	2,76	2,8	2,78	2,75	2,72	2,82	2,75	2,74	2,76	2,78	2,75	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	180	66,93	10
2,88	2,84	2,84	2,87	2,84	2,8	2,85	2,84	2,8	2,79	2,88	2,8	2,78	2,81	2,82	2,79	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	210	68,23	10
2,95	2,89	2,89	2,92	2,9	2,84	2,9	2,9	2,85	2,86	2,94	2,86	2,82	2,86	2,87	2,85	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	240	69,55	10
3,02	2,94	2,94	2,97	2,96	2,9	2,95	2,96	2,9	2,93	3	2,92	2,86	2,93	2,93	2,92	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	270	70,95	10
3,09	2,99	2,99	3,02	3,02	2,96	3	3,02	2,98	3	3,04	2,98	2,91	2,99	2,99	2,97	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	300	72,34	10
3,16	3,04	3,04	3,07	3,08	3,02	3,07	3,08	3,06	3,07	3,08	3,04	2,99	3,07	3,05	3,04	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	330	73,81	10
3,23	3,09	3,09	3,12	3,14	3,08	3,13	3,14	3,14	3,14	3,18	3,1	3,07	3,14	3,11	3,09	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	360	75,3	10
3,28	3,14	3,14	3,17	3,2	3,14	3,19	3,2	3,22	3,21	3,24	3,16	3,15	3,21	3,17	3,15	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	390	76,75	10
3,33	3,19	3,19	3,22	3,26	3,2	3,25	3,26	3,27	3,28	3,3	3,22	3,23	3,28	3,23	3,21	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	420	78,16	10
3,38	3,24	3,24	3,25	3,32	3,26	3,31	3,32	3,32	3,35	3,36	3,28	3,31	3,37	3,29	3,27	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	450	79,58	10
3,43	3,29	3,29	3,32	3,38	3,32	3,37	3,38	3,37	3,42	3,4	3,34	3,39	3,46	3,35	3,33	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	480	81,05	10
3,48	3,36	3,34	3,37	3,44	3,38	3,43	3,44	3,42	3,49	3,45	3,4	3,47	3,55	3,41	3,39	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	510	82,51	10
3,53	3,43	3,41	3,42	3,5	3,46	3,49	3,5	3,47	3,56	3,52	3,46	3,55	3,6	3,47	3,45	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	540	84,01	10
3,58	3,52	3,52	3,51	3,56	3,54	3,55	3,56	3,52	3,63	3,59	3,52	3,59	3,6	3,54	3,53	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	570	85,48	10
3,63	3,6	3,6	3,6	3,62	3,6	3,61	3,62	3,6	3,63	3,64	3,6	3,66	3,6	3,6	3,61	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	600	86,86	10

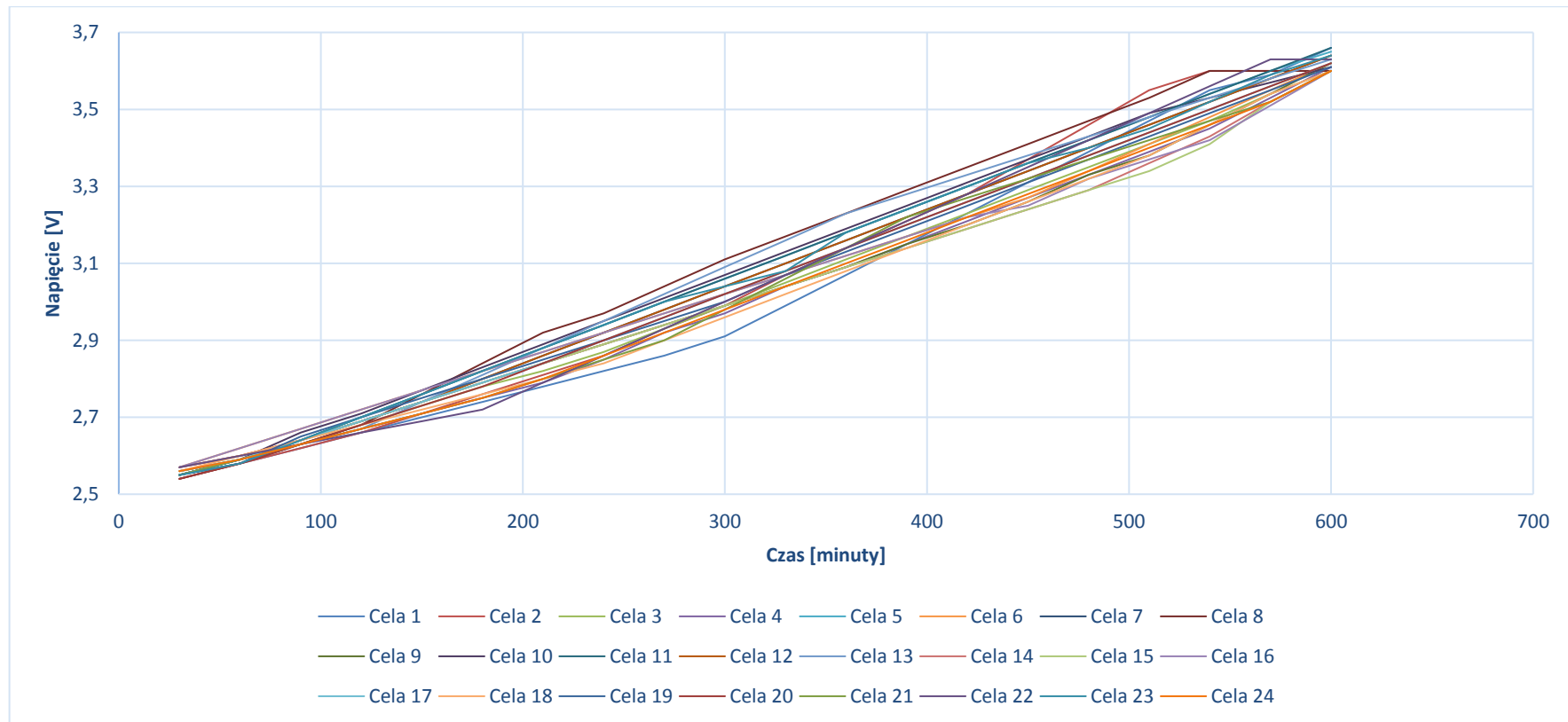


Wykres 236. Seria druga ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 143. Seria trzecia ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,55	2,54	2,56	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	2,55	2,57	2,56	2,57	2,56	2,56	2,55	2,54	2,55	2,57	2,55	2,56	30	61,33	10
2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,6	2,59	2,6	2,59	2,62	2,59	2,6	2,58	2,58	2,59	2,6	2,58	2,59	60	62,19	10
2,62	2,62	2,63	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,66	2,64	2,64	2,63	2,64	2,64	2,67	2,64	2,64	2,65	2,63	2,63	2,63	2,64	2,63	90	63,33	10
2,66	2,66	2,68	2,67	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	2,67	2,69	2,69	2,72	2,69	2,68	2,7	2,68	2,67	2,66	2,7	2,67	120	64,47	10
2,7	2,71	2,73	2,71	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	2,74	2,74	2,74	2,77	2,74	2,72	2,75	2,73	2,71	2,69	2,76	2,71	150	65,69	10
2,74	2,76	2,78	2,75	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	2,81	2,79	2,79	2,82	2,79	2,76	2,8	2,78	2,75	2,72	2,82	2,75	180	66,93	10
2,78	2,81	2,82	2,79	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	2,88	2,84	2,84	2,87	2,84	2,8	2,85	2,84	2,8	2,79	2,88	2,8	210	68,23	10
2,82	2,86	2,87	2,85	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	2,95	2,89	2,89	2,92	2,9	2,84	2,9	2,9	2,85	2,86	2,94	2,86	240	69,55	10
2,86	2,93	2,93	2,92	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	3,02	2,94	2,94	2,97	2,96	2,9	2,95	2,96	2,9	2,93	3	2,92	270	70,95	10
2,91	2,99	2,99	2,97	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	3,09	2,99	2,99	3,02	3,02	2,96	3	3,02	2,98	3	3,04	2,98	300	72,34	10
2,99	3,07	3,05	3,04	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	3,16	3,04	3,04	3,07	3,08	3,02	3,07	3,08	3,06	3,07	3,08	3,04	330	73,81	10
3,07	3,14	3,11	3,09	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	3,23	3,09	3,09	3,12	3,14	3,08	3,13	3,14	3,14	3,14	3,18	3,1	360	75,3	10
3,15	3,21	3,17	3,15	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	3,28	3,14	3,14	3,17	3,2	3,14	3,19	3,2	3,22	3,21	3,24	3,16	390	76,75	10
3,23	3,28	3,23	3,21	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	3,33	3,19	3,19	3,22	3,26	3,2	3,25	3,26	3,27	3,28	3,3	3,22	420	78,16	10
3,31	3,37	3,29	3,27	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	3,38	3,24	3,24	3,25	3,32	3,26	3,31	3,32	3,32	3,35	3,36	3,28	450	79,58	10
3,39	3,46	3,35	3,33	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	3,43	3,29	3,29	3,32	3,38	3,32	3,37	3,38	3,37	3,42	3,4	3,34	480	81,05	10
3,47	3,55	3,41	3,39	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	3,48	3,36	3,34	3,37	3,44	3,38	3,43	3,44	3,42	3,49	3,45	3,4	510	82,51	10
3,55	3,6	3,47	3,45	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	3,53	3,43	3,41	3,42	3,5	3,46	3,49	3,5	3,47	3,56	3,52	3,46	540	84,01	10
3,59	3,6	3,54	3,53	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	3,58	3,52	3,52	3,51	3,56	3,54	3,55	3,56	3,52	3,63	3,59	3,52	570	85,48	10
3,66	3,6	3,6	3,61	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	3,63	3,6	3,6	3,6	3,62	3,6	3,61	3,62	3,6	3,63	3,64	3,6	600	86,86	10

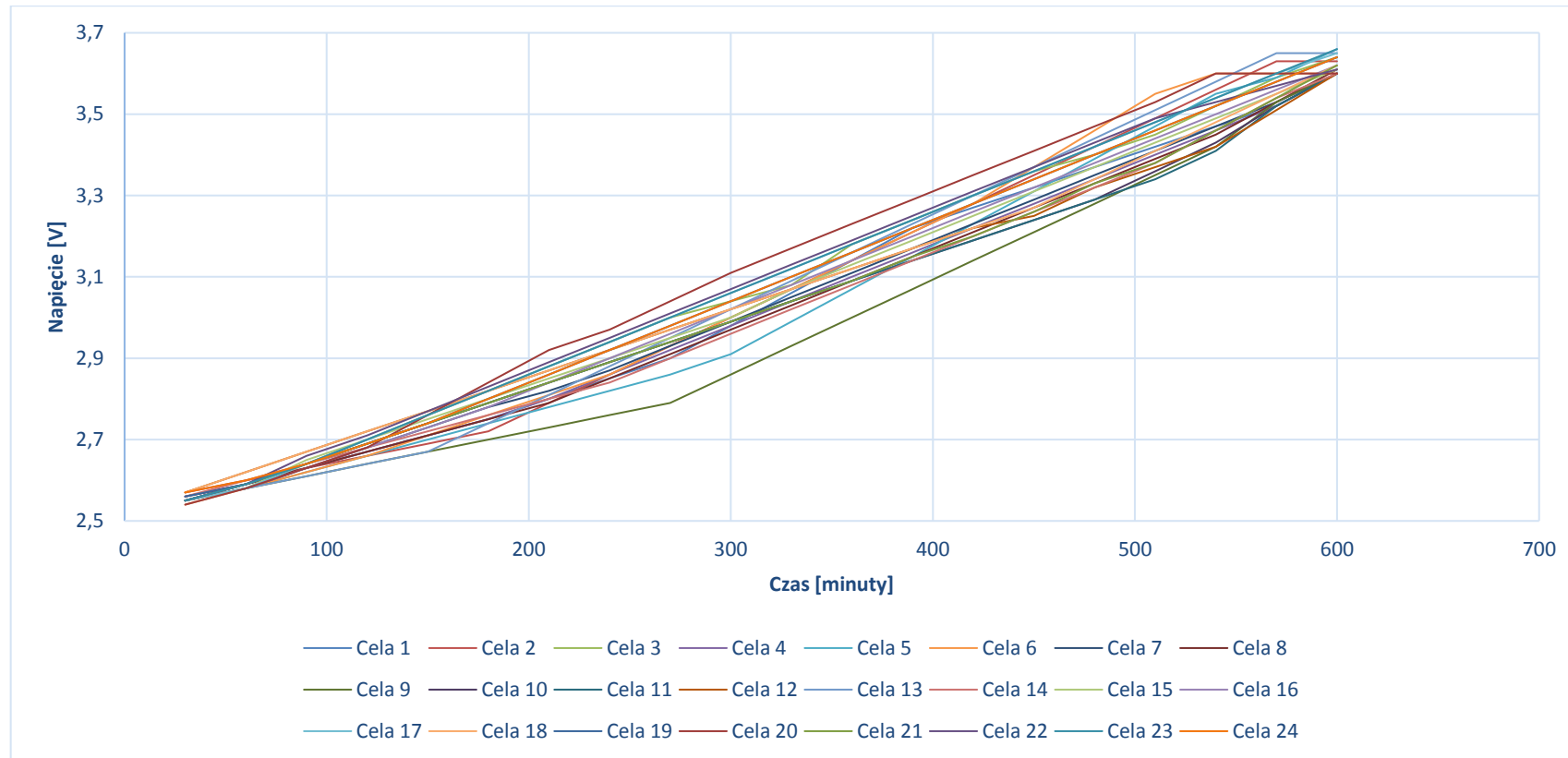


Wykres 237. Seria trzecia ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 144. Seria czwarta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,55	2,57	2,55	2,56	2,55	2,54	2,55	2,55	2,55	2,56	2,55	2,57	2,55	2,56	2,55	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	30	61,3	10
2,59	2,6	2,58	2,59	2,58	2,58	2,58	2,59	2,58	2,59	2,59	2,62	2,58	2,6	2,58	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,59	2,6	60	62,15	10
2,63	2,63	2,64	2,63	2,62	2,62	2,63	2,63	2,61	2,64	2,64	2,67	2,61	2,64	2,65	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,66	2,64	2,64	90	63,28	10
2,67	2,66	2,7	2,67	2,66	2,66	2,68	2,67	2,64	2,69	2,69	2,72	2,64	2,68	2,7	2,68	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	120	64,39	10
2,71	2,69	2,76	2,71	2,7	2,71	2,73	2,71	2,67	2,74	2,74	2,77	2,67	2,72	2,75	2,73	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	150	65,55	10
2,75	2,72	2,82	2,75	2,74	2,76	2,78	2,75	2,7	2,79	2,79	2,82	2,74	2,76	2,8	2,78	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	180	66,77	10
2,8	2,79	2,88	2,8	2,78	2,81	2,82	2,79	2,73	2,84	2,84	2,87	2,81	2,8	2,85	2,84	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	210	68,05	10
2,85	2,86	2,94	2,86	2,82	2,86	2,87	2,85	2,76	2,89	2,89	2,92	2,88	2,84	2,9	2,9	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	240	69,34	10
2,9	2,93	3	2,92	2,86	2,93	2,93	2,91	2,79	2,94	2,94	2,97	2,95	2,9	2,95	2,96	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	270	70,7	10
2,98	3	3,04	2,98	2,91	3	2,99	2,97	2,86	2,99	2,99	3,02	3,02	2,96	3	3,02	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	300	72,12	10
3,06	3,07	3,08	3,04	2,99	3,07	3,05	3,03	2,93	3,04	3,04	3,07	3,09	3,02	3,07	3,08	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	330	73,58	10
3,14	3,14	3,18	3,1	3,07	3,14	3,11	3,09	3	3,09	3,09	3,12	3,16	3,08	3,13	3,14	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	360	75,09	10
3,22	3,21	3,24	3,16	3,15	3,21	3,17	3,15	3,07	3,14	3,14	3,17	3,23	3,14	3,19	3,2	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	390	76,57	10
3,27	3,28	3,3	3,22	3,23	3,28	3,23	3,21	3,14	3,19	3,19	3,22	3,3	3,2	3,25	3,26	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	420	78,01	10
3,32	3,35	3,36	3,28	3,31	3,37	3,29	3,27	3,21	3,24	3,24	3,25	3,37	3,26	3,31	3,32	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	450	79,46	10
3,37	3,42	3,4	3,34	3,39	3,46	3,35	3,33	3,28	3,29	3,29	3,32	3,44	3,32	3,37	3,38	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	480	80,96	10
3,42	3,49	3,45	3,4	3,47	3,55	3,41	3,39	3,35	3,36	3,34	3,37	3,51	3,38	3,43	3,44	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	510	82,45	10
3,47	3,56	3,52	3,46	3,55	3,6	3,47	3,45	3,42	3,43	3,41	3,42	3,58	3,46	3,49	3,5	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	540	83,98	10
3,52	3,63	3,59	3,52	3,59	3,6	3,53	3,53	3,53	3,52	3,52	3,51	3,65	3,54	3,55	3,56	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	570	85,51	10
3,6	3,63	3,64	3,6	3,66	3,6	3,6	3,61	3,6	3,6	3,6	3,6	3,65	3,6	3,61	3,62	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	600	86,86	10

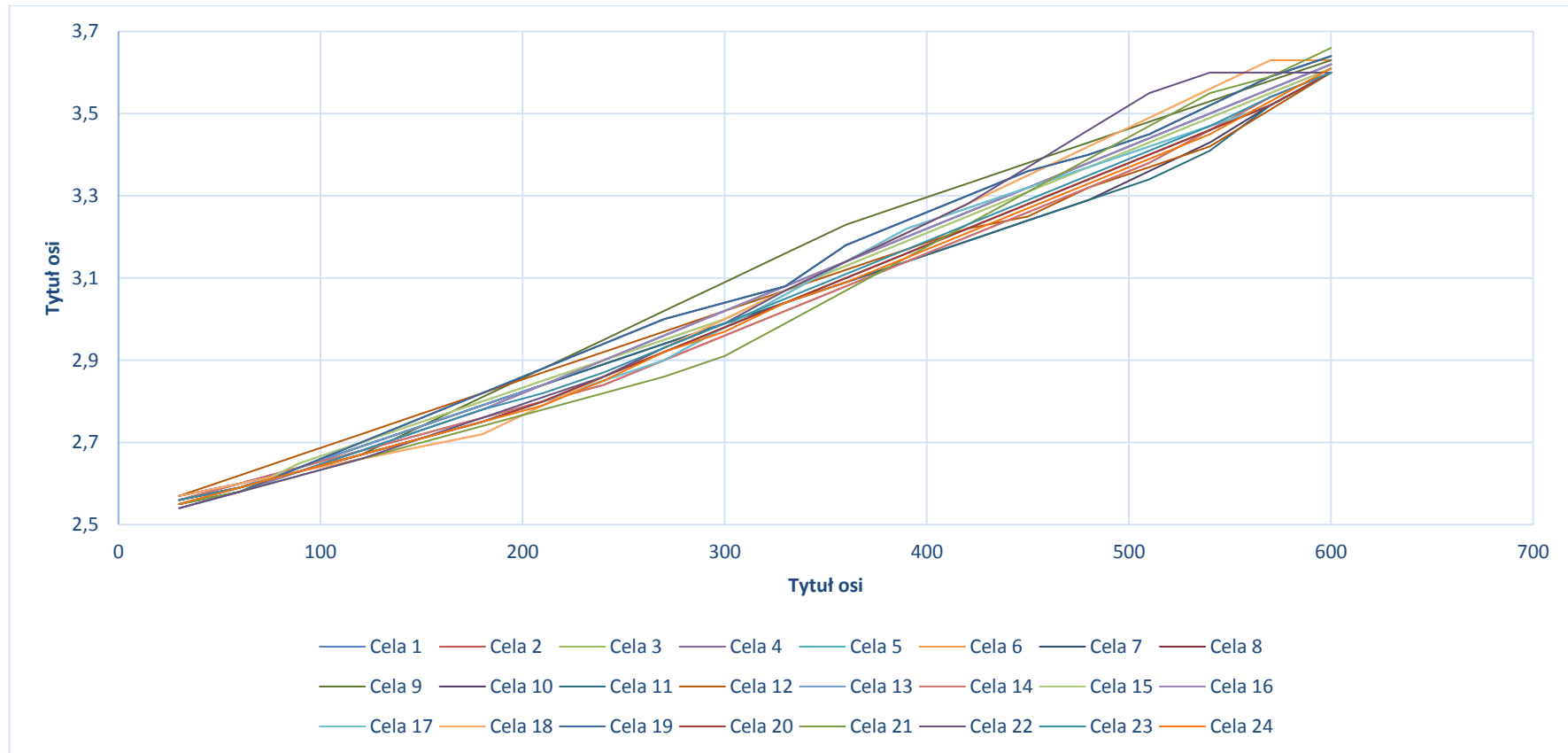


Wykres 238. Seria czwarta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 145. Seria piąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,56	2,56	2,55	2,54	2,55	2,57	2,55	2,56	2,55	2,57	2,56	2,57	2,56	2,56	2,55	2,54	2,55	2,57	2,55	2,56	2,55	2,54	2,56	2,55	30	61,33	10
2,59	2,6	2,58	2,58	2,59	2,6	2,58	2,59	2,59	2,6	2,59	2,62	2,59	2,6	2,58	2,58	2,59	2,6	2,58	2,59	2,58	2,58	2,59	2,59	60	62,16	10
2,64	2,64	2,65	2,63	2,63	2,63	2,64	2,63	2,63	2,64	2,64	2,67	2,64	2,64	2,65	2,63	2,63	2,63	2,64	2,63	2,62	2,62	2,63	2,63	90	63,26	10
2,69	2,68	2,7	2,68	2,67	2,66	2,7	2,67	2,67	2,69	2,69	2,72	2,69	2,68	2,7	2,68	2,67	2,66	2,7	2,67	2,66	2,66	2,68	2,67	120	64,34	10
2,74	2,72	2,75	2,73	2,71	2,69	2,76	2,71	2,74	2,74	2,74	2,77	2,74	2,72	2,75	2,73	2,71	2,69	2,76	2,71	2,7	2,71	2,73	2,71	150	65,46	10
2,79	2,76	2,8	2,78	2,75	2,72	2,82	2,75	2,81	2,79	2,79	2,82	2,79	2,76	2,8	2,78	2,75	2,72	2,82	2,75	2,74	2,76	2,78	2,75	180	66,58	10
2,84	2,8	2,85	2,84	2,8	2,79	2,88	2,8	2,88	2,84	2,84	2,87	2,84	2,8	2,85	2,84	2,8	2,79	2,88	2,8	2,78	2,81	2,82	2,79	210	67,83	10
2,9	2,84	2,9	2,9	2,85	2,86	2,94	2,86	2,95	2,89	2,89	2,92	2,9	2,84	2,9	2,9	2,85	2,86	2,94	2,86	2,82	2,86	2,87	2,85	240	69,15	10
2,96	2,9	2,95	2,96	2,9	2,93	3	2,92	3,02	2,94	2,94	2,97	2,96	2,9	2,95	2,96	2,9	2,93	3	2,92	2,86	2,93	2,93	2,92	270	70,55	10
3,02	2,96	3	3,02	2,98	3	3,04	2,98	3,09	2,99	2,99	3,02	3,02	2,96	3	3,02	2,98	3	3,04	2,98	2,91	2,99	2,99	2,97	300	71,95	10
3,08	3,02	3,07	3,08	3,06	3,07	3,08	3,04	3,16	3,04	3,04	3,07	3,08	3,02	3,07	3,08	3,06	3,07	3,08	3,04	2,99	3,07	3,05	3,04	330	73,46	10
3,14	3,08	3,13	3,14	3,14	3,14	3,18	3,1	3,23	3,09	3,09	3,12	3,14	3,08	3,13	3,14	3,14	3,14	3,18	3,1	3,07	3,14	3,11	3,09	360	75,04	10
3,2	3,14	3,19	3,2	3,22	3,21	3,24	3,16	3,28	3,14	3,14	3,17	3,2	3,14	3,19	3,2	3,22	3,21	3,24	3,16	3,15	3,21	3,17	3,15	390	76,53	10
3,26	3,2	3,25	3,26	3,27	3,28	3,3	3,22	3,33	3,19	3,19	3,22	3,26	3,2	3,25	3,26	3,27	3,28	3,3	3,22	3,23	3,28	3,23	3,21	420	77,96	10
3,32	3,26	3,31	3,32	3,32	3,35	3,36	3,28	3,38	3,24	3,24	3,25	3,32	3,26	3,31	3,32	3,32	3,35	3,36	3,28	3,31	3,37	3,29	3,27	450	79,39	10
3,38	3,32	3,37	3,38	3,37	3,42	3,4	3,34	3,43	3,29	3,29	3,32	3,38	3,32	3,37	3,38	3,37	3,42	3,4	3,34	3,39	3,46	3,35	3,33	480	80,82	10
3,44	3,38	3,43	3,44	3,42	3,49	3,45	3,4	3,48	3,36	3,34	3,37	3,44	3,38	3,43	3,44	3,42	3,49	3,45	3,4	3,47	3,55	3,41	3,39	510	82,27	10
3,5	3,46	3,49	3,5	3,47	3,56	3,52	3,46	3,53	3,43	3,41	3,42	3,5	3,46	3,49	3,5	3,47	3,56	3,52	3,46	3,55	3,6	3,47	3,45	540	83,78	10
3,56	3,54	3,55	3,56	3,52	3,63	3,59	3,52	3,58	3,52	3,52	3,51	3,56	3,54	3,55	3,56	3,52	3,63	3,59	3,52	3,59	3,6	3,54	3,53	570	85,33	10
3,62	3,6	3,61	3,62	3,6	3,63	3,64	3,6	3,63	3,6	3,6	3,62	3,6	3,61	3,62	3,6	3,63	3,64	3,6	3,66	3,6	3,6	3,61	3,61	600	86,74	10

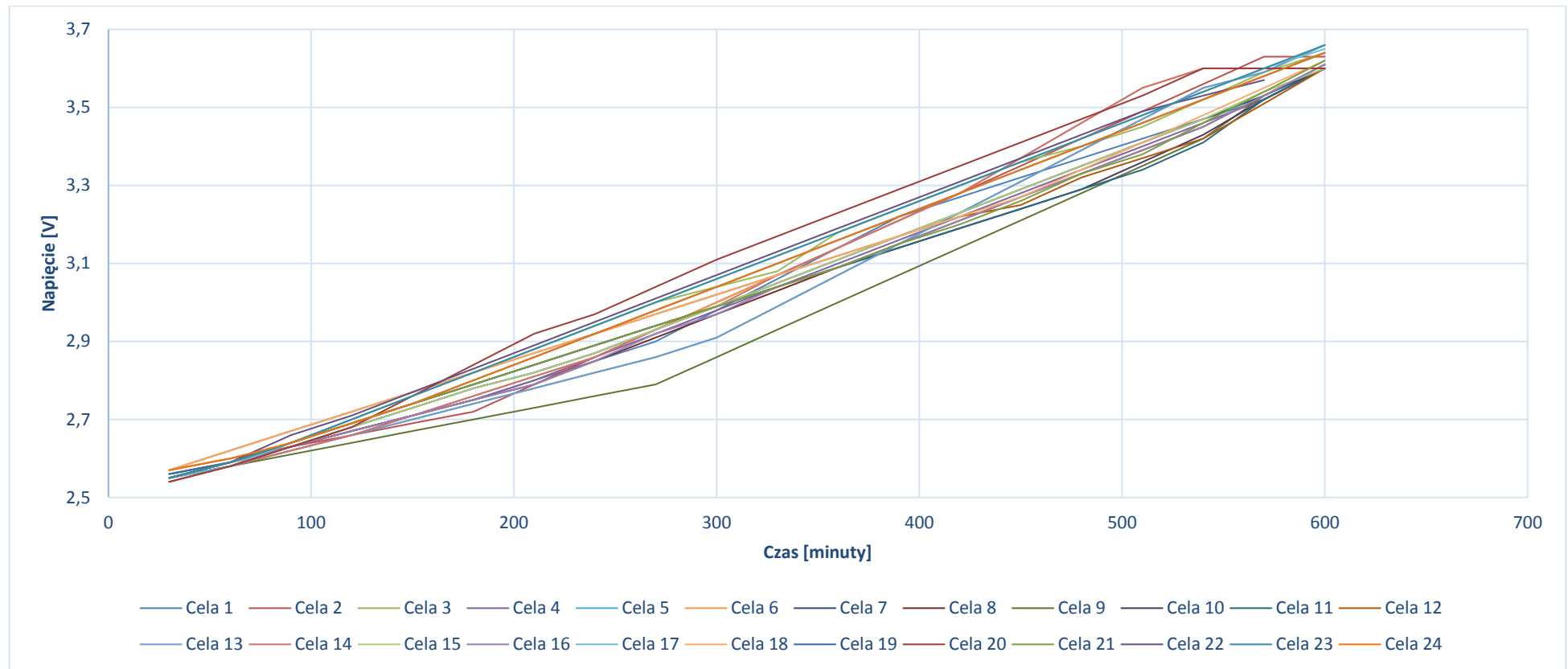


Wykres 239. Seria piąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 146. Seria szósta ładowania cel LiFePO4 złożonej w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,55	2,57	2,55	2,56	2,55	2,54	2,55	2,55	2,55	2,56	2,55	2,57	2,55	2,54	2,56	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	30	61,29	10
2,59	2,6	2,58	2,59	2,58	2,58	2,58	2,59	2,58	2,59	2,59	2,62	2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,6	60	62,15	10
2,63	2,63	2,64	2,63	2,62	2,62	2,63	2,63	2,61	2,64	2,64	2,67	2,62	2,62	2,63	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,66	2,64	2,64	90	63,25	10
2,67	2,66	2,7	2,67	2,66	2,66	2,68	2,67	2,64	2,69	2,69	2,72	2,66	2,66	2,68	2,67	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	120	64,36	10
2,71	2,69	2,76	2,71	2,7	2,71	2,73	2,71	2,67	2,74	2,74	2,77	2,7	2,71	2,73	2,71	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	150	65,53	10
2,75	2,72	2,82	2,75	2,74	2,76	2,78	2,75	2,7	2,79	2,79	2,82	2,74	2,76	2,78	2,75	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	180	66,72	10
2,8	2,79	2,88	2,8	2,78	2,81	2,82	2,79	2,73	2,84	2,84	2,87	2,78	2,81	2,82	2,79	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	210	67,95	10
2,85	2,86	2,94	2,86	2,82	2,86	2,87	2,85	2,76	2,89	2,89	2,92	2,82	2,86	2,87	2,85	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	240	69,22	10
2,9	2,93	3	2,92	2,86	2,93	2,93	2,91	2,79	2,94	2,94	2,97	2,86	2,93	2,93	2,92	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	270	70,58	10
2,98	3	3,04	2,98	2,91	3	2,99	2,97	2,86	2,99	2,99	3,02	2,91	2,99	2,99	2,97	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	300	71,98	10
3,06	3,07	3,08	3,04	2,99	3,07	3,05	3,03	2,93	3,04	3,04	3,07	2,99	3,07	3,05	3,04	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	330	73,47	10
3,14	3,14	3,18	3,1	3,07	3,14	3,11	3,09	3	3,09	3,09	3,12	3,07	3,14	3,11	3,09	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	360	74,99	10
3,22	3,21	3,24	3,16	3,15	3,21	3,17	3,15	3,07	3,14	3,14	3,17	3,15	3,21	3,17	3,15	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	390	76,49	10
3,27	3,28	3,3	3,22	3,23	3,28	3,23	3,21	3,14	3,19	3,19	3,22	3,23	3,28	3,23	3,21	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	420	77,95	10
3,32	3,35	3,36	3,28	3,31	3,37	3,29	3,27	3,21	3,24	3,24	3,25	3,31	3,37	3,29	3,27	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	450	79,44	10
3,37	3,42	3,4	3,34	3,39	3,46	3,35	3,33	3,28	3,29	3,29	3,32	3,39	3,46	3,35	3,33	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	480	80,98	10
3,42	3,49	3,45	3,4	3,47	3,55	3,41	3,39	3,35	3,36	3,34	3,37	3,47	3,55	3,41	3,39	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	510	82,51	10
3,47	3,56	3,52	3,46	3,55	3,6	3,47	3,45	3,42	3,43	3,41	3,42	3,55	3,6	3,47	3,45	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	540	84,02	10
3,52	3,63	3,59	3,52	3,59	3,6	3,53	3,53	3,53	3,52	3,52	3,51	3,59	3,6	3,54	3,53	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	570	85,47	10
3,6	3,63	3,64	3,6	3,66	3,6	3,6	3,61	3,6	3,6	3,6	3,6	3,66	3,6	3,6	3,61	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	600	86,85	10

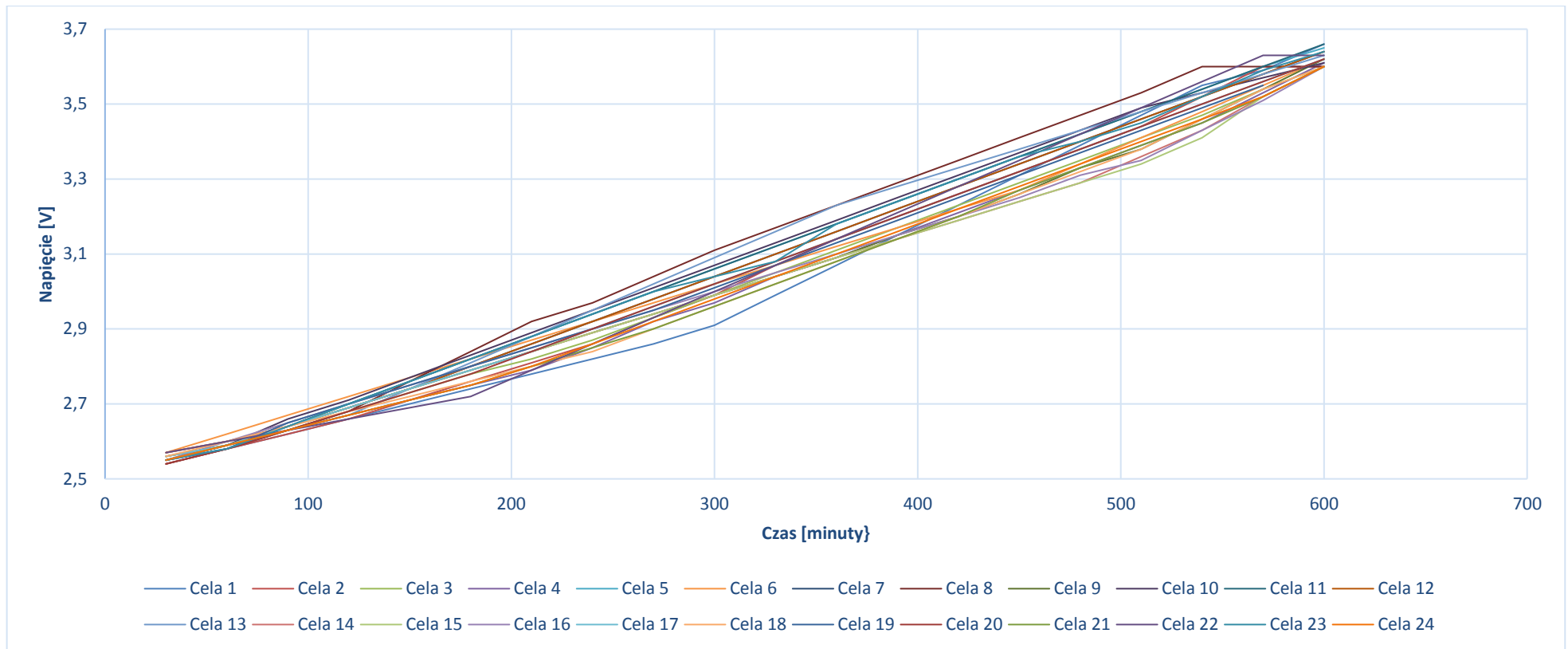


Wykres 240. Seria szósta ładowania cel LiFePO4 złożonej w instalację laboratoryjną



Tabela 147. Seria siódma ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,55	2,54	2,56	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	2,55	2,57	2,56	2,55	2,56	2,56	2,55	2,54	2,55	2,57	2,55	2,55	30	61,3	10
2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,6	2,59	2,6	2,59	2,6	2,59	2,6	2,58	2,58	2,59	2,6	2,58	2,59	60	62,17	10
2,62	2,62	2,63	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,66	2,64	2,64	2,63	2,64	2,64	2,65	2,64	2,64	2,65	2,63	2,63	2,63	2,64	2,63	90	63,31	10
2,66	2,66	2,68	2,67	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	2,67	2,69	2,69	2,7	2,69	2,68	2,7	2,68	2,67	2,66	2,7	2,67	120	64,45	10
2,7	2,71	2,73	2,71	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	2,74	2,74	2,74	2,75	2,74	2,72	2,75	2,73	2,71	2,69	2,76	2,71	150	65,67	10
2,74	2,76	2,78	2,75	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	2,81	2,79	2,79	2,8	2,79	2,76	2,8	2,78	2,75	2,72	2,82	2,75	180	66,91	10
2,78	2,81	2,82	2,79	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	2,88	2,84	2,84	2,85	2,84	2,8	2,85	2,84	2,8	2,79	2,88	2,8	210	68,21	10
2,82	2,86	2,87	2,85	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	2,95	2,89	2,89	2,9	2,9	2,84	2,9	2,9	2,85	2,86	2,94	2,86	240	69,53	10
2,86	2,93	2,93	2,92	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	3,02	2,94	2,94	2,95	2,96	2,9	2,95	2,96	2,9	2,93	3	2,92	270	70,93	10
2,91	2,99	2,99	2,97	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	3,09	2,99	2,99	3	3,02	2,96	3,01	3,02	2,96	3	3,04	2,98	300	72,31	10
2,99	3,07	3,05	3,04	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	3,16	3,04	3,04	3,05	3,08	3,02	3,07	3,08	3,02	3,07	3,08	3,04	330	73,75	10
3,07	3,14	3,11	3,09	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	3,23	3,09	3,09	3,1	3,14	3,08	3,13	3,14	3,08	3,14	3,18	3,1	360	75,22	10
3,15	3,2	3,17	3,15	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	3,28	3,14	3,14	3,15	3,2	3,14	3,19	3,2	3,14	3,21	3,24	3,16	390	76,64	10
3,23	3,26	3,23	3,21	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	3,33	3,19	3,19	3,2	3,26	3,2	3,25	3,26	3,2	3,28	3,3	3,22	420	78,05	10
3,31	3,32	3,29	3,27	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	3,38	3,24	3,24	3,25	3,32	3,26	3,31	3,32	3,27	3,35	3,36	3,28	450	79,48	10
3,39	3,38	3,35	3,33	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	3,43	3,29	3,29	3,31	3,38	3,32	3,37	3,38	3,33	3,42	3,4	3,34	480	80,92	10
3,47	3,44	3,41	3,39	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	3,48	3,36	3,34	3,35	3,44	3,38	3,43	3,44	3,39	3,49	3,45	3,4	510	82,35	10
3,55	3,52	3,47	3,45	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	3,53	3,43	3,41	3,43	3,5	3,46	3,49	3,5	3,45	3,56	3,52	3,46	540	83,92	10
3,59	3,6	3,54	3,53	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	3,58	3,52	3,52	3,51	3,56	3,54	3,55	3,56	3,52	3,63	3,59	3,52	570	85,48	10
3,66	3,6	3,6	3,61	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	3,63	3,6	3,6	3,6	3,62	3,6	3,61	3,62	3,6	3,63	3,64	3,6	600	86,86	10

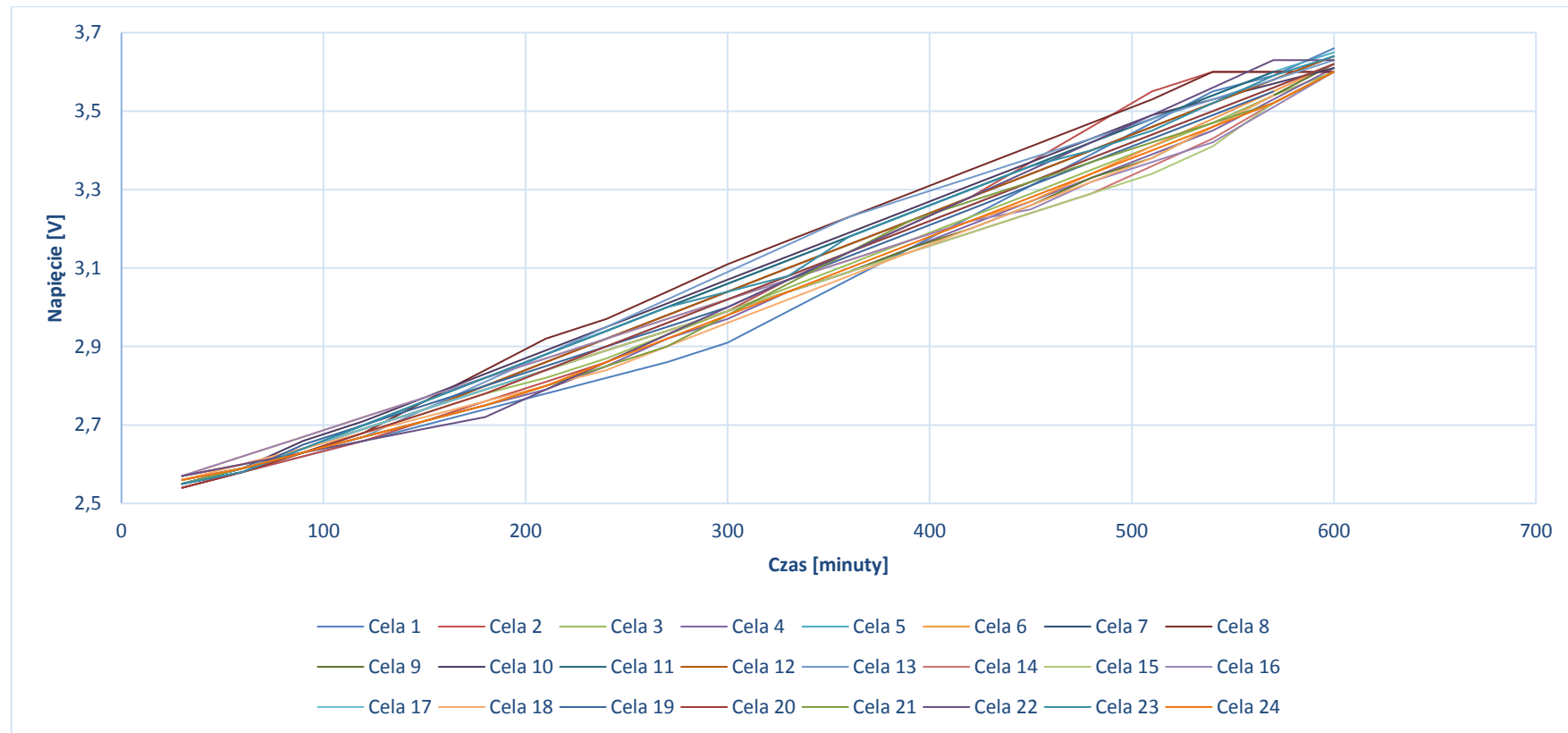


Wykres 241. Seria siódma ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 148. Seria ósma ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,55	2,54	2,56	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	2,55	2,57	2,56	2,57	2,56	2,56	2,55	2,54	2,55	2,57	2,55	2,56	30	61,33	10
2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,6	2,59	2,6	2,59	2,62	2,59	2,6	2,58	2,58	2,59	2,6	2,58	2,59	60	62,19	10
2,62	2,62	2,63	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,66	2,64	2,64	2,63	2,64	2,64	2,67	2,64	2,64	2,65	2,63	2,63	2,63	2,64	2,63	90	63,33	10
2,66	2,66	2,68	2,67	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	2,67	2,69	2,69	2,72	2,69	2,68	2,7	2,68	2,67	2,66	2,7	2,67	120	64,47	10
2,7	2,71	2,73	2,71	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	2,74	2,74	2,74	2,77	2,74	2,72	2,75	2,73	2,71	2,69	2,76	2,71	150	65,69	10
2,74	2,76	2,78	2,75	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	2,81	2,79	2,79	2,82	2,79	2,76	2,8	2,78	2,75	2,72	2,82	2,75	180	66,93	10
2,78	2,81	2,82	2,79	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	2,88	2,84	2,84	2,87	2,84	2,8	2,85	2,84	2,8	2,79	2,88	2,8	210	68,23	10
2,82	2,86	2,87	2,85	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	2,95	2,89	2,89	2,92	2,9	2,84	2,9	2,9	2,85	2,86	2,94	2,86	240	69,55	10
2,86	2,93	2,93	2,92	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	3,02	2,94	2,94	2,97	2,96	2,9	2,95	2,96	2,9	2,93	3	2,92	270	70,95	10
2,91	2,99	2,99	2,97	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	3,09	2,99	2,99	3,02	3,02	2,96	3	3,02	2,98	3	3,04	2,98	300	72,34	10
2,99	3,07	3,05	3,04	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	3,16	3,04	3,04	3,07	3,08	3,02	3,07	3,08	3,06	3,07	3,08	3,04	330	73,81	10
3,07	3,14	3,11	3,09	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	3,23	3,09	3,09	3,12	3,14	3,08	3,13	3,14	3,14	3,14	3,18	3,1	360	75,3	10
3,15	3,21	3,17	3,15	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	3,28	3,14	3,14	3,17	3,2	3,14	3,19	3,2	3,22	3,21	3,24	3,16	390	76,75	10
3,23	3,28	3,23	3,21	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	3,33	3,19	3,19	3,22	3,26	3,2	3,25	3,26	3,27	3,28	3,3	3,22	420	78,16	10
3,31	3,37	3,29	3,27	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	3,38	3,24	3,24	3,25	3,32	3,26	3,31	3,32	3,32	3,35	3,36	3,28	450	79,58	10
3,39	3,46	3,35	3,33	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	3,43	3,29	3,29	3,32	3,38	3,32	3,37	3,38	3,37	3,42	3,4	3,34	480	81,05	10
3,47	3,55	3,41	3,39	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	3,48	3,36	3,34	3,37	3,44	3,38	3,43	3,44	3,42	3,49	3,45	3,4	510	82,51	10
3,55	3,6	3,47	3,45	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	3,53	3,43	3,41	3,42	3,5	3,46	3,49	3,5	3,47	3,56	3,52	3,46	540	84,01	10
3,59	3,6	3,54	3,53	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	3,58	3,52	3,52	3,51	3,56	3,54	3,55	3,56	3,52	3,63	3,59	3,52	570	85,48	10
3,66	3,6	3,6	3,61	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	3,63	3,6	3,6	3,6	3,62	3,6	3,61	3,62	3,6	3,63	3,64	3,6	600	86,86	10

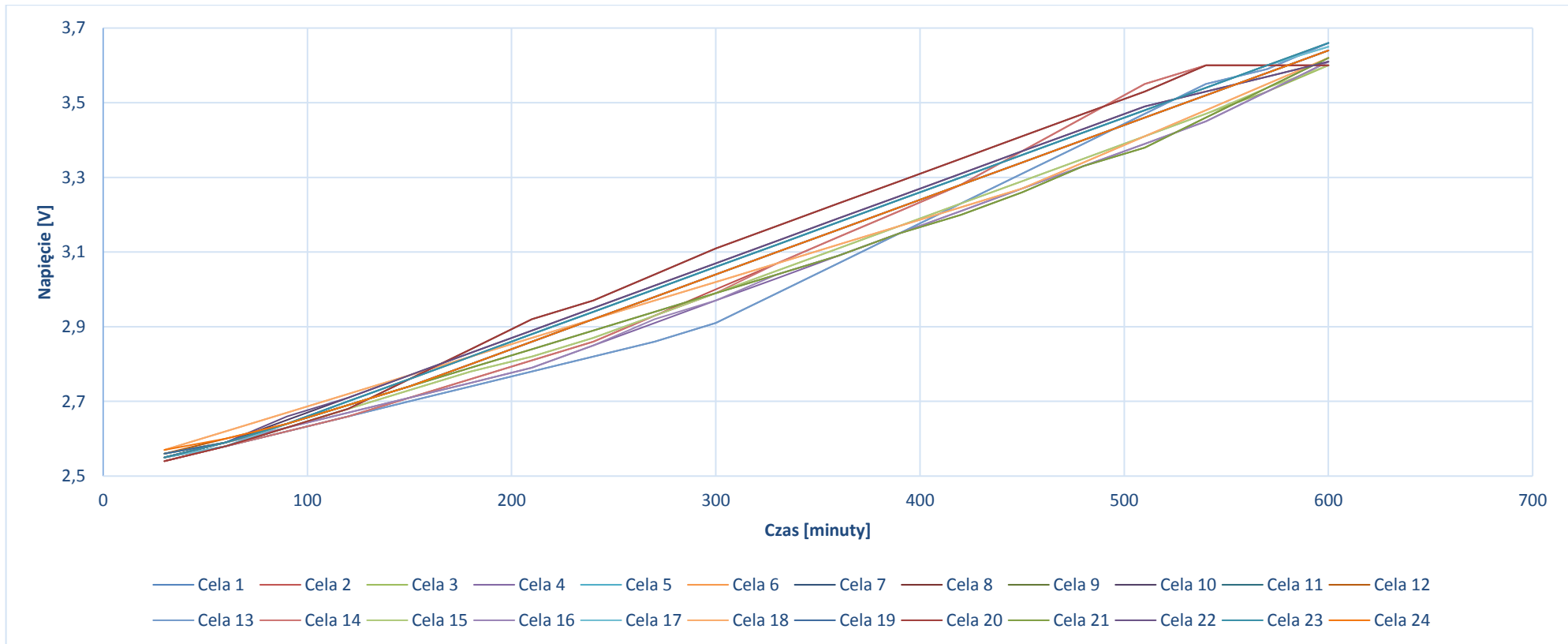


Wykres 242. Seria ósma ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 149. Seria dziewiąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,55	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,56	2,56	2,55	2,54	2,56	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	30	61,27	10
2,58	2,58	2,58	2,59	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,6	2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,6	60	62,15	10
2,62	2,62	2,63	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,65	2,64	2,64	2,62	2,62	2,63	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,66	2,64	2,64	90	63,31	10
2,66	2,66	2,68	2,67	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	2,66	2,66	2,68	2,67	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	120	64,5	10
2,7	2,71	2,73	2,71	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	2,7	2,71	2,73	2,71	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	150	65,78	10
2,74	2,76	2,78	2,75	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	2,74	2,76	2,78	2,75	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	180	67,1	10
2,78	2,81	2,82	2,79	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	2,78	2,81	2,82	2,79	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	210	68,4	10
2,82	2,86	2,87	2,85	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	2,82	2,86	2,87	2,85	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	240	69,7	10
2,86	2,93	2,93	2,91	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	2,86	2,93	2,93	2,92	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	270	71,11	10
2,91	3	2,99	2,97	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	2,91	2,99	2,99	2,97	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	300	72,51	10
2,99	3,07	3,05	3,03	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	2,99	3,07	3,05	3,04	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	330	73,99	10
3,07	3,14	3,11	3,09	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	3,07	3,14	3,11	3,09	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	360	75,44	10
3,15	3,21	3,17	3,15	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	3,15	3,21	3,17	3,15	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	390	76,92	10
3,23	3,28	3,23	3,21	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	3,23	3,28	3,23	3,21	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	420	78,38	10
3,31	3,37	3,29	3,27	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	3,31	3,37	3,29	3,27	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	450	79,9	10
3,39	3,46	3,35	3,33	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	3,39	3,46	3,35	3,33	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	480	81,48	10
3,47	3,55	3,41	3,39	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	3,47	3,55	3,41	3,39	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	510	83,02	10
3,55	3,6	3,47	3,45	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	3,55	3,6	3,47	3,45	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	540	84,52	10
3,59	3,6	3,53	3,53	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	3,59	3,6	3,54	3,53	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	570	85,75	10
3,66	3,6	3,6	3,61	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	3,66	3,6	3,6	3,61	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	600	87,02	10

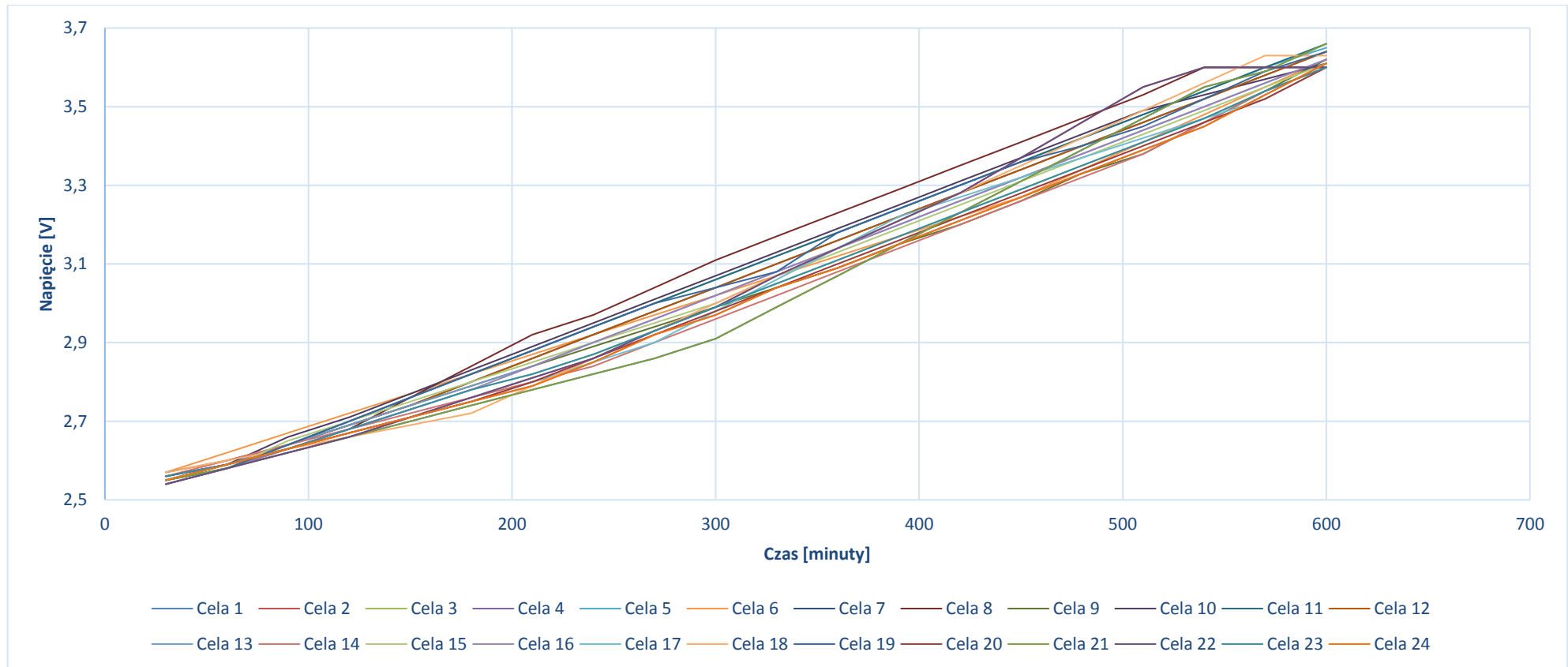


Wykres 243. Seria dziewiąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 150. Seria dziesiąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
2,55	2,54	2,56	2,55	2,55	2,57	2,56	2,54	2,55	2,55	2,55	2,57	2,56	2,56	2,55	2,54	2,55	2,57	2,55	2,56	2,55	2,54	2,56	2,55	30	61,28	10
2,58	2,58	2,59	2,59	2,58	2,62	2,59	2,58	2,59	2,59	2,59	2,6	2,59	2,6	2,58	2,58	2,59	2,6	2,58	2,59	2,58	2,58	2,59	2,59	60	62,13	10
2,62	2,62	2,63	2,63	2,64	2,67	2,64	2,63	2,64	2,66	2,64	2,64	2,64	2,64	2,65	2,63	2,63	2,63	2,64	2,63	2,62	2,62	2,63	2,63	90	63,25	10
2,66	2,66	2,68	2,67	2,7	2,72	2,69	2,68	2,69	2,71	2,7	2,69	2,69	2,68	2,7	2,68	2,67	2,66	2,7	2,67	2,66	2,66	2,68	2,67	120	64,37	10
2,7	2,71	2,73	2,71	2,76	2,77	2,74	2,76	2,74	2,77	2,76	2,74	2,74	2,72	2,75	2,73	2,71	2,69	2,76	2,71	2,7	2,71	2,73	2,71	150	65,55	10
2,74	2,76	2,78	2,75	2,82	2,82	2,8	2,84	2,79	2,83	2,82	2,8	2,79	2,76	2,8	2,78	2,75	2,72	2,82	2,75	2,74	2,76	2,78	2,75	180	66,75	10
2,78	2,81	2,82	2,79	2,88	2,87	2,86	2,92	2,84	2,89	2,88	2,86	2,84	2,8	2,85	2,84	2,8	2,79	2,88	2,8	2,78	2,81	2,82	2,79	210	68	10
2,82	2,86	2,87	2,85	2,94	2,92	2,92	2,97	2,89	2,95	2,94	2,92	2,9	2,84	2,9	2,9	2,85	2,86	2,94	2,86	2,82	2,86	2,87	2,85	240	69,3	10
2,86	2,93	2,93	2,92	3	2,97	2,98	3,04	2,94	3,01	3	2,98	2,96	2,9	2,95	2,96	2,9	2,93	3	2,92	2,86	2,93	2,93	2,92	270	70,72	10
2,91	2,99	2,99	2,97	3,06	3,02	3,04	3,11	2,99	3,07	3,06	3,04	3,02	2,96	3	3,02	2,98	3	3,04	2,98	2,91	2,99	2,99	2,97	300	72,11	10
2,99	3,07	3,05	3,04	3,12	3,07	3,1	3,17	3,04	3,13	3,12	3,1	3,08	3,02	3,07	3,08	3,06	3,07	3,08	3,04	2,99	3,07	3,05	3,04	330	73,65	10
3,07	3,14	3,11	3,09	3,18	3,12	3,16	3,23	3,09	3,19	3,18	3,16	3,14	3,08	3,13	3,14	3,14	3,14	3,18	3,1	3,07	3,14	3,11	3,09	360	75,18	10
3,15	3,21	3,17	3,15	3,24	3,17	3,22	3,29	3,15	3,25	3,24	3,22	3,2	3,14	3,19	3,2	3,22	3,21	3,24	3,16	3,15	3,21	3,17	3,15	390	76,7	10
3,23	3,28	3,23	3,21	3,3	3,22	3,28	3,35	3,2	3,31	3,3	3,28	3,26	3,2	3,25	3,26	3,27	3,28	3,3	3,22	3,23	3,28	3,23	3,21	420	78,18	10
3,31	3,37	3,29	3,27	3,36	3,27	3,34	3,41	3,26	3,37	3,36	3,34	3,32	3,26	3,31	3,32	3,32	3,35	3,36	3,28	3,31	3,37	3,29	3,27	450	79,71	10
3,39	3,46	3,35	3,33	3,42	3,34	3,4	3,47	3,33	3,43	3,42	3,4	3,38	3,32	3,37	3,38	3,37	3,42	3,4	3,34	3,39	3,46	3,35	3,33	480	81,25	10
3,47	3,55	3,41	3,39	3,48	3,41	3,46	3,53	3,38	3,49	3,48	3,46	3,44	3,38	3,43	3,44	3,42	3,49	3,45	3,4	3,47	3,55	3,41	3,39	510	82,78	10
3,55	3,6	3,47	3,45	3,54	3,48	3,52	3,6	3,46	3,53	3,54	3,52	3,5	3,46	3,49	3,5	3,47	3,56	3,52	3,46	3,55	3,6	3,47	3,45	540	84,29	10
3,59	3,6	3,54	3,53	3,6	3,55	3,58	3,6	3,54	3,57	3,6	3,58	3,56	3,54	3,55	3,56	3,52	3,63	3,59	3,52	3,59	3,6	3,54	3,53	570	85,61	10
3,66	3,6	3,6	3,61	3,65	3,62	3,64	3,6	3,62	3,61	3,66	3,64	3,62	3,6	3,61	3,62	3,6	3,63	3,64	3,6	3,66	3,6	3,6	3,61	600	86,9	10



Wykres 244. Seria dziesiąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

9.4 Proces rozładowania cel litowo-żelazowo-fosforanowych

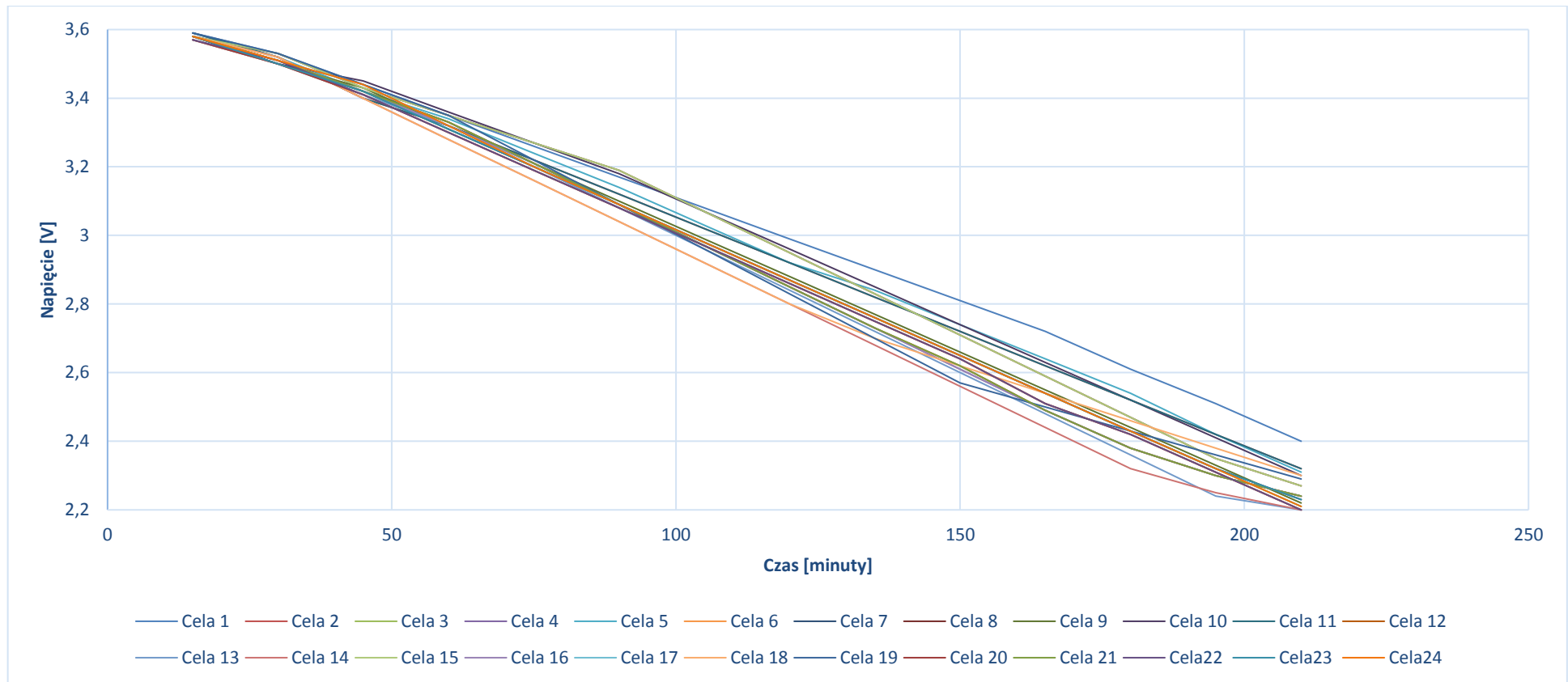
W kolejnym etapie procesu badawczego przeprowadzono serię dziesięciokrotnego rozładowania 24 cel LiFePO_4 . Na początku cyklu doładowujemy wszystkie cele do maksymalnego napięcia 3,6V. Rozładowanie odbywa się prądem 30A z użyciem zespołów silników. Przeprowadzając badania nad celami litowo-żelazowo-fosforanowymi obligatoryjne jest zastosowanie systemu nadzoru BMS, w celu zapewnienia bezpieczeństwa celi podczas cykli. W momencie uzyskania minimalnej wartości napięcia 2,2V na jednej celi- następuje zakończenie procesu rozładowania dla całej instalacji laboratoryjnej. Podczas pomiarów monitorowano takie parametry jak: napięcie, prąd czy czas trwania cyklu. Odczytane dane zostaną zapisane w przygotowanych tabelach (151-160) oraz przedstawione za pomocą wykresów (245-254), których wartości zostaną wykorzystane do wyznaczenia pojemności oraz mocy zgromadzonej w celach LiFePO_4 .

Parametry rozładowania dla poszczególnych cel są podobne. Na wykresie 245 można zaobserwować niewielkie rozbieżności głównie pomiędzy celą 1 a celą 14. Z wykresów można również ocenić stan cel LiFePO_4 . Cele są w dobrym stanie technicznym, bez znaczących różnic parametrów. Krzywe rozładowania wskazują liniowy trend rozładowania do momentu osiągnięcia minimalnego napięcia rozładowania 2,2V - na celi o najmniejszej pojemności. Parametry rozładowania dla każdej celi są bardzo podobne, co świadczy o zbliżonej pojemności. Proces oddawania energii następuje w analogiczny sposób oraz w zbliżonym czasie we wszystkich celach.



Tabela 151. Seria pierwsza rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,59	3,59	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	15	85,93	30
3,53	3,52	3,5	3,51	3,52	3,5	3,5	3,53	3,5	3,5	3,52	3,51	3,5	3,52	3,53	3,51	3,51	3,52	3,53	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	30	84,29	30
3,44	3,4	3,42	3,42	3,42	3,41	3,42	3,43	3,43	3,45	3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,42	3,44	3,4	3,44	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	45	82,1	30
3,35	3,32	3,31	3,33	3,34	3,3	3,31	3,35	3,32	3,36	3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,28	3,35	3,3	3,33	3,3	3,31	3,32	60	79,72	30
3,26	3,22	3,2	3,21	3,24	3,19	3,2	3,27	3,21	3,27	3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,16	3,22	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	75	77,11	30
3,17	3,12	3,09	3,09	3,14	3,08	3,09	3,19	3,1	3,18	3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,04	3,09	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	90	74,51	30
3,08	3,02	2,98	2,97	3,03	2,97	2,98	3,07	2,99	3,07	3,02	2,97	2,96	2,92	3,07	2,97	2,98	2,92	2,96	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	105	71,8	30
2,99	2,92	2,87	2,85	2,92	2,86	2,87	2,95	2,88	2,96	2,92	2,85	2,84	2,8	2,95	2,85	2,87	2,8	2,83	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	120	69,09	30
2,9	2,82	2,76	2,73	2,84	2,75	2,76	2,83	2,77	2,85	2,82	2,73	2,72	2,68	2,83	2,73	2,76	2,7	2,7	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	135	66,43	30
2,81	2,72	2,65	2,61	2,74	2,64	2,65	2,71	2,66	2,74	2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,62	2,57	2,64	2,62	2,64	2,65	2,65	150	63,79	30
2,72	2,62	2,54	2,49	2,64	2,51	2,54	2,59	2,55	2,63	2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,54	2,5	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	165	61,11	30
2,61	2,52	2,43	2,38	2,54	2,42	2,43	2,47	2,44	2,52	2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,46	2,43	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	180	58,59	30
2,51	2,42	2,32	2,3	2,42	2,31	2,32	2,35	2,33	2,41	2,42	2,3	2,24	2,25	2,35	2,3	2,32	2,38	2,36	2,31	2,3	2,31	2,32	2,32	195	56,17	30
2,4	2,32	2,21	2,24	2,31	2,2	2,23	2,27	2,22	2,3	2,32	2,24	2,2	2,2	2,27	2,24	2,21	2,3	2,29	2,2	2,24	2,2	2,23	2,21	210	54,05	30

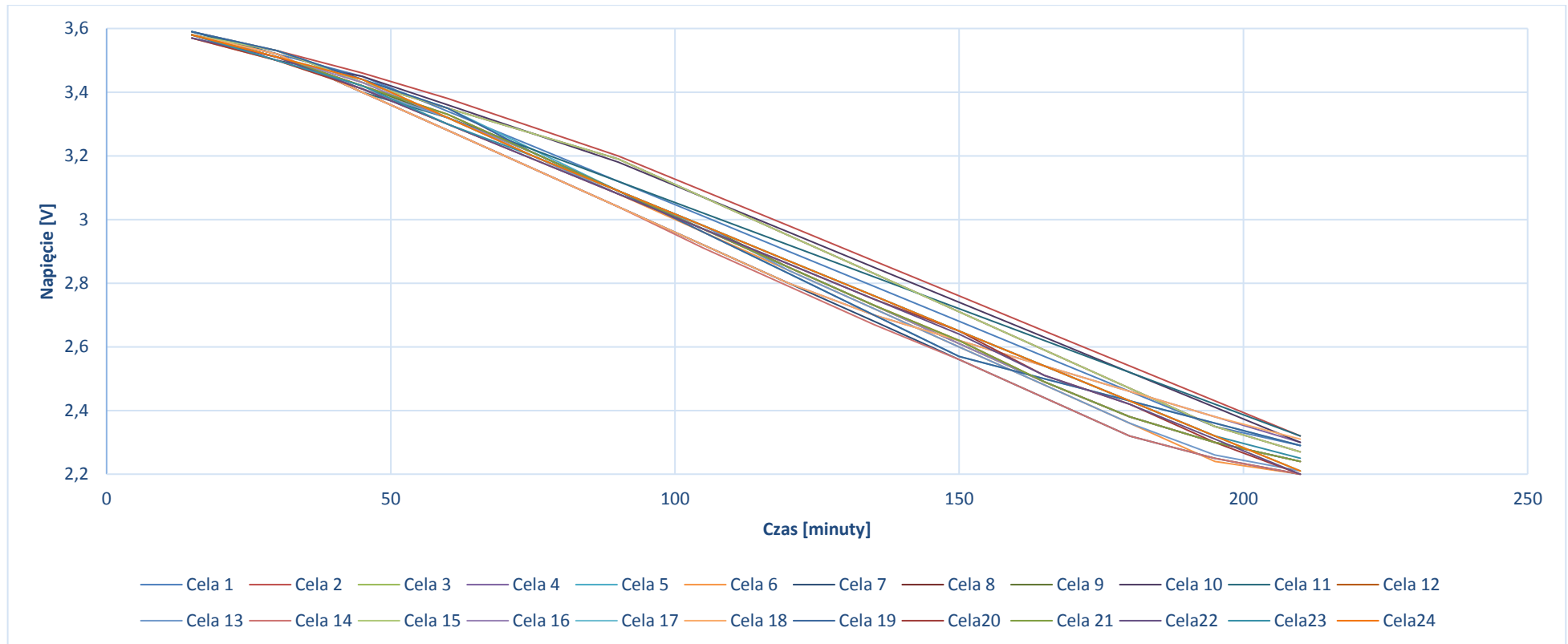


Wykres 245. Seria pierwsza rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 152. Seria druga rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,59	3,59	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	15	85,93	30
3,52	3,53	3,51	3,52	3,53	3,5	3,52	3,53	3,51	3,5	3,52	3,51	3,51	3,52	3,53	3,51	3,51	3,52	3,53	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	30	84,36	30
3,45	3,46	3,44	3,4	3,44	3,41	3,4	3,43	3,42	3,45	3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,43	3,44	3,4	3,44	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	45	82,17	30
3,34	3,38	3,32	3,28	3,35	3,32	3,28	3,35	3,32	3,36	3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,28	3,35	3,3	3,33	3,3	3,3	3,32	60	79,72	30
3,23	3,29	3,2	3,16	3,22	3,2	3,16	3,27	3,21	3,27	3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,16	3,21	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	75	77,04	30
3,12	3,2	3,09	3,04	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,18	3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,04	3,09	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	90	74,38	30
3,01	3,09	2,98	2,92	2,96	2,96	2,92	3,07	2,98	3,07	3,02	2,97	2,98	2,91	3,07	2,97	2,98	2,92	2,96	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	105	71,61	30
2,9	2,98	2,87	2,8	2,83	2,84	2,8	2,95	2,85	2,96	2,92	2,85	2,84	2,79	2,95	2,85	2,87	2,8	2,83	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	120	68,79	30
2,79	2,87	2,76	2,7	2,7	2,72	2,68	2,83	2,73	2,85	2,82	2,73	2,72	2,67	2,83	2,73	2,76	2,7	2,7	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	135	66,04	30
2,68	2,76	2,65	2,62	2,57	2,6	2,56	2,71	2,61	2,74	2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,62	2,57	2,65	2,62	2,64	2,65	2,65	150	63,37	30
2,57	2,65	2,54	2,54	2,5	2,48	2,44	2,59	2,49	2,63	2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,54	2,5	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	165	60,71	30
2,46	2,54	2,43	2,46	2,43	2,36	2,32	2,47	2,38	2,52	2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,46	2,43	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	180	58,2	30
2,35	2,43	2,32	2,38	2,36	2,24	2,25	2,35	2,3	2,41	2,42	2,3	2,26	2,25	2,35	2,3	2,32	2,38	2,36	2,3	2,3	2,31	2,32	2,32	195	55,88	30
2,29	2,32	2,21	2,3	2,29	2,2	2,2	2,27	2,24	2,3	2,32	2,24	2,21	2,2	2,27	2,24	2,21	2,31	2,29	2,2	2,24	2,2	2,25	2,21	210	54,01	30

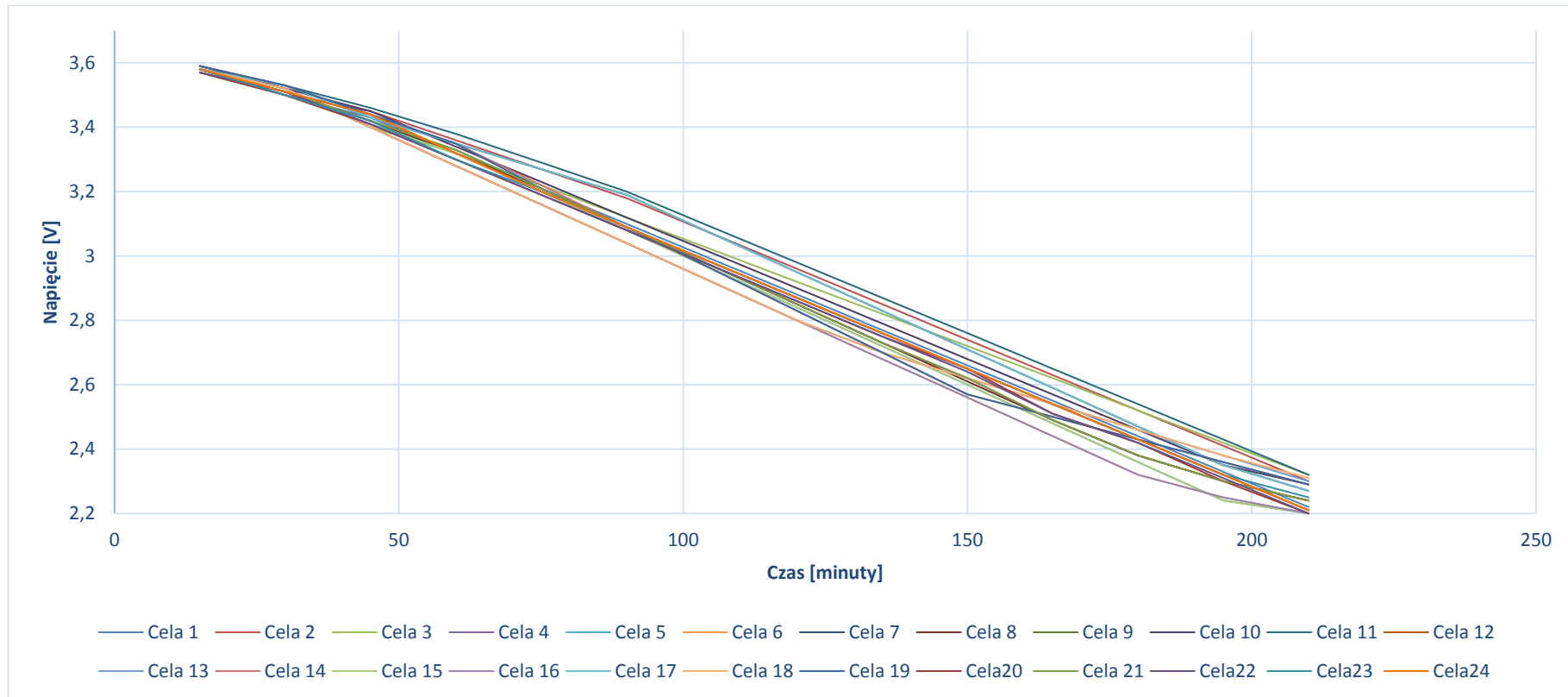


Wykres 246. Seria druga rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 153. Seria trzecia rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,58	3,58	3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,59	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	15	85,93	30
3,5	3,5	3,52	3,51	3,5	3,52	3,53	3,51	3,51	3,52	3,53	3,51	3,52	3,53	3,5	3,52	3,53	3,52	3,53	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	30	84,34	30
3,43	3,45	3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,42	3,44	3,45	3,46	3,44	3,4	3,44	3,41	3,4	3,43	3,4	3,44	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	45	82,17	30
3,32	3,36	3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,34	3,38	3,32	3,28	3,35	3,32	3,28	3,35	3,28	3,35	3,3	3,33	3,3	3,3	3,32	60	79,72	30
3,21	3,27	3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,23	3,29	3,2	3,16	3,22	3,2	3,16	3,27	3,16	3,21	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	75	77,04	30
3,1	3,18	3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,12	3,2	3,09	3,04	3,09	3,08	3,04	3,19	3,04	3,09	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	90	74,39	30
2,99	3,07	3,02	2,97	2,96	2,92	3,07	2,97	2,98	3,01	3,09	2,98	2,92	2,96	2,96	2,92	3,07	2,92	2,96	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	105	71,61	30
2,88	2,96	2,92	2,85	2,84	2,8	2,95	2,85	2,87	2,9	2,98	2,87	2,8	2,83	2,84	2,8	2,95	2,8	2,83	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	120	68,83	30
2,77	2,85	2,82	2,73	2,72	2,68	2,83	2,73	2,76	2,79	2,87	2,76	2,7	2,7	2,72	2,68	2,83	2,7	2,7	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	135	66,09	30
2,66	2,74	2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,68	2,76	2,65	2,62	2,57	2,6	2,56	2,71	2,62	2,57	2,65	2,62	2,64	2,65	2,65	150	63,42	30
2,55	2,63	2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,57	2,65	2,54	2,54	2,5	2,48	2,44	2,59	2,54	2,5	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	165	60,77	30
2,44	2,52	2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,46	2,54	2,43	2,46	2,43	2,36	2,32	2,47	2,46	2,43	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	180	58,26	30
2,33	2,41	2,42	2,3	2,24	2,25	2,35	2,3	2,32	2,35	2,43	2,32	2,38	2,36	2,24	2,25	2,35	2,38	2,36	2,3	2,3	2,31	2,32	2,32	195	55,89	30
2,22	2,3	2,32	2,24	2,2	2,2	2,27	2,24	2,21	2,29	2,32	2,21	2,3	2,29	2,2	2,2	2,27	2,31	2,29	2,2	2,24	2,2	2,25	2,21	210	53,98	30

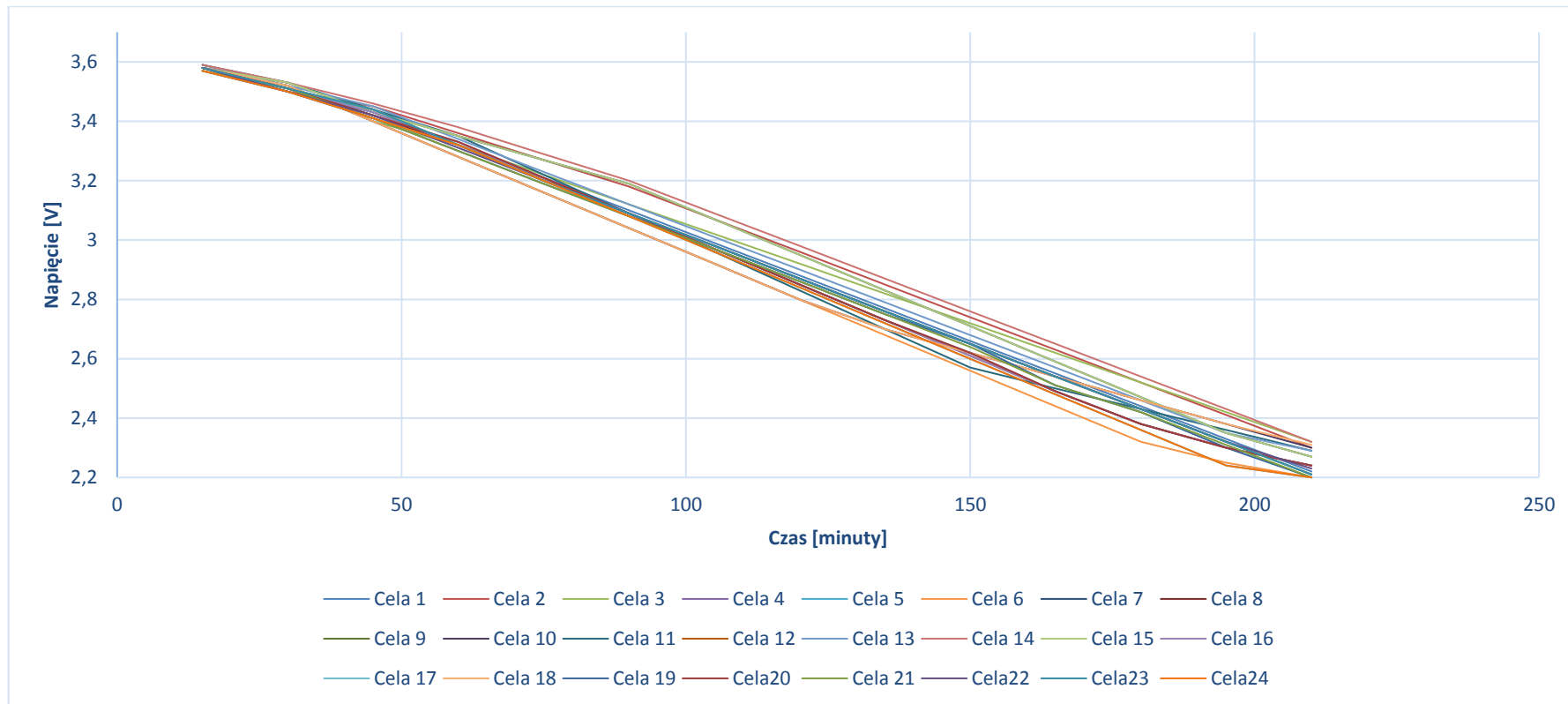


Wykres 247. Seria trzecia rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 154. Seria czwarta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,58	3,58	3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,58	3,59	3,59	3,58	3,58	3,58	3,58	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	3,57	15	85,92	30
3,5	3,5	3,52	3,51	3,5	3,52	3,53	3,51	3,51	3,52	3,53	3,51	3,52	3,53	3,53	3,51	3,51	3,52	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	3,5	30	84,31	30
3,43	3,45	3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,42	3,44	3,4	3,44	3,44	3,45	3,46	3,43	3,43	3,44	3,4	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	3,41	45	82,2	30
3,32	3,36	3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,28	3,35	3,32	3,34	3,38	3,35	3,32	3,32	3,28	3,3	3,33	3,3	3,31	3,32	3,32	60	79,74	30
3,21	3,27	3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,16	3,22	3,2	3,23	3,29	3,27	3,21	3,2	3,16	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	3,2	75	77,08	30
3,1	3,18	3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,04	3,09	3,09	3,12	3,2	3,19	3,09	3,09	3,04	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	3,08	90	74,44	30
2,99	3,07	3,02	2,97	2,96	2,92	3,07	2,97	2,98	2,92	2,96	2,98	3,01	3,09	3,07	2,97	2,98	2,92	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	2,96	105	71,68	30
2,88	2,96	2,92	2,85	2,84	2,8	2,95	2,85	2,87	2,8	2,83	2,87	2,9	2,98	2,95	2,85	2,87	2,8	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	2,84	120	68,92	30
2,77	2,85	2,82	2,73	2,72	2,68	2,83	2,73	2,76	2,7	2,7	2,76	2,79	2,87	2,83	2,73	2,76	2,7	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	2,72	135	66,2	30
2,66	2,74	2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,62	2,57	2,65	2,68	2,76	2,71	2,61	2,65	2,62	2,65	2,62	2,64	2,65	2,65	2,6	150	63,55	30
2,55	2,63	2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,54	2,5	2,54	2,57	2,65	2,59	2,49	2,54	2,54	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	2,48	165	60,86	30
2,44	2,52	2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,46	2,43	2,43	2,46	2,54	2,47	2,38	2,43	2,46	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	2,36	180	58,32	30
2,33	2,41	2,42	2,3	2,24	2,25	2,35	2,3	2,32	2,38	2,36	2,32	2,35	2,43	2,35	2,3	2,32	2,38	2,3	2,3	2,31	2,32	2,32	2,24	195	55,9	30
2,22	2,3	2,32	2,24	2,2	2,2	2,27	2,24	2,21	2,3	2,29	2,21	2,29	2,32	2,27	2,24	2,21	2,31	2,2	2,24	2,2	2,23	2,21	2,2	210	53,92	30

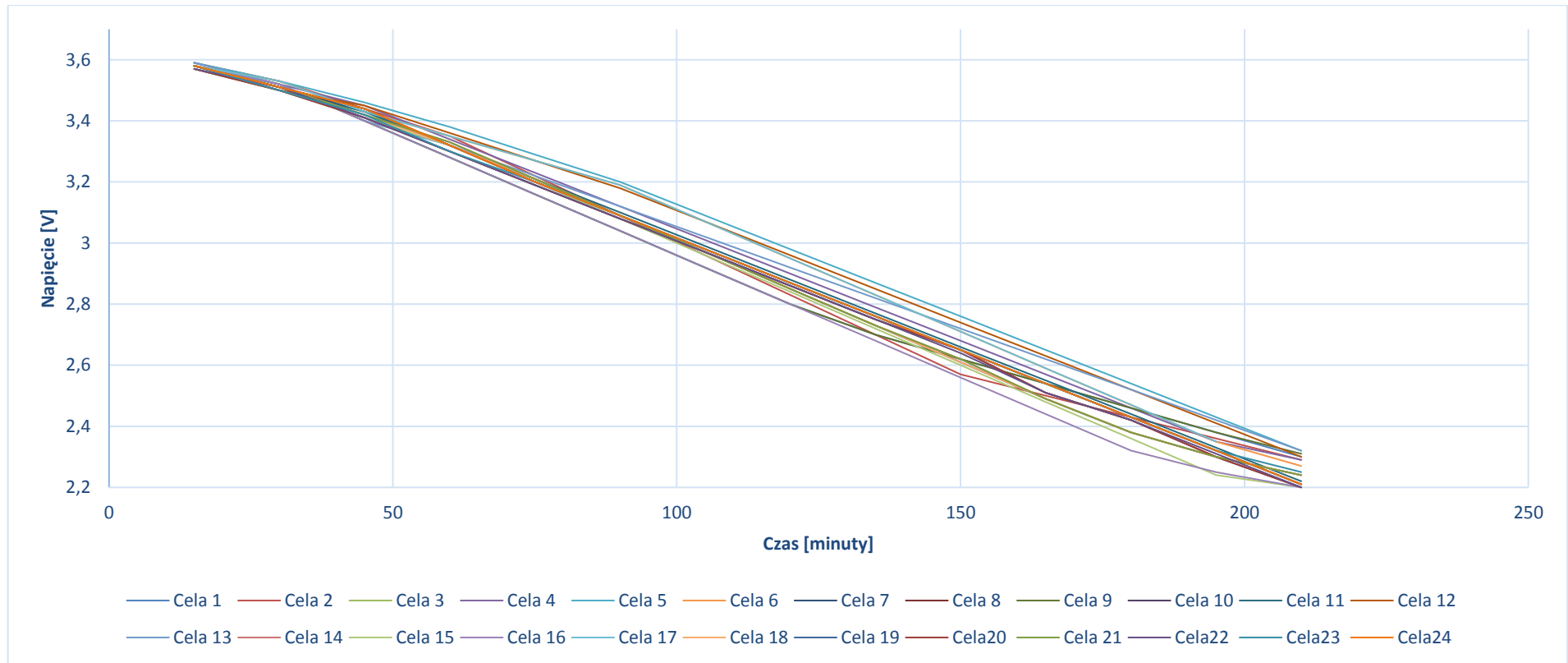


Wykres 248. Seria czwarta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 155. Seria piąta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,58	3,59	3,58	3,59	3,59	3,58	3,58	3,58	3,58	3,57	3,58	3,58	3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	15	85,92	30
3,52	3,53	3,51	3,52	3,53	3,53	3,51	3,51	3,52	3,5	3,5	3,5	3,52	3,51	3,5	3,52	3,53	3,51	3,51	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	30	84,31	30
3,4	3,44	3,44	3,45	3,46	3,43	3,43	3,44	3,4	3,41	3,43	3,45	3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,42	3,44	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	45	82,2	30
3,28	3,35	3,32	3,34	3,38	3,35	3,32	3,32	3,28	3,3	3,32	3,36	3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,3	3,33	3,3	3,3	3,32	60	79,71	30
3,16	3,22	3,2	3,23	3,29	3,27	3,21	3,2	3,16	3,19	3,21	3,27	3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	75	77,07	30
3,04	3,09	3,09	3,12	3,2	3,19	3,09	3,09	3,04	3,08	3,1	3,18	3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	90	74,44	30
2,92	2,96	2,98	3,01	3,09	3,07	2,97	2,98	2,92	2,97	2,99	3,07	3,02	2,97	2,96	2,92	3,07	2,97	2,98	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	105	71,69	30
2,8	2,83	2,87	2,9	2,98	2,95	2,85	2,87	2,8	2,86	2,88	2,96	2,92	2,85	2,84	2,8	2,95	2,85	2,87	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	120	68,94	30
2,7	2,7	2,76	2,79	2,87	2,83	2,73	2,76	2,7	2,75	2,77	2,85	2,82	2,73	2,72	2,68	2,83	2,73	2,76	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	135	66,23	30
2,62	2,57	2,65	2,68	2,76	2,71	2,61	2,65	2,62	2,65	2,66	2,74	2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,65	2,62	2,64	2,65	2,65	150	63,6	30
2,54	2,5	2,54	2,57	2,65	2,59	2,49	2,54	2,54	2,51	2,55	2,63	2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	165	60,89	30
2,46	2,43	2,43	2,46	2,54	2,47	2,38	2,43	2,46	2,42	2,44	2,52	2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	180	58,38	30
2,38	2,36	2,32	2,35	2,43	2,35	2,3	2,32	2,38	2,3	2,33	2,41	2,42	2,3	2,24	2,25	2,35	2,3	2,32	2,3	2,3	2,31	2,32	2,32	195	55,96	30
2,3	2,29	2,21	2,29	2,32	2,27	2,24	2,21	2,31	2,2	2,22	2,3	2,32	2,24	2,2	2,2	2,27	2,24	2,21	2,2	2,24	2,2	2,25	2,21	210	53,94	30

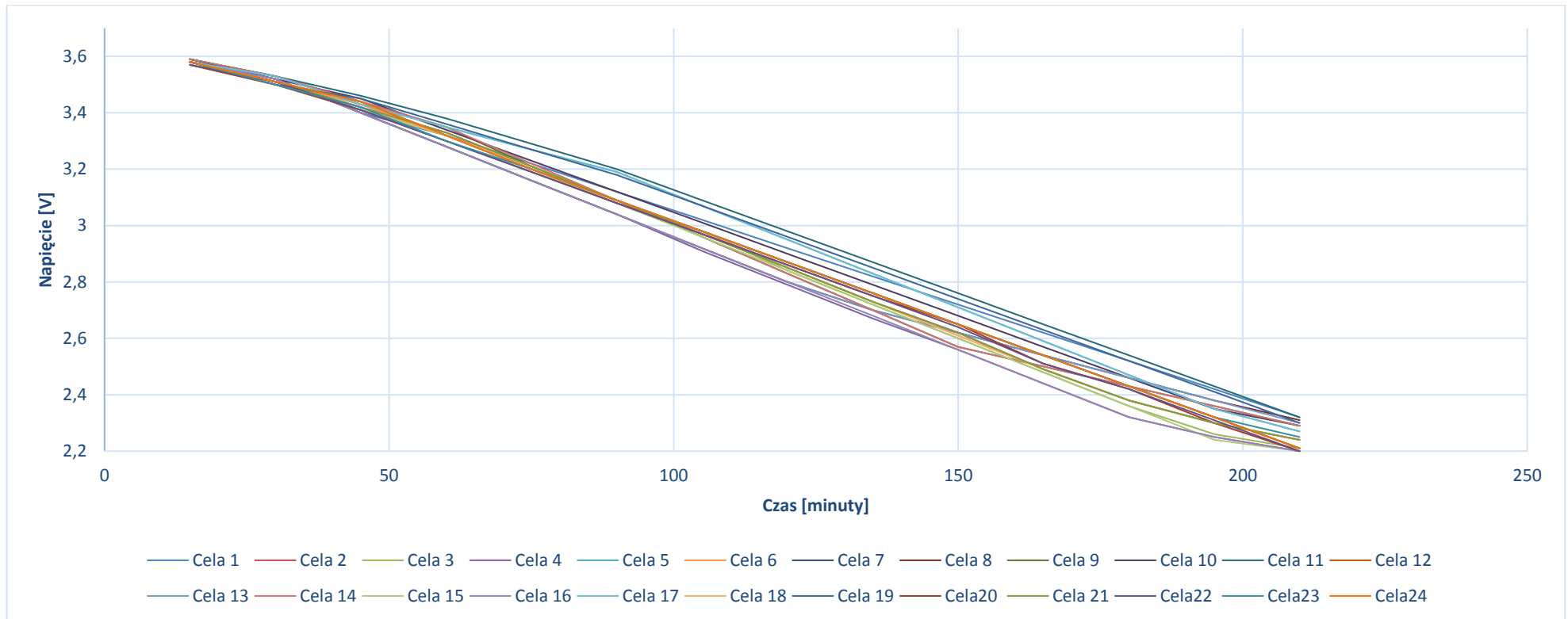


Wykres 249. Seria piąta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 156. Seria szósta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,59	3,59	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	15	85,93	30
3,52	3,51	3,51	3,52	3,53	3,51	3,51	3,52	3,53	3,52	3,53	3,51	3,52	3,53	3,5	3,52	3,53	3,51	3,5	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	30	84,36	30
3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,43	3,44	3,4	3,44	3,45	3,46	3,44	3,4	3,44	3,41	3,4	3,43	3,42	3,45	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	45	82,17	30
3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,28	3,35	3,34	3,38	3,32	3,28	3,35	3,32	3,28	3,35	3,32	3,36	3,3	3,33	3,3	3,3	3,32	60	79,72	30
3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,16	3,21	3,23	3,29	3,2	3,16	3,22	3,2	3,16	3,27	3,21	3,27	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	75	77,04	30
3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,04	3,09	3,12	3,2	3,09	3,04	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,18	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	90	74,38	30
3,02	2,97	2,98	2,91	3,07	2,97	2,98	2,92	2,96	3,01	3,09	2,98	2,92	2,96	2,96	2,92	3,07	2,98	3,07	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	105	71,61	30
2,92	2,85	2,84	2,79	2,95	2,85	2,87	2,8	2,83	2,9	2,98	2,87	2,8	2,83	2,84	2,8	2,95	2,85	2,96	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	120	68,79	30
2,82	2,73	2,72	2,67	2,83	2,73	2,76	2,7	2,7	2,79	2,87	2,76	2,7	2,7	2,72	2,68	2,83	2,73	2,85	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	135	66,04	30
2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,62	2,57	2,68	2,76	2,65	2,62	2,57	2,6	2,56	2,71	2,61	2,74	2,65	2,62	2,64	2,65	2,65	150	63,37	30
2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,54	2,5	2,57	2,65	2,54	2,54	2,5	2,48	2,44	2,59	2,49	2,63	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	165	60,71	30
2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,46	2,43	2,46	2,54	2,43	2,46	2,43	2,36	2,32	2,47	2,38	2,52	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	180	58,2	30
2,42	2,3	2,26	2,25	2,35	2,3	2,32	2,38	2,36	2,35	2,43	2,32	2,38	2,36	2,24	2,25	2,35	2,3	2,41	2,3	2,3	2,31	2,32	2,32	195	55,88	30
2,32	2,24	2,21	2,2	2,27	2,24	2,21	2,31	2,29	2,29	2,32	2,21	2,3	2,29	2,2	2,2	2,27	2,24	2,3	2,2	2,24	2,2	2,25	2,21	210	54,01	30

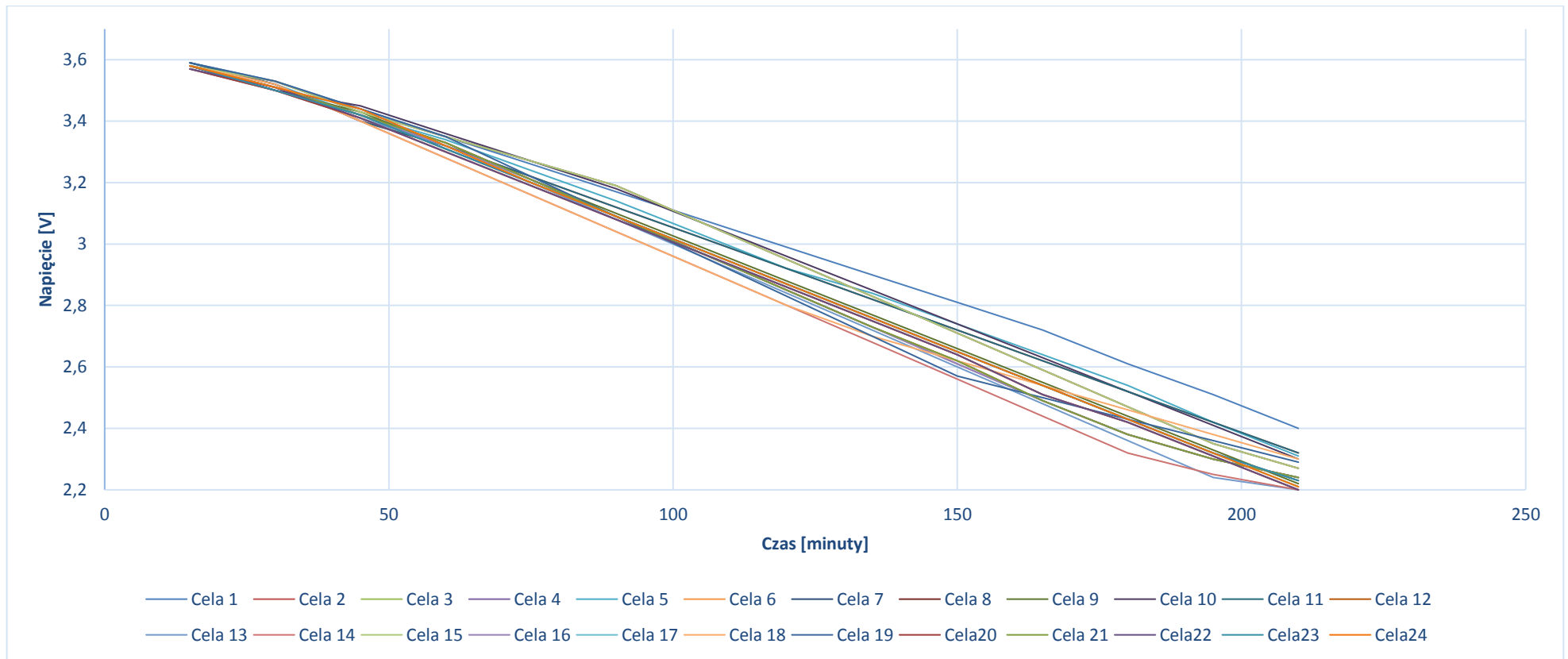


Wykres 250. Seria szósta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 157. Seria siódma rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,59	3,59	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	15	85,93	30
3,53	3,52	3,5	3,51	3,52	3,5	3,5	3,53	3,5	3,5	3,52	3,51	3,5	3,52	3,53	3,51	3,51	3,52	3,53	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	30	84,29	30
3,44	3,4	3,42	3,42	3,42	3,41	3,42	3,43	3,43	3,45	3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,42	3,44	3,4	3,44	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	45	82,1	30
3,35	3,32	3,31	3,33	3,34	3,3	3,31	3,35	3,32	3,36	3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,28	3,35	3,3	3,33	3,3	3,31	3,32	60	79,72	30
3,26	3,22	3,2	3,21	3,24	3,19	3,2	3,27	3,21	3,27	3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,16	3,22	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	75	77,11	30
3,17	3,12	3,09	3,09	3,14	3,08	3,09	3,19	3,1	3,18	3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,04	3,09	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	90	74,51	30
3,08	3,02	2,98	2,97	3,03	2,97	2,98	3,07	2,99	3,07	3,02	2,97	2,96	2,92	3,07	2,97	2,98	2,92	2,96	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	105	71,8	30
2,99	2,92	2,87	2,85	2,92	2,86	2,87	2,95	2,88	2,96	2,92	2,85	2,84	2,8	2,95	2,85	2,87	2,8	2,83	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	120	69,09	30
2,9	2,82	2,76	2,73	2,84	2,75	2,76	2,83	2,77	2,85	2,82	2,73	2,72	2,68	2,83	2,73	2,76	2,7	2,7	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	135	66,43	30
2,81	2,72	2,65	2,61	2,74	2,64	2,65	2,71	2,66	2,74	2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,62	2,57	2,64	2,62	2,64	2,65	2,65	150	63,79	30
2,72	2,62	2,54	2,49	2,64	2,51	2,54	2,59	2,55	2,63	2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,54	2,5	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	165	61,11	30
2,61	2,52	2,43	2,38	2,54	2,42	2,43	2,47	2,44	2,52	2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,46	2,43	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	180	58,59	30
2,51	2,42	2,32	2,3	2,42	2,31	2,32	2,35	2,33	2,41	2,42	2,3	2,24	2,25	2,35	2,3	2,32	2,38	2,36	2,31	2,3	2,31	2,32	2,32	195	56,17	30
2,4	2,32	2,21	2,24	2,31	2,2	2,23	2,27	2,22	2,3	2,32	2,24	2,2	2,2	2,27	2,24	2,21	2,3	2,29	2,2	2,24	2,2	2,23	2,21	210	54,05	30

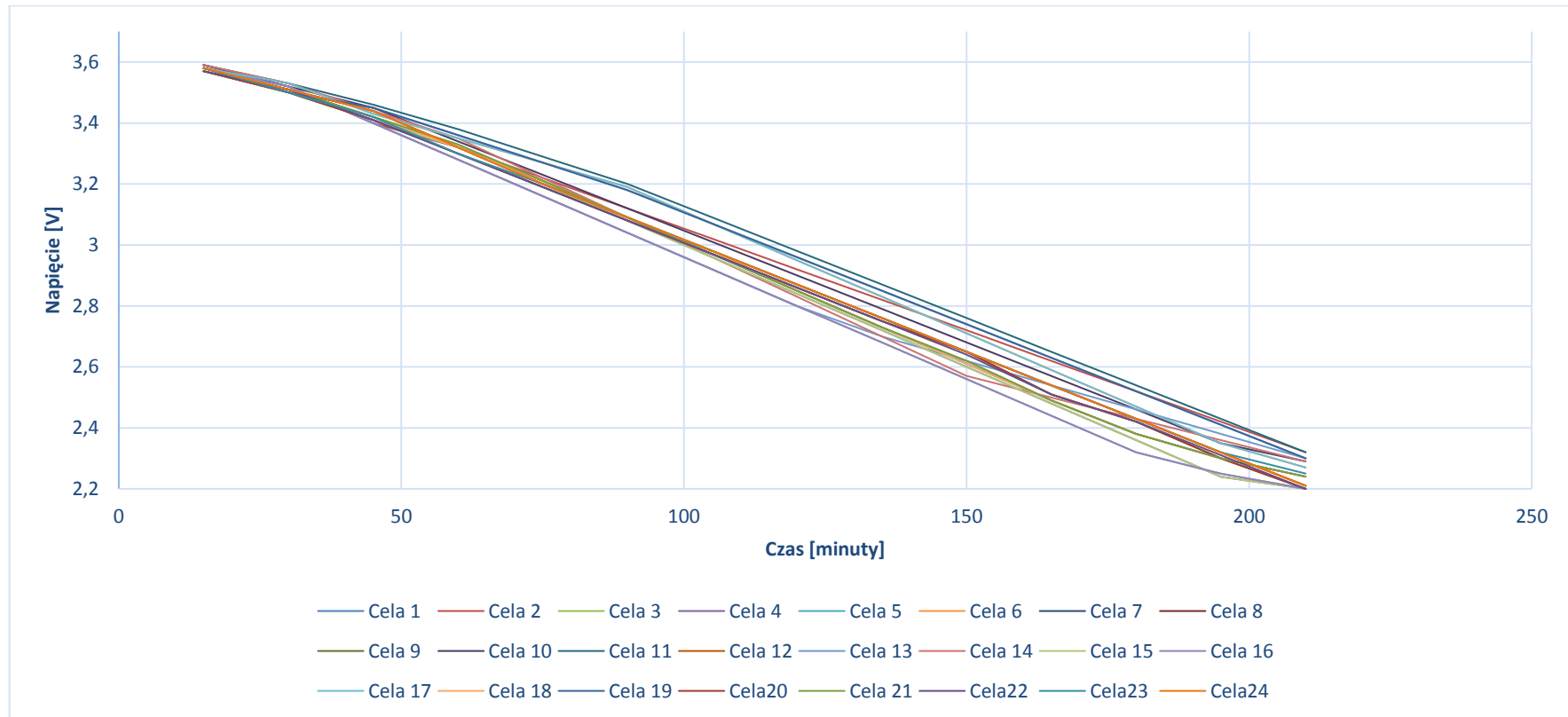


Wykres 251. Seria siódma rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 158. Seria ósma rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	
3,58	3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,57	3,59	3,59	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	15	85,91	30
3,5	3,52	3,51	3,5	3,52	3,53	3,51	3,51	3,5	3,52	3,53	3,51	3,52	3,53	3,5	3,52	3,53	3,51	3,5	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	3,51	30	84,3	30
3,45	3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,42	3,44	3,41	3,45	3,46	3,44	3,4	3,44	3,41	3,4	3,43	3,42	3,45	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	3,44	45	82,18	30
3,36	3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,3	3,34	3,38	3,32	3,28	3,35	3,32	3,28	3,35	3,32	3,36	3,3	3,33	3,3	3,3	3,32	3,32	60	79,75	30
3,27	3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,19	3,23	3,29	3,2	3,16	3,22	3,2	3,16	3,27	3,21	3,27	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	3,2	75	77,13	30
3,18	3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,08	3,12	3,2	3,09	3,04	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,18	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	3,09	90	74,51	30
3,07	3,02	2,97	2,96	2,92	3,07	2,97	2,98	2,97	3,01	3,09	2,98	2,92	2,96	2,96	2,92	3,07	2,98	3,07	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	2,98	105	71,76	30
2,96	2,92	2,85	2,84	2,8	2,95	2,85	2,87	2,86	2,9	2,98	2,87	2,8	2,83	2,84	2,8	2,95	2,85	2,96	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	2,87	120	68,99	30
2,85	2,82	2,73	2,72	2,68	2,83	2,73	2,76	2,75	2,79	2,87	2,76	2,7	2,7	2,72	2,68	2,83	2,73	2,85	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	2,76	135	66,25	30
2,74	2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,65	2,68	2,76	2,65	2,62	2,57	2,6	2,56	2,71	2,61	2,74	2,65	2,62	2,64	2,65	2,65	2,65	150	63,57	30
2,63	2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,51	2,57	2,65	2,54	2,54	2,5	2,48	2,44	2,59	2,49	2,63	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	2,54	165	60,81	30
2,52	2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,42	2,46	2,54	2,43	2,46	2,43	2,36	2,32	2,47	2,38	2,52	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	2,43	180	58,25	30
2,41	2,42	2,3	2,24	2,25	2,35	2,3	2,32	2,3	2,35	2,43	2,32	2,38	2,36	2,24	2,25	2,35	2,3	2,41	2,3	2,3	2,31	2,32	2,32	2,32	195	55,83	30
2,3	2,32	2,24	2,2	2,2	2,27	2,24	2,21	2,2	2,29	2,32	2,21	2,3	2,29	2,2	2,2	2,27	2,24	2,3	2,2	2,24	2,2	2,25	2,21	2,21	210	53,9	30

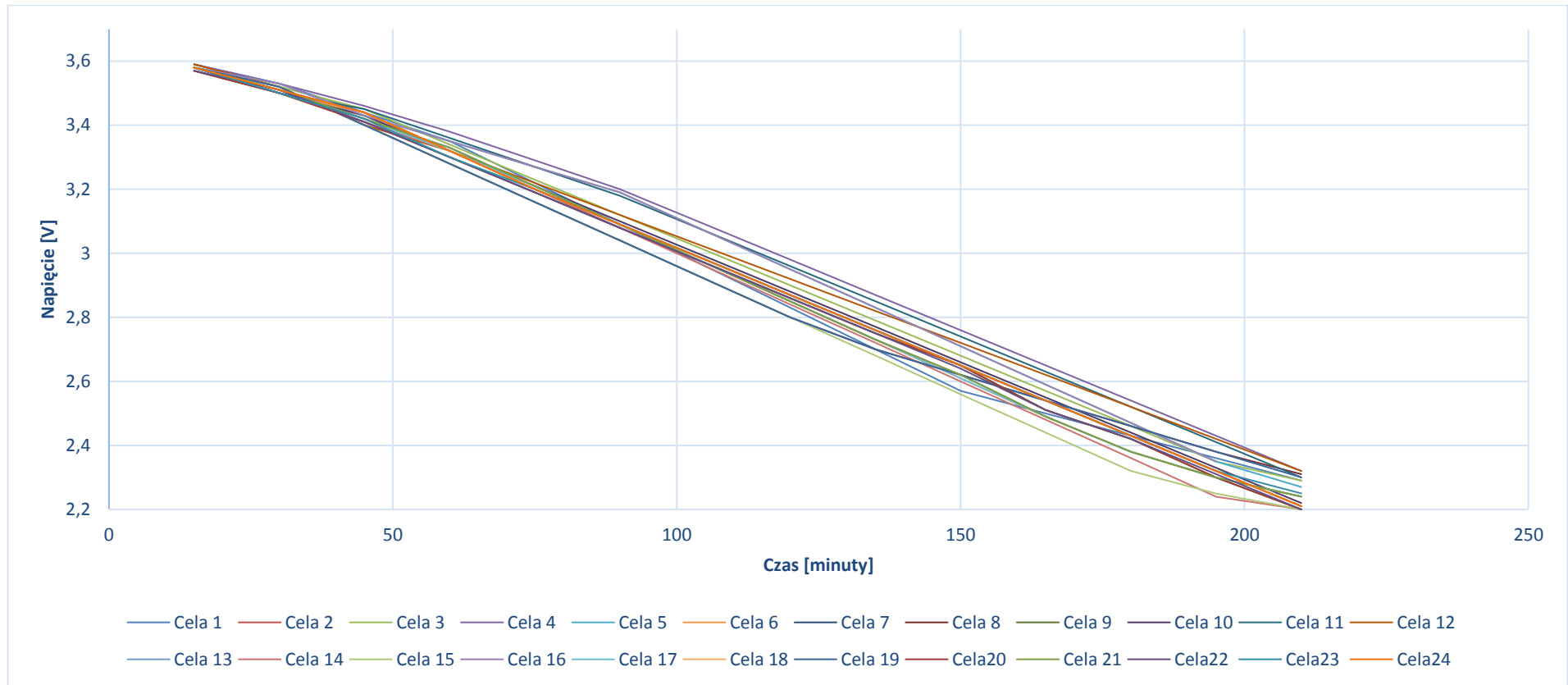


Wykres 252. Seria ósma rozładowania cel LiFePO złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 159. Seria dziewiąta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
3,59	3,58	3,59	3,59	3,58	3,58	3,58	3,58	3,57	3,58	3,58	3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	15	85,92	30
3,53	3,51	3,52	3,53	3,53	3,51	3,51	3,52	3,5	3,5	3,5	3,52	3,51	3,5	3,52	3,53	3,51	3,51	3,52	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	30	84,31	30
3,44	3,44	3,45	3,46	3,43	3,43	3,44	3,4	3,41	3,43	3,45	3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,42	3,44	3,4	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	45	82,2	30
3,35	3,32	3,34	3,38	3,35	3,32	3,32	3,28	3,3	3,32	3,36	3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,28	3,3	3,33	3,3	3,3	3,32	60	79,71	30
3,22	3,2	3,23	3,29	3,27	3,21	3,2	3,16	3,19	3,21	3,27	3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,16	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	75	77,07	30
3,09	3,09	3,12	3,2	3,19	3,09	3,09	3,04	3,08	3,1	3,18	3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,04	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	90	74,44	30
2,96	2,98	3,01	3,09	3,07	2,97	2,98	2,92	2,97	2,99	3,07	3,02	2,97	2,96	2,92	3,07	2,97	2,98	2,92	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	105	71,69	30
2,83	2,87	2,9	2,98	2,95	2,85	2,87	2,8	2,86	2,88	2,96	2,92	2,85	2,84	2,8	2,95	2,85	2,87	2,8	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	120	68,94	30
2,7	2,76	2,79	2,87	2,83	2,73	2,76	2,7	2,75	2,77	2,85	2,82	2,73	2,72	2,68	2,83	2,73	2,76	2,7	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	135	66,23	30
2,57	2,65	2,68	2,76	2,71	2,61	2,65	2,62	2,65	2,66	2,74	2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,62	2,65	2,62	2,64	2,65	2,65	150	63,6	30
2,5	2,54	2,57	2,65	2,59	2,49	2,54	2,54	2,51	2,55	2,63	2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,54	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	165	60,89	30
2,43	2,43	2,46	2,54	2,47	2,38	2,43	2,46	2,42	2,44	2,52	2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,46	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	180	58,38	30
2,36	2,32	2,35	2,43	2,35	2,3	2,32	2,38	2,3	2,33	2,41	2,42	2,3	2,24	2,25	2,35	2,3	2,32	2,38	2,3	2,3	2,31	2,32	2,32	195	55,96	30
2,29	2,21	2,29	2,32	2,27	2,24	2,21	2,31	2,2	2,22	2,3	2,32	2,24	2,2	2,2	2,27	2,24	2,21	2,3	2,2	2,24	2,2	2,25	2,21	210	53,94	30

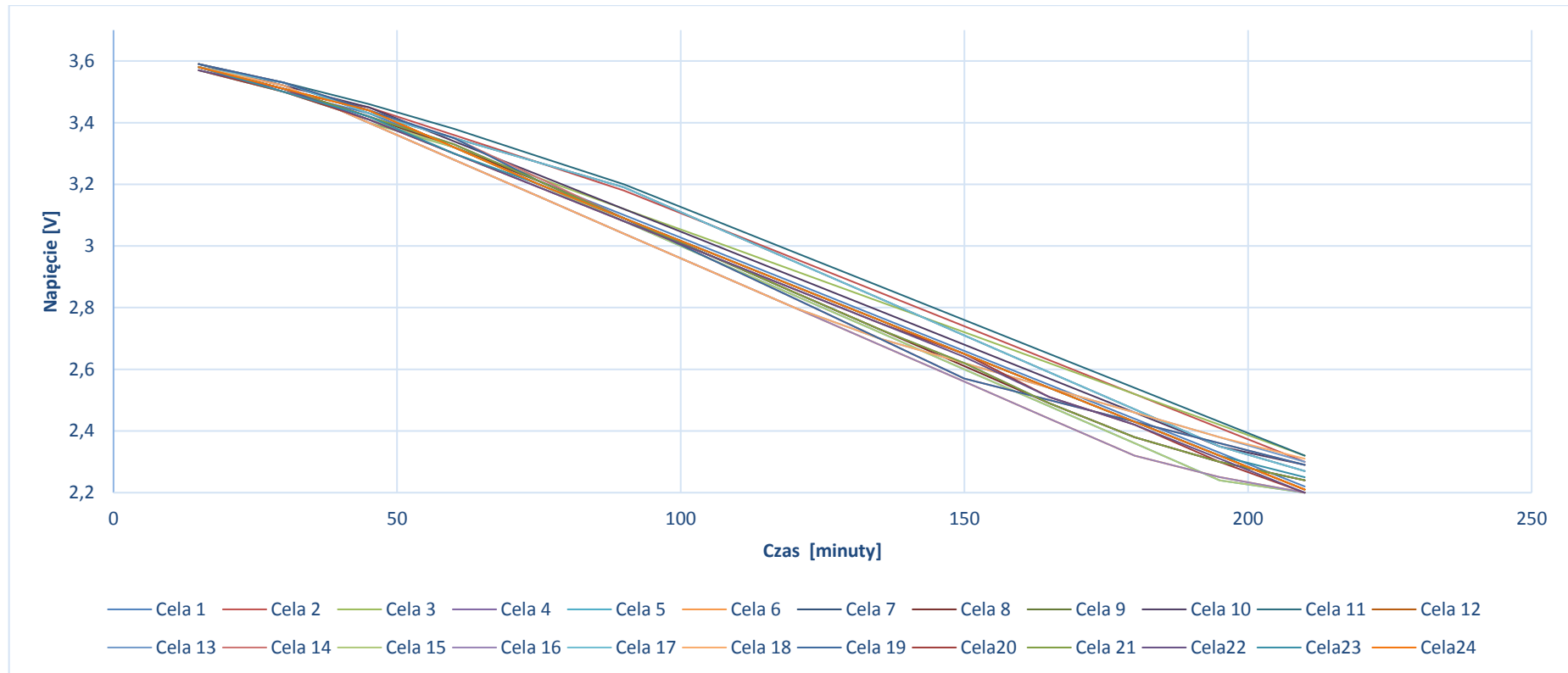


Wykres 253. Seria dziewięć rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną



Tabela 160. Seria dziesiąta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

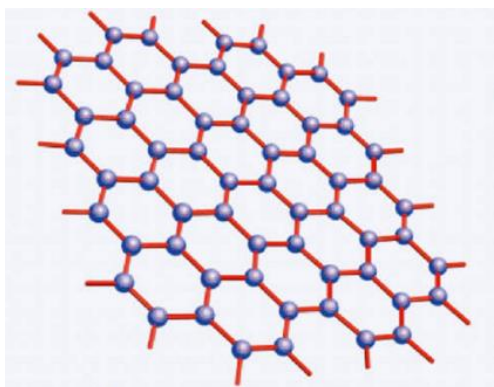
Cela 1 [V]	Cela 2 [V]	Cela 3 [V]	Cela 4 [V]	Cela 5 [V]	Cela 6 [V]	Cela 7 [V]	Cela 8 [V]	Cela 9 [V]	Cela 10 [V]	Cela 11 [V]	Cela 12 [V]	Cela 13 [V]	Cela 14 [V]	Cela 15 [V]	Cela 16 [V]	Cela 17 [V]	Cela 18 [V]	Cela 19 [V]	Cela 20 [V]	Cela 21 [V]	Cela 22 [V]	Cela 23 [V]	Cela 24 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]	
3,58	3,58	3,59	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	3,58	3,59	3,59	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,58	3,58	3,59	3,57	3,58	3,57	3,58	3,58	3,58	15	85,93	30
3,5	3,5	3,52	3,51	3,5	3,52	3,53	3,51	3,51	3,52	3,53	3,51	3,52	3,53	3,5	3,52	3,53	3,52	3,53	3,5	3,51	3,51	3,5	3,51	3,51	30	84,34	30
3,43	3,45	3,4	3,42	3,41	3,4	3,43	3,42	3,44	3,45	3,46	3,44	3,4	3,44	3,41	3,4	3,43	3,4	3,44	3,41	3,42	3,41	3,42	3,44	3,44	45	82,17	30
3,32	3,36	3,32	3,33	3,32	3,28	3,35	3,32	3,32	3,34	3,38	3,32	3,28	3,35	3,32	3,28	3,35	3,28	3,35	3,3	3,33	3,3	3,3	3,32	3,32	60	79,72	30
3,21	3,27	3,22	3,21	3,2	3,16	3,27	3,21	3,2	3,23	3,29	3,2	3,16	3,22	3,2	3,16	3,27	3,16	3,21	3,19	3,21	3,19	3,2	3,2	3,2	75	77,04	30
3,1	3,18	3,12	3,09	3,08	3,04	3,19	3,09	3,09	3,12	3,2	3,09	3,04	3,09	3,08	3,04	3,19	3,04	3,09	3,08	3,09	3,08	3,09	3,09	3,09	90	74,39	30
2,99	3,07	3,02	2,97	2,96	2,92	3,07	2,97	2,98	3,01	3,09	2,98	2,92	2,96	2,96	2,92	3,07	2,92	2,96	2,97	2,97	2,97	2,98	2,98	2,98	105	71,61	30
2,88	2,96	2,92	2,85	2,84	2,8	2,95	2,85	2,87	2,9	2,98	2,87	2,8	2,83	2,84	2,8	2,95	2,8	2,83	2,86	2,85	2,86	2,87	2,87	2,87	120	68,83	30
2,77	2,85	2,82	2,73	2,72	2,68	2,83	2,73	2,76	2,79	2,87	2,76	2,7	2,7	2,72	2,68	2,83	2,7	2,7	2,75	2,73	2,75	2,76	2,76	2,76	135	66,09	30
2,66	2,74	2,72	2,62	2,6	2,56	2,71	2,61	2,65	2,68	2,76	2,65	2,62	2,57	2,6	2,56	2,71	2,62	2,57	2,65	2,62	2,64	2,65	2,65	2,65	150	63,42	30
2,55	2,63	2,62	2,49	2,48	2,44	2,59	2,49	2,54	2,57	2,65	2,54	2,54	2,5	2,48	2,44	2,59	2,54	2,5	2,51	2,49	2,51	2,54	2,54	2,54	165	60,77	30
2,44	2,52	2,52	2,38	2,36	2,32	2,47	2,38	2,43	2,46	2,54	2,43	2,46	2,43	2,36	2,32	2,47	2,46	2,43	2,42	2,38	2,42	2,43	2,43	2,43	180	58,26	30
2,33	2,41	2,42	2,3	2,24	2,25	2,35	2,3	2,32	2,35	2,43	2,32	2,38	2,36	2,24	2,25	2,35	2,38	2,36	2,3	2,3	2,31	2,32	2,32	2,32	195	55,89	30
2,22	2,3	2,32	2,24	2,2	2,2	2,27	2,24	2,21	2,29	2,32	2,21	2,3	2,29	2,2	2,2	2,27	2,31	2,29	2,2	2,24	2,2	2,25	2,21	2,21	210	53,98	30



Wykres 254. Seria dziesiąta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną

10 Ogniwa grafenowo - litowo – polimerowe

Magazynowanie energii od wielu lat stanowi jedno z największych wyzwań technologicznych dla ludzkości. Jednak dotąd nie doczekaliśmy się na tyle oszczędnych i wydajnych rozwiązań, które spełniłyby nasze oczekiwania. Badania nad baterią grafenową dają nam takie nadzieje. Grafen to niewątpliwy hit ostatnich lat. To materiał nietypowy określany mianem 2D, ponieważ nie ma trzeciego wymiaru. Jest to pojedyncza warstwa atomów węgla, która prezentuje niespotykane właściwości mechaniczne i fizyczne. Potencjalne możliwości jej zastosowania są ogromne. Grafen jak sama nazwa wskazuje jest ekstrahowany z grafitu, materiału stosowanego w ołówkach. Podobnie jak grafit składa się w całości z atomów węgla, a 1mm grafitu zawiera około 3 milionów warstw grafenu. Grafen jest niesamowicie czystą substancją, głównie dzięki prostej, uporządkowanej strukturze opartej na regularnych wiązaniach atomowych. Niezwykłą cechą grafenu jest to, że jego krystaliczna struktura jest dwuwymiarowa. Innymi słowy atomy grafenu są ułożone płasko. Każda warstwa jest wykonana z sześciokątnych „pierścieni” węgla (podobnie jak wiele pierścieni benzenowych połączonych ze sobą, ale z większą ilością atomów węgla, zastępujących atomy wodoru wokół krawędzi), co nadaje wygląd podobny do plastra miodu. Ponieważ same warstwy mają tylko jeden atom, potrzebna jest warstwa złożona z około 3 mln takich warstw, aby grafen miał grubość 1mm.



Rysunek 23. Grafen ma płaską sieć krystaliczną zbudowaną z połączonych sześciokątów atomów węgla (niebieskich plam) ściśle ze sobą powiązanych (czerwone linie)

Arkusze grafenu mają tak ściśle powiązane atomy węgla, że działają jak super-cienkie sieci atomowe, uniemożliwiając przedostanie się innych materiałów. Oznacza to, że grafen jest przydatny do wychwytywania i wykrywania gazów, ale może także zawierać obiecujące aplikacje zawierające



gazy tj. wodór, które relatywnie łatwo wyciekają z konwencjonalnych pojemników. Płaska siatka grafenu wykazuje stosunkowo niewielką oporność na elektrony, które szybko i łatwo przeskakują, przewodząc elektryczność lepiej niż najlepsze przewodniki. Jego struktura jest prawie idealnie przezroczysta, gdyż pochłania 2% światła. Grafen jest nie przepuszczalny dla gazów, nawet tak lekkich jak wodór czy hel. Ponadto na jego powierzchni można dodać składniki chemiczne, aby zmienić jego właściwości. Materiał ten bardzo dobrze przewodzi ciepło oraz prąd, lepiej niż miedź, ponieważ oba procesy transportują energię za pomocą elektronów (prędkość przepływu elektronów w grafenie jest gigantyczna i wynosi 1/300 prędkości światła 1000km/h). Płaska siatka grafenu wykazuje stosunkowo niewielką oporność na elektrony, które szybko i łatwo przeskakują, przewodząc elektryczność lepiej niż najlepsze przewodniki. Jego rezystywność to ok. $10^{-8}\Omega\cdot m$, jest więc ona znacznie lepsza od najlepszych przewodników wśród metali, takich jak srebro ($1,59 \times 10^{-8}\Omega\cdot m$) czy miedź ($1,72 \times 10^{-8}\Omega\cdot m$). Wystarczy mu jednak prosta obróbka chemiczna, aby z idealnego przewodnika stał się on idealnym izolatorem np. z atomami wodoru (powstaje wtedy grafen) lub poddając grafen działaniu fluoru. W wyniku takiej reakcji powstaje fluorografen.

Tajemnica baterii grafenowych polega na wykorzystaniu anody z węgla krzemu w miejsce tradycyjnej anody grafitowej używanej w katodach baterii litowo-jonowych. Dzięki użyciu anody z węgla krzemu można albo obniżyć o kilkanaście procent wagę baterii albo zachowując wagę zwiększyć jej pojemność. Baterie grafenowe posiadają ogromną przewagę nad innymi w kwestii wydajności, efektywności, a także kosztów budowy. Grafenowe ogniwa wytrzymują również znacznie więcej cykli ładowań niż te używane obecnie oraz są dużo lżejsze od dzisiejszych. Grafen może mieć rozległe zastosowanie w elektronice, przede wszystkim mógłby zastąpić krzem. Ze względu na swoje właściwości nadaje się do wytwarzania przejrzystych i elastycznych wyświetlaczy dotykowych. Można go też wykorzystać do produkcji paneli słonecznych, a także wysokowydajnych akumulatorów służących do magazynowania energii. Grafen może być wbudowany zarówno w anodę jak i katodę w różnych systemach baterii, żeby zwiększyć ich wydajność i poprawić szybkość ładowania/rozładowania. Znakomite przewodnictwo elektryczne, powierzchnia i zdolność do dyspersji grafenu zwiększa korzystne właściwości wielu tradycyjnych elektrod nieorganicznych, jednocześnie uwalniając elektrody od ich ograniczeń. Ze względu na swój zróżnicowany charakter, grafen został włączony np. do baterii litowo-jonowych, litowo-siarkowych, superkondensatorów i ogniw paliwowych, których jest wiele odmian.

10.1 Prace badawczo-pomiarowe

Zespół zasilający składa się z sześciu akumulatorów złożonych z 10 ogniw o napięciu 14,8V oraz pojemności minimalnej 100Ah.

Na początku prac badawczo-pomiarowych ładujemy wszystkie ogniwa indywidualnie do osiągnięcia maksymalnego napięcia 16,6V. Następnie rozładowujemy do poziomu minimalnego napięcia 11,2V. Przeprowadzamy cykl rozruchowy rozładowanie – ładowanie prądem 10A (10-godzinnym). Cykl powtarzamy pięć razy. Ostatni raz należy pozostawić ogniwa w stanie pełnego naładowania. Układ badawczy łączymy zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku. Procesy są sterowane oraz rejestrowane za pomocą ładowarki specjalnie dedykowanej do akumulatorów li-ion, należącej do wyposażenia stanowiska badawczego.

10.2 Łączenie instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych

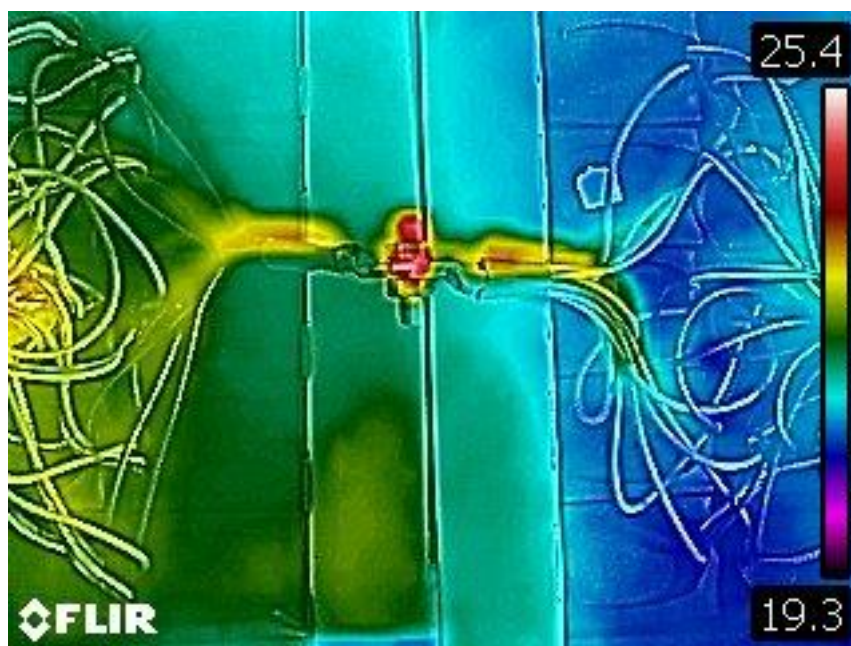
Instalacja laboratoryjna złożona z ogniw grafenowo-litowo-polimerowych składa się z 6 pakietów akumulatorów (złożonych z 10 ogniw o napięciu 14,8V) połączonych równolegle poprzez zaciski śrubowe. Maksymalne napięcie zestawu zasilającego wynosi 99,6V. Badania pod kątem sposobu łączenia ogniw litowo-żelazowo-fosforanowych w instalacji laboratoryjnej należy wykonać poprzez zaciski śrubowe. Jest to najbardziej optymalne połączenie. Połączenia zostaną odpowiednio udokumentowane (zdjęcia, charakterystyki). W celu lepszej oceny zostaną dodane również zdjęcia wykonane kamerą termowizyjną, potwierdzające najbardziej optymalne połączenie.

10.2.1 Połączenie poprzez zaciski śrubowe

Jest to najbardziej optymalne połączenie mechaniczne akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych. Połączenie poprzez zaciski śrubowe (zdjęcie 31) sprzyja przyleganiu całej powierzchni konektora akumulatora. Rezystancja wewnętrzna złącza zmniejsza się do minimum i nie generuje nadmiernego wzrostu temperatury na elementach łączeniowych (zdjęcie 32)



Zdjęcie 31. Połączenie ogniw grafenowo-litowo-polimerowych poprzez zaciski śrubowe



Zdjęcie 32. Połączenie zaciskami sprężystymi – zdjęcia wykonane kamerą termowizyjną

10.3 Proces ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

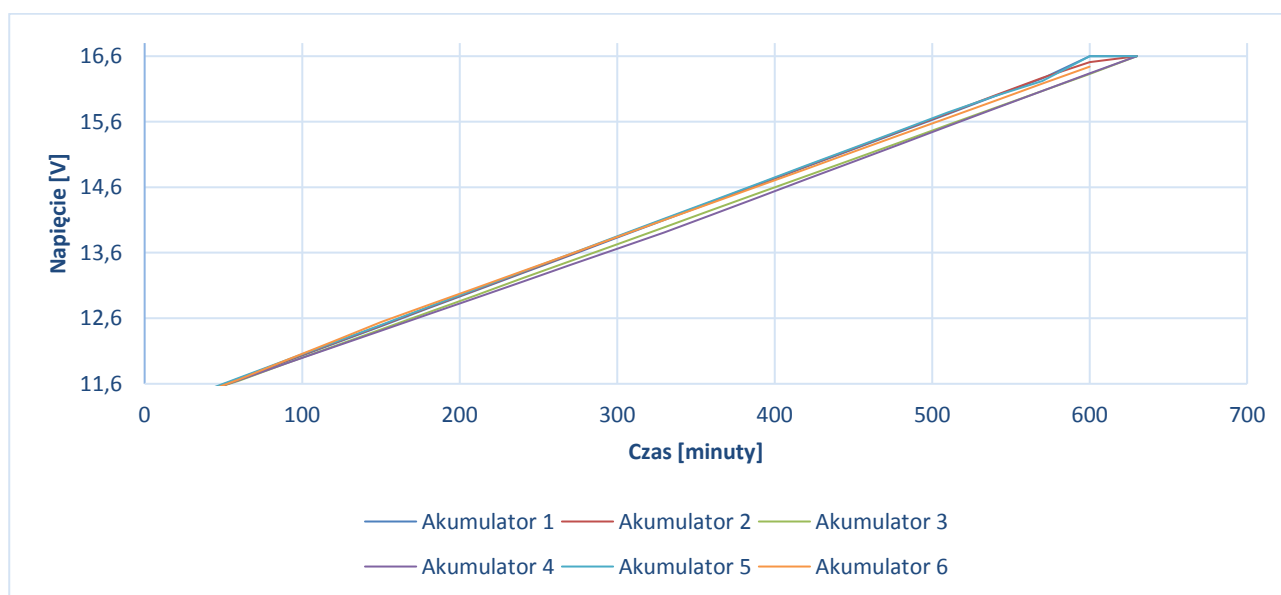
Kolejne prace w procesie badawczo-rozwojowym polegają na dziesięciokrotnym powtórzeniu cyklu rozładowania-ładowania w celu uzyskania rzeczywistych parametrów akumulatorów. Na początku etapu przeprowadzono kontrolę napięć na poszczególnych celach. Różnicę napięć należy wyrównać poprzez proces doładowania do poziomu maksymalnego napięcia na wszystkich akumulatorach. W pełni naładowane akumulatory rozładowujemy prądem rzędu 1C (10-godzinnym) do uzyskania wartości minimalnego napięcia 11,2V. Następnie ładujemy wszystkie do poziomu maksymalnego napięcia ładowania (również prądem o wartości 1C). W każdym cyklu ładowania-rozładowania na ogniwach grafenowo-litowo-polimerowych konieczne jest zabezpieczenie ogniw przed nadmiernym ładowaniem/rozładowaniem przez użycie odpowiedniej ładowarki z balanserem lub systemu nadzoru BMS. W badaniach zastosowano ogólnodostępny BMS, który będzie nadzorował poziom napięcia na akumulatorach.

Przeprowadzono serię dziesięciokrotnego ładowania ogniw grafenowo-litowo-polimerowych złożonych w instalację laboratoryjną, z zastosowaniem systemu nadzoru BMS. Na podstawie otrzymanych pomiarów powstały tabele oraz wykresy. Wykresy ukazują liniowy rosnący trend dla każdego akumulatora. Wszystkie cele ładowały się w jednolity sposób, bez znaczących rozbieżności. Na wykresie największe różnice są pomiędzy akumulatorem a. Na podstawie wyników pomiarów kondycję techniczną akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych można uznać za dobrą, ze względu na zachowanie pojemności oraz długości cykli. Parametry ładowania są podobne dla każdego badanego akumulatora. Maksymalne napięcie instalacji laboratoryjnej wynosi 99,6V.

Tabela 161. Seria pierwsza ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,4	11,41	11,42	11,41	11,42	11,4	30	68,46	10
11,67	11,68	11,65	11,66	11,69	11,67	60	70,02	10
11,94	11,95	11,91	11,91	11,96	11,96	90	71,63	10
12,21	12,22	12,17	12,16	12,23	12,25	120	73,24	10

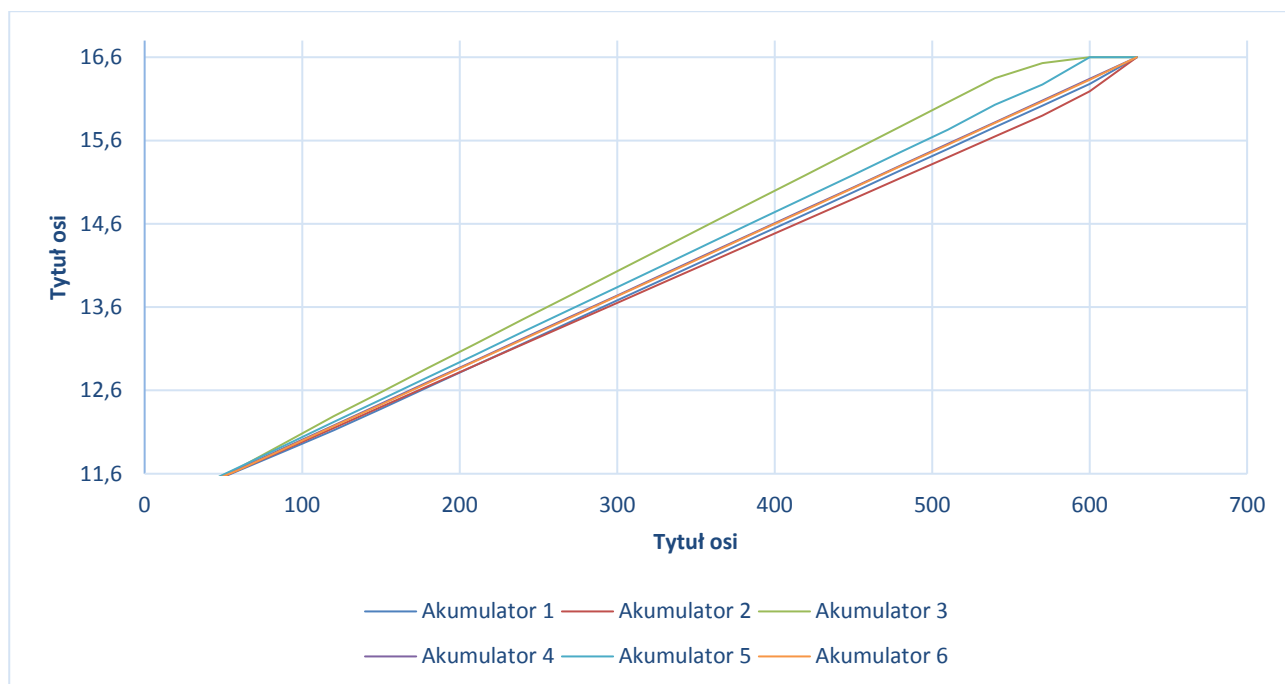
12,48	12,49	12,43	12,41	12,5	12,54	150	74,85	10
12,75	12,76	12,69	12,66	12,77	12,8	180	76,43	10
13,02	13,03	12,95	12,91	13,04	13,06	210	78,01	10
13,29	13,3	13,21	13,16	13,31	13,32	240	79,59	10
13,56	13,57	13,47	13,41	13,58	13,58	270	81,17	10
13,83	13,84	13,73	13,66	13,85	13,84	300	82,75	10
14,1	14,11	13,99	13,91	14,12	14,1	330	84,33	10
14,37	14,38	14,25	14,18	14,39	14,36	360	85,93	10
14,64	14,65	14,51	14,45	14,66	14,62	390	87,53	10
14,91	14,92	14,77	14,72	14,93	14,88	420	89,13	10
15,18	15,19	15,03	14,99	15,2	15,14	450	90,73	10
15,45	15,46	15,29	15,26	15,47	15,4	480	92,33	10
15,72	15,73	15,55	15,53	15,74	15,66	510	93,93	10
15,99	16	15,81	15,8	15,99	15,92	540	95,51	10
16,26	16,27	16,07	16,07	16,22	16,18	570	97,07	10
16,6	16,51	16,33	16,34	16,6	16,44	600	98,82	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10



Wykres 255. Seria pierwsza ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 162. Seria druga ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,4	11,4	11,41	11,4	11,41	11,41	30	68,43	10
11,64	11,65	11,67	11,66	11,68	11,65	60	69,95	10
11,88	11,9	11,98	11,92	11,95	11,91	90	71,54	10
12,12	12,15	12,29	12,18	12,22	12,17	120	73,13	10
12,38	12,4	12,58	12,44	12,49	12,43	150	74,72	10
12,64	12,65	12,87	12,7	12,76	12,69	180	76,31	10
12,9	12,9	13,16	12,96	13,03	12,95	210	77,9	10
13,16	13,15	13,45	13,22	13,3	13,21	240	79,49	10
13,42	13,4	13,74	13,48	13,57	13,47	270	81,08	10
13,68	13,65	14,03	13,74	13,84	13,73	300	82,67	10
13,94	13,9	14,32	14	14,11	13,99	330	84,26	10
14,2	14,15	14,61	14,26	14,38	14,25	360	85,85	10
14,46	14,4	14,9	14,52	14,65	14,51	390	87,44	10
14,72	14,65	15,19	14,78	14,92	14,77	420	89,03	10
14,98	14,9	15,48	15,04	15,19	15,03	450	90,62	10
15,24	15,15	15,77	15,3	15,46	15,29	480	92,21	10
15,5	15,4	16,06	15,56	15,73	15,55	510	93,8	10
15,76	15,65	16,35	15,82	16,03	15,81	540	95,42	10
16,02	15,9	16,53	16,08	16,27	16,07	570	96,87	10
16,28	16,19	16,6	16,34	16,6	16,33	600	98,34	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10

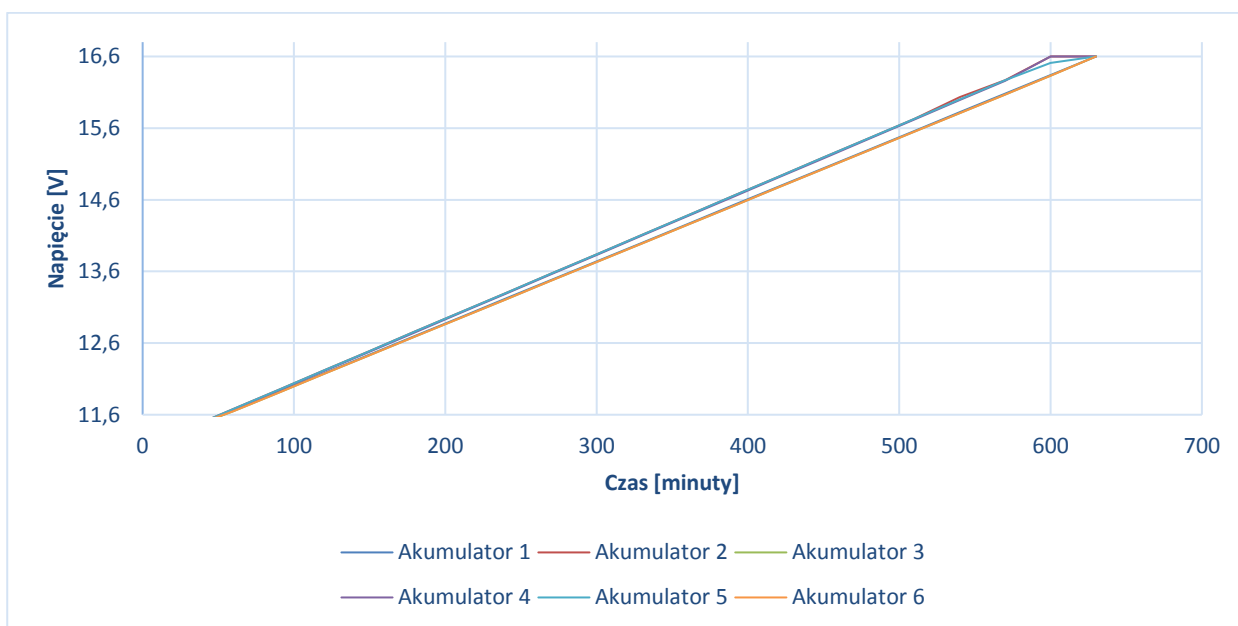


Wykres 256. Seria druga ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 163. Seria trzecia ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,4	11,41	11,41	11,4	11,41	11,42	30	68,45	10
11,66	11,68	11,65	11,67	11,68	11,65	60	69,99	10
11,92	11,95	11,91	11,94	11,95	11,91	90	71,58	10
12,18	12,22	12,17	12,21	12,22	12,17	120	73,17	10
12,44	12,49	12,43	12,48	12,49	12,43	150	74,76	10
12,7	12,76	12,69	12,75	12,76	12,69	180	76,35	10
12,96	13,03	12,95	13,02	13,03	12,95	210	77,94	10
13,22	13,3	13,21	13,29	13,3	13,21	240	79,53	10
13,48	13,57	13,47	13,56	13,57	13,47	270	81,12	10
13,74	13,84	13,73	13,83	13,84	13,73	300	82,71	10
14	14,11	13,99	14,1	14,11	13,99	330	84,3	10
14,26	14,38	14,25	14,37	14,38	14,25	360	85,89	10
14,52	14,65	14,51	14,64	14,65	14,51	390	87,48	10
14,78	14,92	14,77	14,91	14,92	14,77	420	89,07	10
15,04	15,19	15,03	15,18	15,19	15,03	450	90,66	10
15,3	15,46	15,29	15,45	15,46	15,29	480	92,25	10

15,56	15,73	15,55	15,72	15,73	15,55	510	93,84	10
15,82	16,03	15,81	15,99	16	15,81	540	95,46	10
16,08	16,27	16,07	16,26	16,27	16,07	570	97,02	10
16,34	16,6	16,33	16,6	16,51	16,33	600	98,71	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10

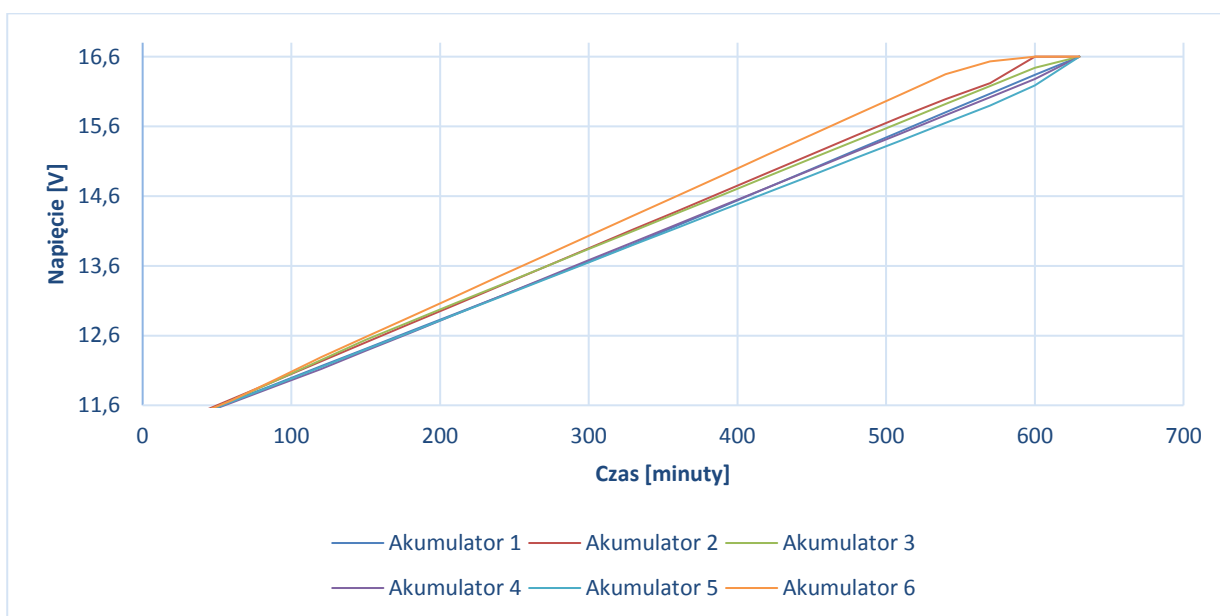


Wykres 257. Seria trzecia ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 164. Seria czwarta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,41	11,42	11,4	11,4	11,4	11,41	30	68,44	10
11,66	11,69	11,67	11,64	11,65	11,67	60	69,98	10
11,91	11,96	11,96	11,88	11,9	11,98	90	71,59	10
12,16	12,23	12,25	12,12	12,15	12,29	120	73,2	10
12,41	12,5	12,54	12,38	12,4	12,58	150	74,81	10
12,66	12,77	12,8	12,64	12,65	12,87	180	76,39	10
12,91	13,04	13,06	12,9	12,9	13,16	210	77,97	10
13,16	13,31	13,32	13,16	13,15	13,45	240	79,55	10
13,41	13,58	13,58	13,42	13,4	13,74	270	81,13	10
13,66	13,85	13,84	13,68	13,65	14,03	300	82,71	10

13,91	14,12	14,1	13,94	13,9	14,32	330	84,29	10
14,18	14,39	14,36	14,2	14,15	14,61	360	85,89	10
14,45	14,66	14,62	14,46	14,4	14,9	390	87,49	10
14,72	14,93	14,88	14,72	14,65	15,19	420	89,09	10
14,99	15,2	15,14	14,98	14,9	15,48	450	90,69	10
15,26	15,47	15,4	15,24	15,15	15,77	480	92,29	10
15,53	15,74	15,66	15,5	15,4	16,06	510	93,89	10
15,8	15,99	15,92	15,76	15,65	16,35	540	95,47	10
16,07	16,22	16,18	16,02	15,9	16,53	570	96,92	10
16,34	16,6	16,44	16,28	16,19	16,6	600	98,45	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10

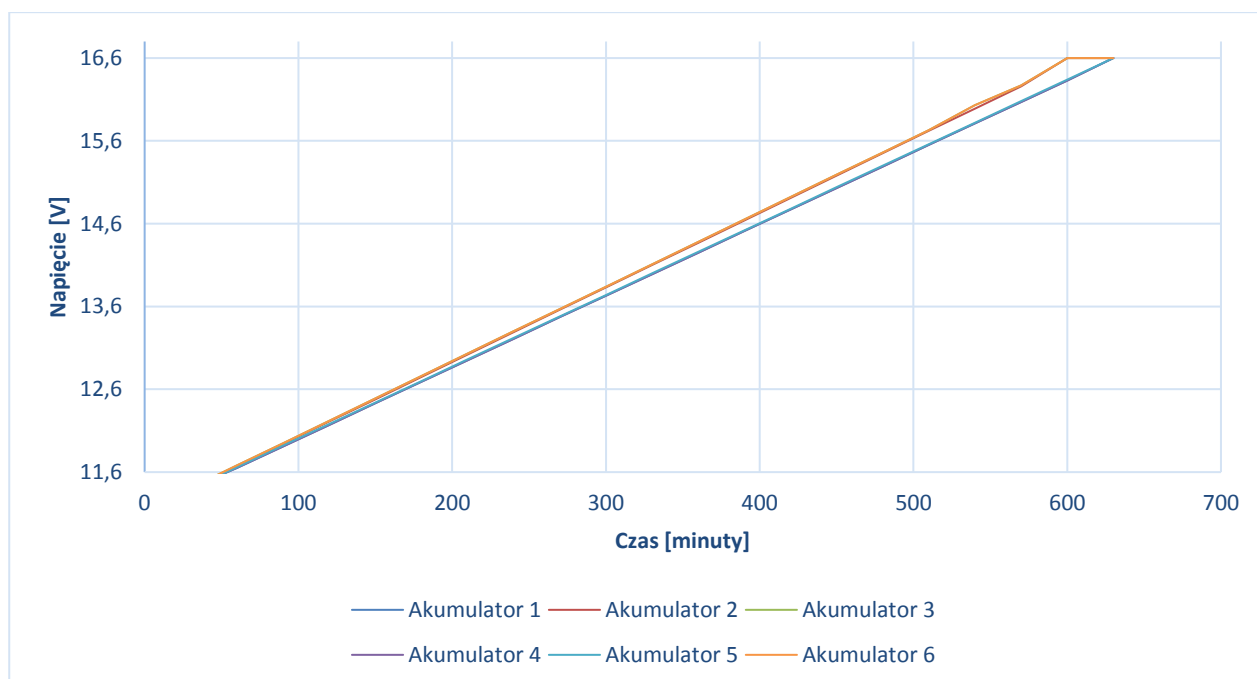


Wykres 258. Seria czwarta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 165. Seria piąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,41	11,4	11,41	11,41	11,4	11,41	30	68,44	10
11,65	11,67	11,68	11,65	11,66	11,68	60	69,99	10

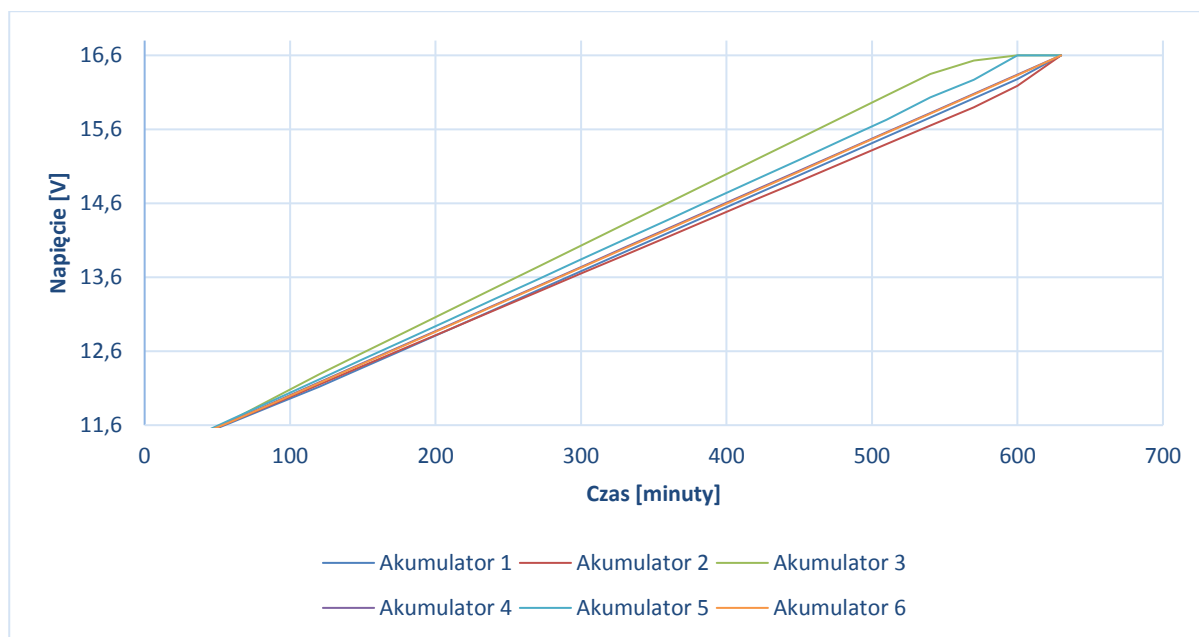
11,91	11,94	11,95	11,91	11,92	11,95	90	71,58	10
12,17	12,21	12,22	12,17	12,18	12,22	120	73,17	10
12,43	12,48	12,49	12,43	12,44	12,49	150	74,76	10
12,69	12,75	12,76	12,69	12,7	12,76	180	76,35	10
12,95	13,02	13,03	12,95	12,96	13,03	210	77,94	10
13,21	13,29	13,3	13,21	13,22	13,3	240	79,53	10
13,47	13,56	13,57	13,47	13,48	13,57	270	81,12	10
13,73	13,83	13,84	13,73	13,74	13,84	300	82,71	10
13,99	14,1	14,11	13,99	14	14,11	330	84,3	10
14,25	14,37	14,38	14,25	14,26	14,38	360	85,89	10
14,51	14,64	14,65	14,51	14,52	14,65	390	87,48	10
14,77	14,91	14,92	14,77	14,78	14,92	420	89,07	10
15,03	15,18	15,19	15,03	15,04	15,19	450	90,66	10
15,29	15,45	15,46	15,29	15,3	15,46	480	92,25	10
15,55	15,72	15,73	15,55	15,56	15,73	510	93,84	10
15,81	15,99	16,03	15,81	15,82	16,03	540	95,49	10
16,07	16,26	16,27	16,07	16,08	16,27	570	97,02	10
16,33	16,6	16,6	16,33	16,34	16,6	600	98,8	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10



Wykres 259. Seria piąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 166. Seria szósta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,4	11,4	11,41	11,4	11,41	11,41	30	68,43	10
11,64	11,65	11,67	11,66	11,68	11,65	60	69,95	10
11,88	11,9	11,98	11,92	11,95	11,91	90	71,54	10
12,12	12,15	12,29	12,18	12,22	12,17	120	73,13	10
12,38	12,4	12,58	12,44	12,49	12,43	150	74,72	10
12,64	12,65	12,87	12,7	12,76	12,69	180	76,31	10
12,9	12,9	13,16	12,96	13,03	12,95	210	77,9	10
13,16	13,15	13,45	13,22	13,3	13,21	240	79,49	10
13,42	13,4	13,74	13,48	13,57	13,47	270	81,08	10
13,68	13,65	14,03	13,74	13,84	13,73	300	82,67	10
13,94	13,9	14,32	14	14,11	13,99	330	84,26	10
14,2	14,15	14,61	14,26	14,38	14,25	360	85,85	10
14,46	14,4	14,9	14,52	14,65	14,51	390	87,44	10
14,72	14,65	15,19	14,78	14,92	14,77	420	89,03	10
14,98	14,9	15,48	15,04	15,19	15,03	450	90,62	10
15,24	15,15	15,77	15,3	15,46	15,29	480	92,21	10
15,5	15,4	16,06	15,56	15,73	15,55	510	93,8	10
15,76	15,65	16,35	15,82	16,03	15,81	540	95,42	10
16,02	15,9	16,53	16,08	16,27	16,07	570	96,87	10
16,28	16,19	16,6	16,34	16,6	16,33	600	98,34	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10

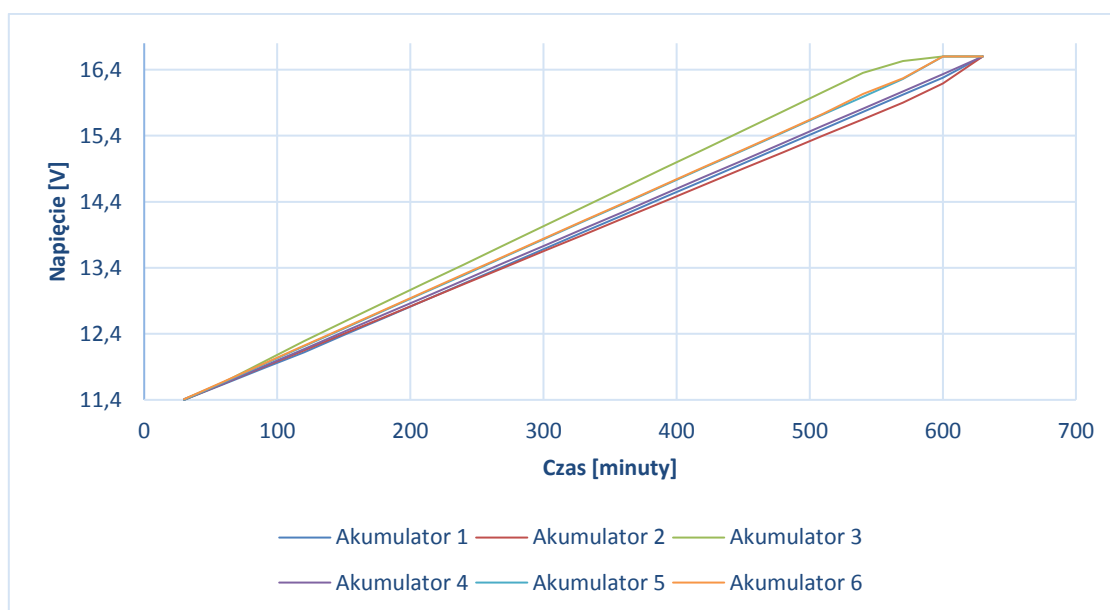


Wykres 260. . Seria szósta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 167. Seria siódma ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,4	11,4	11,41	11,41	11,4	11,41	30	68,43	10
11,64	11,65	11,67	11,65	11,67	11,68	60	69,96	10
11,88	11,9	11,98	11,91	11,94	11,95	90	71,56	10
12,12	12,15	12,29	12,17	12,21	12,22	120	73,16	10
12,38	12,4	12,58	12,43	12,48	12,49	150	74,76	10
12,64	12,65	12,87	12,69	12,75	12,76	180	76,36	10
12,9	12,9	13,16	12,95	13,02	13,03	210	77,96	10
13,16	13,15	13,45	13,21	13,29	13,3	240	79,56	10
13,42	13,4	13,74	13,47	13,56	13,57	270	81,16	10
13,68	13,65	14,03	13,73	13,83	13,84	300	82,76	10
13,94	13,9	14,32	13,99	14,1	14,11	330	84,36	10
14,2	14,15	14,61	14,25	14,37	14,38	360	85,96	10
14,46	14,4	14,9	14,51	14,64	14,65	390	87,56	10
14,72	14,65	15,19	14,77	14,91	14,92	420	89,16	10
14,98	14,9	15,48	15,03	15,18	15,19	450	90,76	10
15,24	15,15	15,77	15,29	15,45	15,46	480	92,36	10
15,5	15,4	16,06	15,55	15,72	15,73	510	93,96	10

15,76	15,65	16,35	15,81	15,99	16,03	540	95,59	10
16,02	15,9	16,53	16,07	16,26	16,27	570	97,05	10
16,28	16,19	16,6	16,33	16,6	16,6	600	98,6	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10

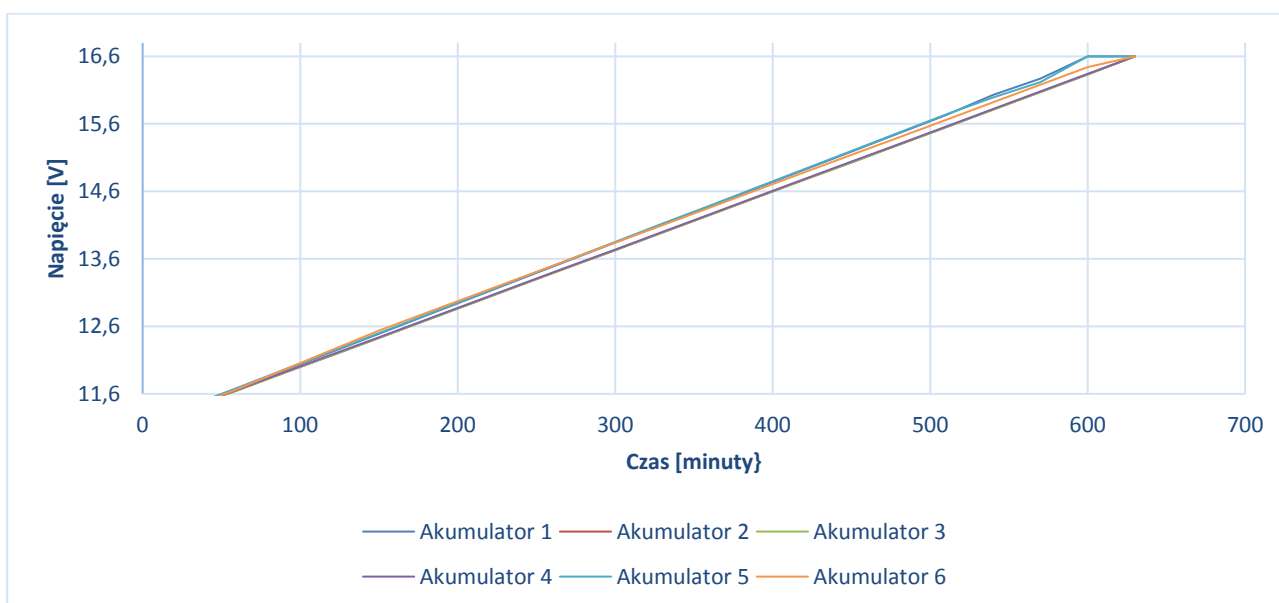


Wykres 261. Seria siódma ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 168. Seria ósma ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,41	11,41	11,41	11,4	11,42	11,4	30	68,45	10
11,68	11,65	11,65	11,66	11,69	11,67	60	70	10
11,95	11,91	11,91	11,92	11,96	11,96	90	71,61	10
12,22	12,17	12,17	12,18	12,23	12,25	120	73,22	10
12,49	12,43	12,43	12,44	12,5	12,54	150	74,83	10
12,76	12,69	12,69	12,7	12,77	12,8	180	76,41	10
13,03	12,95	12,95	12,96	13,04	13,06	210	77,99	10
13,3	13,21	13,21	13,22	13,31	13,32	240	79,57	10
13,57	13,47	13,47	13,48	13,58	13,58	270	81,15	10

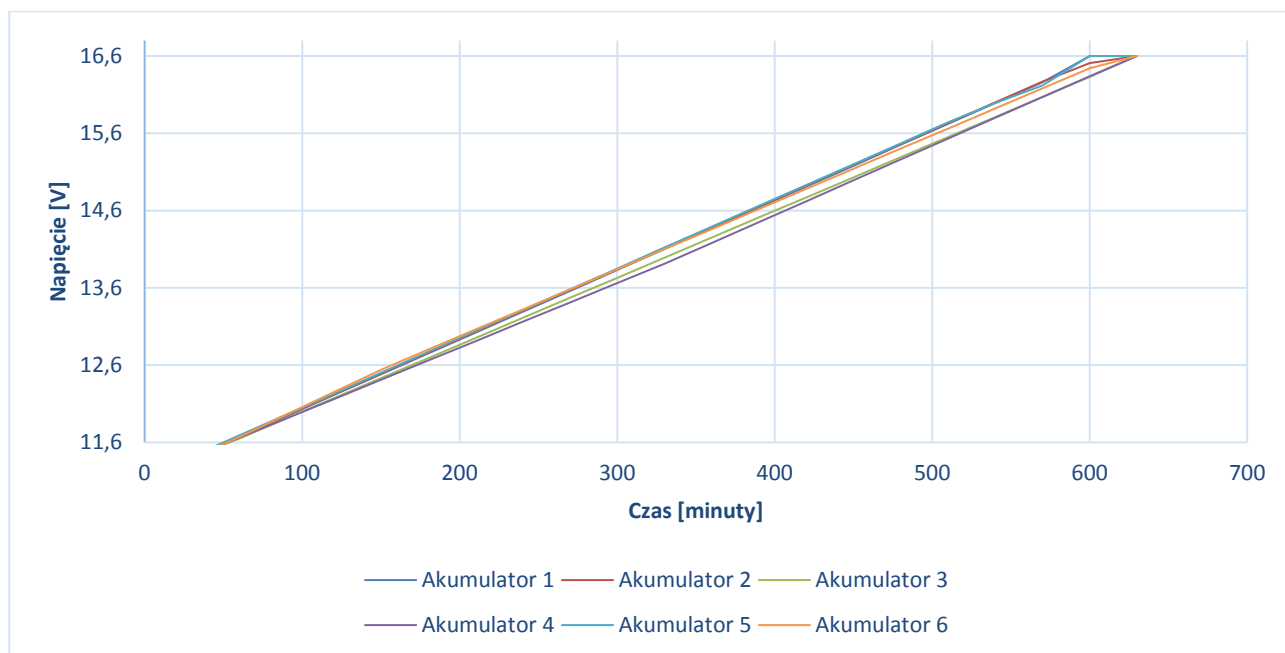
13,84	13,73	13,73	13,74	13,85	13,84	300	82,73	10
14,11	13,99	13,99	14	14,12	14,1	330	84,31	10
14,38	14,25	14,25	14,26	14,39	14,36	360	85,89	10
14,65	14,51	14,51	14,52	14,66	14,62	390	87,47	10
14,92	14,77	14,77	14,78	14,93	14,88	420	89,05	10
15,19	15,03	15,03	15,04	15,2	15,14	450	90,63	10
15,46	15,29	15,29	15,3	15,47	15,4	480	92,21	10
15,73	15,55	15,55	15,56	15,74	15,66	510	93,79	10
16,03	15,81	15,81	15,82	15,99	15,92	540	95,38	10
16,27	16,07	16,07	16,08	16,22	16,18	570	96,89	10
16,6	16,33	16,33	16,34	16,6	16,44	600	98,64	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10



Wykres 262. Seria ósma ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 169. Seria dziewięć ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,4	11,41	11,42	11,41	11,42	11,4	30	68,46	10
11,67	11,68	11,65	11,66	11,69	11,67	60	70,02	10
11,94	11,95	11,91	11,91	11,96	11,96	90	71,63	10
12,21	12,22	12,17	12,16	12,23	12,25	120	73,24	10
12,48	12,49	12,43	12,41	12,5	12,54	150	74,85	10
12,75	12,76	12,69	12,66	12,77	12,8	180	76,43	10
13,02	13,03	12,95	12,91	13,04	13,06	210	78,01	10
13,29	13,3	13,21	13,16	13,31	13,32	240	79,59	10
13,56	13,57	13,47	13,41	13,58	13,58	270	81,17	10
13,83	13,84	13,73	13,66	13,85	13,84	300	82,75	10
14,1	14,11	13,99	13,91	14,12	14,1	330	84,33	10
14,37	14,38	14,25	14,18	14,39	14,36	360	85,93	10
14,64	14,65	14,51	14,45	14,66	14,62	390	87,53	10
14,91	14,92	14,77	14,72	14,93	14,88	420	89,13	10
15,18	15,19	15,03	14,99	15,2	15,14	450	90,73	10
15,45	15,46	15,29	15,26	15,47	15,4	480	92,33	10
15,72	15,73	15,55	15,53	15,74	15,66	510	93,93	10
15,99	16	15,81	15,8	15,99	15,92	540	95,51	10
16,26	16,27	16,07	16,07	16,22	16,18	570	97,07	10
16,6	16,51	16,33	16,34	16,6	16,44	600	98,82	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10

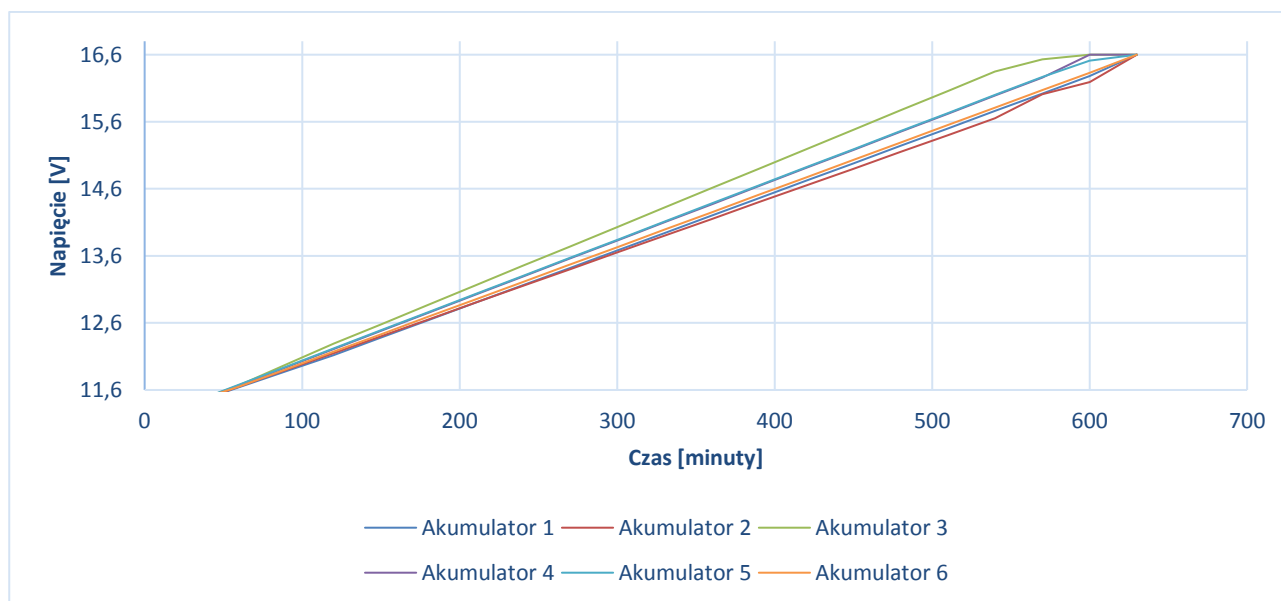


Wykres 263. Seria dziewiąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 170. Seria dziesiąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
11,4	11,4	11,41	11,4	11,41	11,42	30	68,44	10
11,64	11,65	11,67	11,67	11,68	11,65	60	69,96	10
11,88	11,9	11,98	11,94	11,95	11,91	90	71,56	10
12,12	12,15	12,29	12,21	12,22	12,17	120	73,16	10
12,38	12,4	12,58	12,48	12,49	12,43	150	74,76	10
12,64	12,65	12,87	12,75	12,76	12,69	180	76,36	10
12,9	12,9	13,16	13,02	13,03	12,95	210	77,96	10
13,16	13,15	13,45	13,29	13,3	13,21	240	79,56	10
13,42	13,4	13,74	13,56	13,57	13,47	270	81,16	10
13,68	13,65	14,03	13,83	13,84	13,73	300	82,76	10
13,94	13,9	14,32	14,1	14,11	13,99	330	84,36	10
14,2	14,15	14,61	14,37	14,38	14,25	360	85,96	10
14,46	14,4	14,9	14,64	14,65	14,51	390	87,56	10
14,72	14,65	15,19	14,91	14,92	14,77	420	89,16	10
14,98	14,9	15,48	15,18	15,19	15,03	450	90,76	10
15,24	15,15	15,77	15,45	15,46	15,29	480	92,36	10
15,5	15,4	16,06	15,72	15,73	15,55	510	93,96	10

15,76	15,65	16,35	15,99	16	15,81	540	95,56	10
16,02	16,01	16,53	16,26	16,27	16,07	570	97,16	10
16,28	16,19	16,6	16,6	16,51	16,33	600	98,51	10
16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	630	99,6	10



Wykres 264. Seria dziesiąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

10.4 Proces rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych

W stanie pełnego naładowania wszystkich ogniw składających się na akumulator grafenowo-litowo-polimerowy należy przystąpić do procesu rozładowania. Rozładowanie odbywało się prądem o wartości 10A (10-godzinnym) z użyciem zespołów silników. Proces rozładowania ogniw grafenowo-litowo-polimerowych należy zabezpieczyć stosując system nadzoru BMS, który odpowiedzialny jest za bezpieczeństwo w trakcie cykli rozładowania ogniw. BMS kontroluje stan napięcia akumulatorów i w momencie osiągnięcia minimalnego poziomu napięcia 11,2V (na przynajmniej jednym ogniwie) - proces rozładowania zostaje zakończony. Niwelowane jest w ten sposób ryzyko uszkodzenia ogniw z powodu nadmiernego rozładowania.

Podczas pomiarów monitorowano takie parametry jak: napięcie, prąd czy czas trwania cyklu. Odczytane dane zostaną zapisane w przygotowanych tabelach oraz przedstawione za pomocą wykresów, których wartości zostaną wykorzystane do wyznaczenia pojemności oraz mocy zgromadzonej w akumulatorach grafenowo-litowo-polimerowe.

Przeprowadzając serię dziesięciokrotnego cyklu rozładowania uzyskano parametry dla poszczególnych akumulatorów. Badania jednoznacznie przedstawiają brak znacznych rozbieżności pomiędzy akumulatorami- kondycja techniczna nowych ogniw grafenowo-litowo-polimerowych jest na wysokim poziomie. Parametry długości rozładowania oraz energii oddawanej przez akumulatory potwierdzają dobrą kondycję. Krzywe rozładowania wskazują liniowy trend rozładowania do momentu osiągnięcia minimalnego napięcia rozładowania 11,2V - na akumulatorze o najmniejszej pojemności. Parametry rozładowania dla każdego akumulatora są bardzo podobne, co świadczy o zbliżonej pojemności. Akumulator, który w najkrótszym czasie osiągnął wartość minimalnego napięcia rozładowania ma najmniejszą ilość zmagazynowanej energii, co wskazuje na mniejszą pojemność względem pozostałych akumulatorów.

Tabela 171. Seria pierwsza rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,4	16,41	16,4	16,4	16,41	16,41	30	98,43	10
16,14	16,15	16,13	16,14	16,16	16,13	60	96,85	10
15,88	15,89	15,86	15,88	15,91	15,85	90	95,27	10
15,62	15,63	15,59	15,62	15,66	15,57	120	93,69	10
15,36	15,37	15,32	15,36	15,41	15,29	150	92,11	10
15,1	15,11	15,05	15,1	15,13	15,01	180	90,5	10
14,84	14,85	14,78	14,8	14,85	14,73	210	88,85	10
14,58	14,59	14,51	14,58	14,57	14,45	240	87,28	10
14,32	14,33	14,24	14,32	14,29	14,17	270	85,67	10
14,06	14,07	13,97	14,06	14,05	13,89	300	84,1	10
13,8	13,81	13,7	13,8	13,82	13,61	330	82,54	10
13,54	13,55	13,43	13,54	13,59	13,33	360	80,98	10
13,28	13,29	13,16	13,28	13,26	13,05	390	79,32	10
13,02	13,03	12,89	13,02	12,93	12,77	420	77,66	10
12,76	12,77	12,62	12,76	12,64	12,49	450	76,04	10
12,5	12,51	12,35	12,51	12,35	12,26	480	74,48	10
12,24	12,25	12,08	12,24	12,06	12,03	510	72,9	10
11,98	11,99	11,81	11,98	11,77	11,8	540	71,33	10
11,72	11,73	11,55	11,7	11,5	11,57	570	69,77	10
11,46	11,47	11,3	11,44	11,32	11,34	600	68,33	10
11,2	11,21	11,2	11,23	11,2	11,23	630	67,27	10

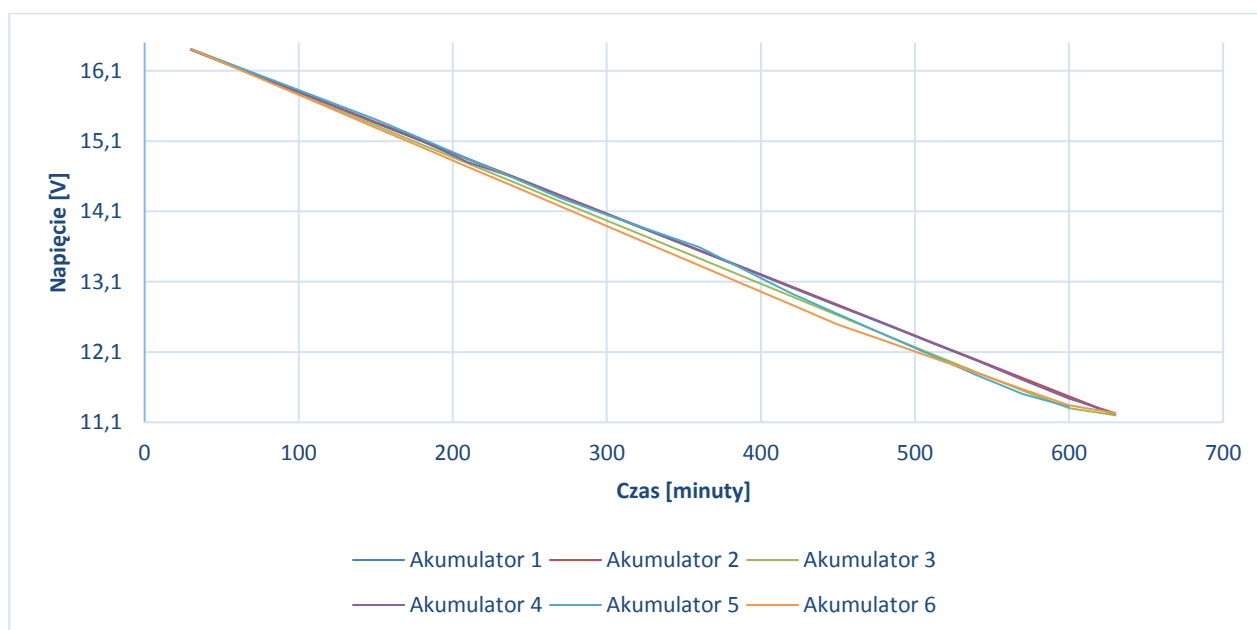
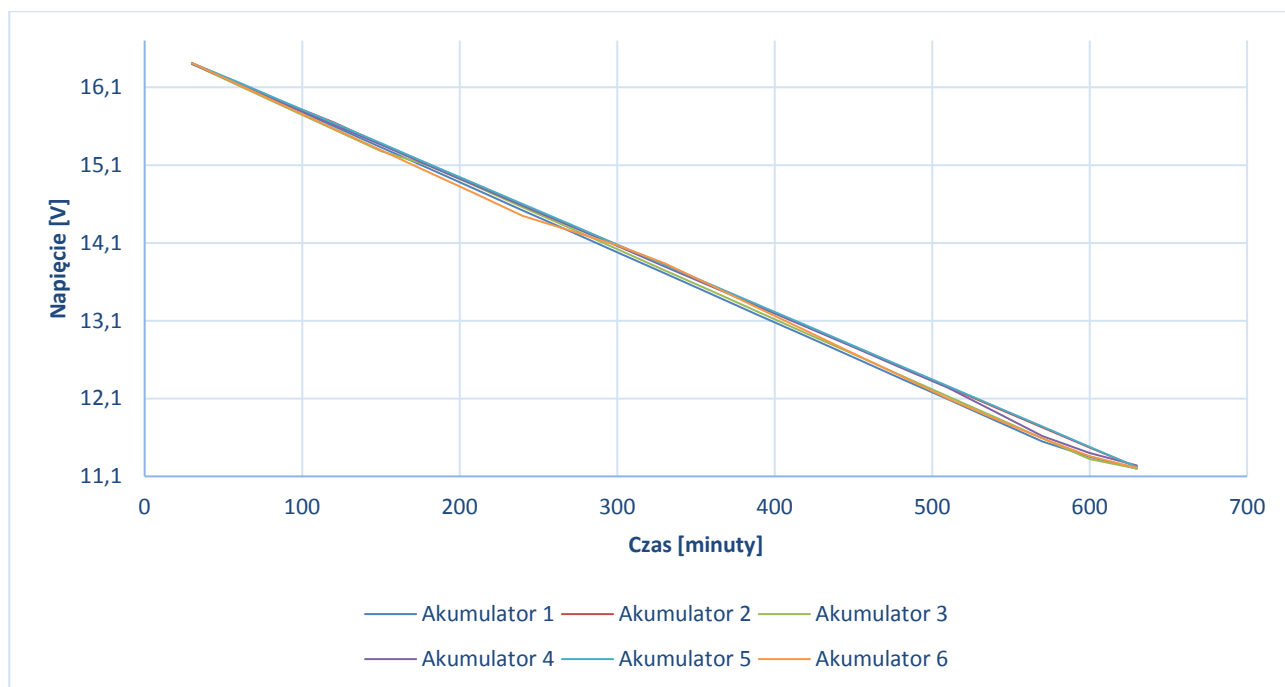

Wykres 265. Seria pierwsza rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 172. Seria druga rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,41	16,41	16,4	16,4	16,41	16,41	30	98,44	10
16,14	16,15	16,12	16,14	16,16	16,13	60	96,84	10
15,87	15,89	15,84	15,88	15,9	15,85	90	95,23	10
15,6	15,65	15,56	15,62	15,64	15,57	120	93,64	10
15,33	15,37	15,28	15,36	15,38	15,29	150	92,01	10
15,06	15,11	15,1	15,1	15,12	15,01	180	90,5	10
14,79	14,85	14,83	14,84	14,86	14,73	210	88,9	10
14,52	14,57	14,56	14,58	14,6	14,45	240	87,28	10
14,25	14,33	14,29	14,32	14,34	14,26	270	85,79	10
13,98	14,07	14,02	14,06	14,08	14,07	300	84,28	10
13,71	13,83	13,75	13,8	13,82	13,84	330	82,75	10
13,44	13,55	13,48	13,54	13,56	13,55	360	81,12	10
13,17	13,29	13,21	13,28	13,3	13,26	390	79,51	10
12,9	13,03	12,94	13,02	13,04	12,97	420	77,9	10
12,63	12,77	12,67	12,76	12,78	12,68	450	76,29	10
12,36	12,51	12,4	12,5	12,52	12,39	480	74,68	10
12,09	12,25	12,13	12,24	12,26	12,1	510	73,07	10
11,82	11,99	11,86	11,93	12	11,84	540	71,44	10
11,55	11,73	11,59	11,62	11,74	11,59	570	69,82	10
11,35	11,47	11,32	11,4	11,48	11,36	600	68,38	10
11,2	11,22	11,2	11,24	11,22	11,21	630	67,29	10

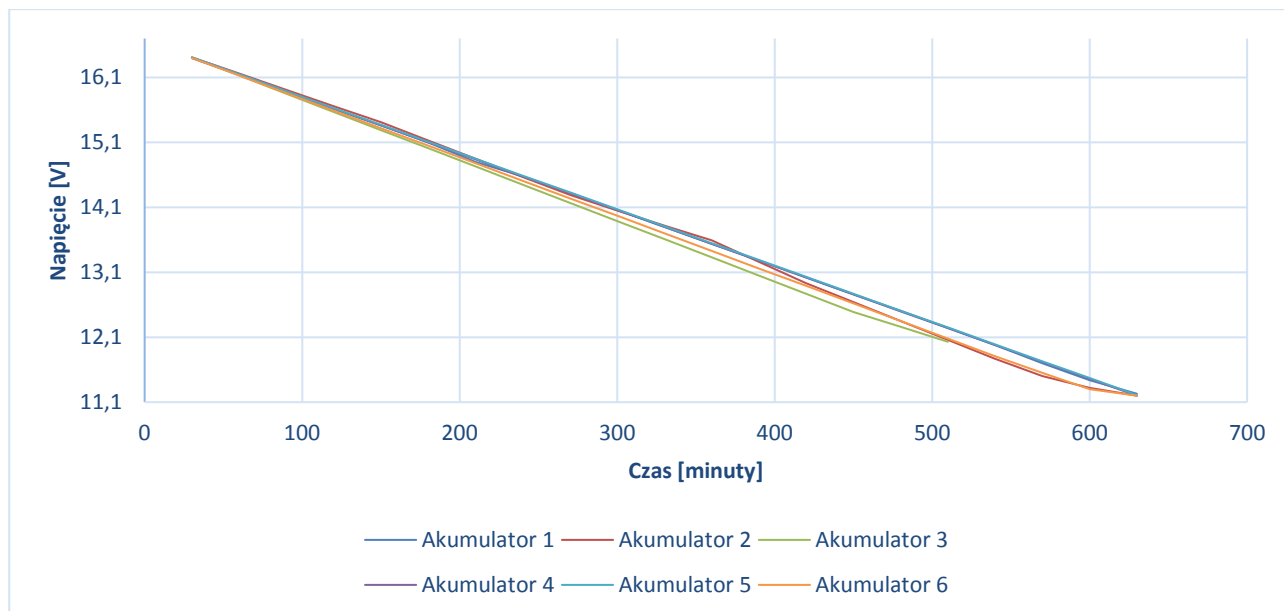


Wykres 266. Seria druga rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 173. Seria trzecia rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,4	16,41	16,41	16,4	16,41	16,4	30	98,43	10
16,14	16,16	16,13	16,14	16,15	16,13	60	96,85	10
15,88	15,91	15,85	15,88	15,89	15,86	90	95,27	10
15,62	15,66	15,57	15,62	15,63	15,59	120	93,69	10
15,36	15,41	15,29	15,36	15,37	15,32	150	92,11	10
15,1	15,13	15,01	15,1	15,11	15,05	180	90,5	10
14,8	14,85	14,73	14,84	14,85	14,78	210	88,85	10
14,58	14,57	14,45	14,58	14,59	14,51	240	87,28	10
14,32	14,29	14,17	14,32	14,33	14,24	270	85,67	10
14,06	14,05	13,89	14,06	14,07	13,97	300	84,1	10
13,8	13,82	13,61	13,8	13,81	13,7	330	82,54	10
13,54	13,59	13,33	13,54	13,55	13,43	360	80,98	10
13,28	13,26	13,05	13,28	13,29	13,16	390	79,32	10
13,02	12,93	12,77	13,02	13,03	12,89	420	77,66	10
12,76	12,64	12,49	12,76	12,77	12,62	450	76,04	10
12,51	12,35	12,26	12,5	12,51	12,35	480	74,48	10
12,24	12,06	12,03	12,24	12,25	12,08	510	72,9	10
11,98	11,77	11,8	11,98	11,99	11,81	540	71,33	10
11,7	11,5	11,57	11,72	11,73	11,55	570	69,77	10
11,44	11,32	11,34	11,46	11,47	11,3	600	68,33	10

11,23	11,2	11,23	11,2	11,21	11,2	630	67,27	10
-------	------	-------	------	-------	------	-----	-------	----

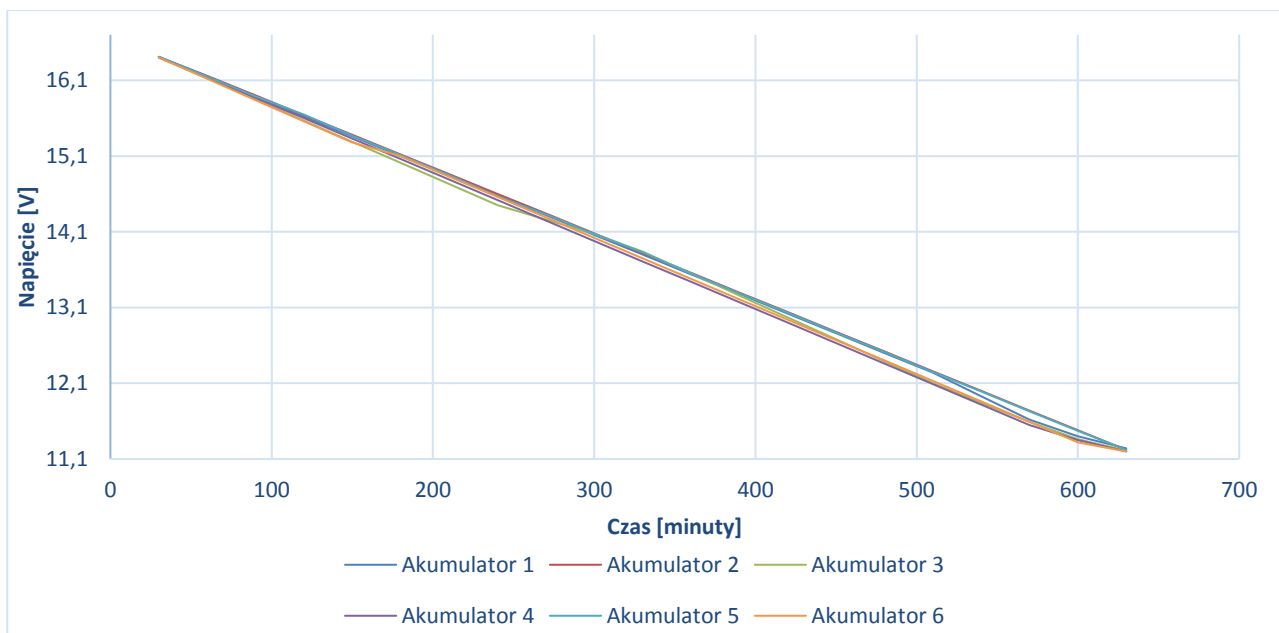


Wykres 267. Seria trzecia rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 174. Seria czwarta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,4	16,41	16,41	16,41	16,41	16,4	30	98,44	10
16,14	16,16	16,13	16,14	16,15	16,12	60	96,84	10
15,88	15,9	15,85	15,87	15,89	15,84	90	95,23	10
15,62	15,64	15,57	15,6	15,65	15,56	120	93,64	10
15,36	15,38	15,29	15,33	15,37	15,28	150	92,01	10
15,1	15,12	15,01	15,06	15,11	15,1	180	90,5	10
14,84	14,86	14,73	14,79	14,85	14,83	210	88,9	10
14,58	14,6	14,45	14,52	14,57	14,56	240	87,28	10
14,32	14,34	14,26	14,25	14,33	14,29	270	85,79	10
14,06	14,08	14,07	13,98	14,07	14,02	300	84,28	10
13,8	13,82	13,84	13,71	13,83	13,75	330	82,75	10
13,54	13,56	13,55	13,44	13,55	13,48	360	81,12	10
13,28	13,3	13,26	13,17	13,29	13,21	390	79,51	10
13,02	13,04	12,97	12,9	13,03	12,94	420	77,9	10
12,76	12,78	12,68	12,63	12,77	12,67	450	76,29	10
12,5	12,52	12,39	12,36	12,51	12,4	480	74,68	10
12,24	12,26	12,1	12,09	12,25	12,13	510	73,07	10

11,93	12	11,84	11,82	11,99	11,86	540	71,44	10
11,62	11,74	11,59	11,55	11,73	11,59	570	69,82	10
11,4	11,48	11,36	11,35	11,47	11,32	600	68,38	10
11,24	11,22	11,21	11,2	11,22	11,2	630	67,29	10

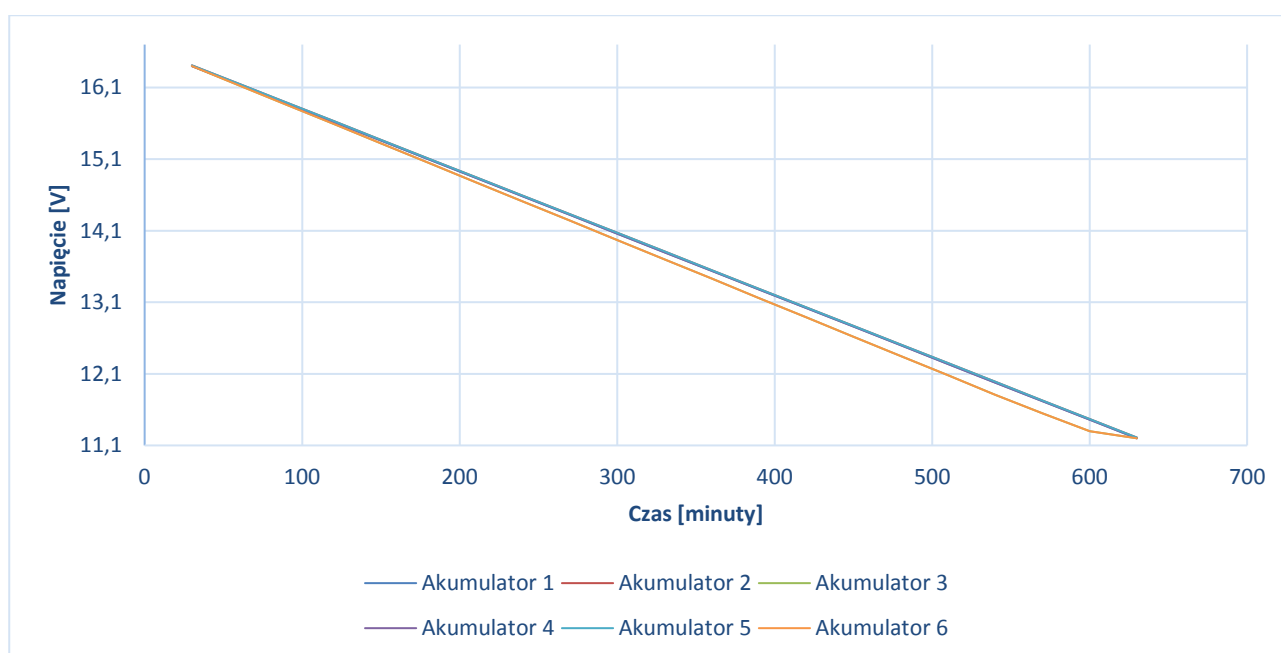


Wykres 268. Seria czwarta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 175. Seria piąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,4	16,41	16,4	16,4	16,41	16,4	30	98,42	10
16,14	16,15	16,13	16,14	16,15	16,13	60	96,84	10
15,88	15,89	15,86	15,88	15,89	15,86	90	95,26	10
15,62	15,63	15,59	15,62	15,63	15,59	120	93,68	10
15,36	15,37	15,32	15,36	15,37	15,32	150	92,1	10
15,1	15,11	15,05	15,1	15,11	15,05	180	90,52	10
14,84	14,85	14,78	14,84	14,85	14,78	210	88,94	10
14,58	14,59	14,51	14,58	14,59	14,51	240	87,36	10

14,32	14,33	14,24	14,32	14,33	14,24	270	85,78	10
14,06	14,07	13,97	14,06	14,07	13,97	300	84,2	10
13,8	13,81	13,7	13,8	13,81	13,7	330	82,62	10
13,54	13,55	13,43	13,54	13,55	13,43	360	81,04	10
13,28	13,29	13,16	13,28	13,29	13,16	390	79,46	10
13,02	13,03	12,89	13,02	13,03	12,89	420	77,88	10
12,76	12,77	12,62	12,76	12,77	12,62	450	76,3	10
12,5	12,51	12,35	12,5	12,51	12,35	480	74,72	10
12,24	12,25	12,08	12,24	12,25	12,08	510	73,14	10
11,98	11,99	11,81	11,98	11,99	11,81	540	71,56	10
11,72	11,73	11,55	11,72	11,73	11,55	570	70	10
11,46	11,47	11,3	11,46	11,47	11,3	600	68,46	10
11,2	11,21	11,2	11,2	11,21	11,2	630	67,22	10

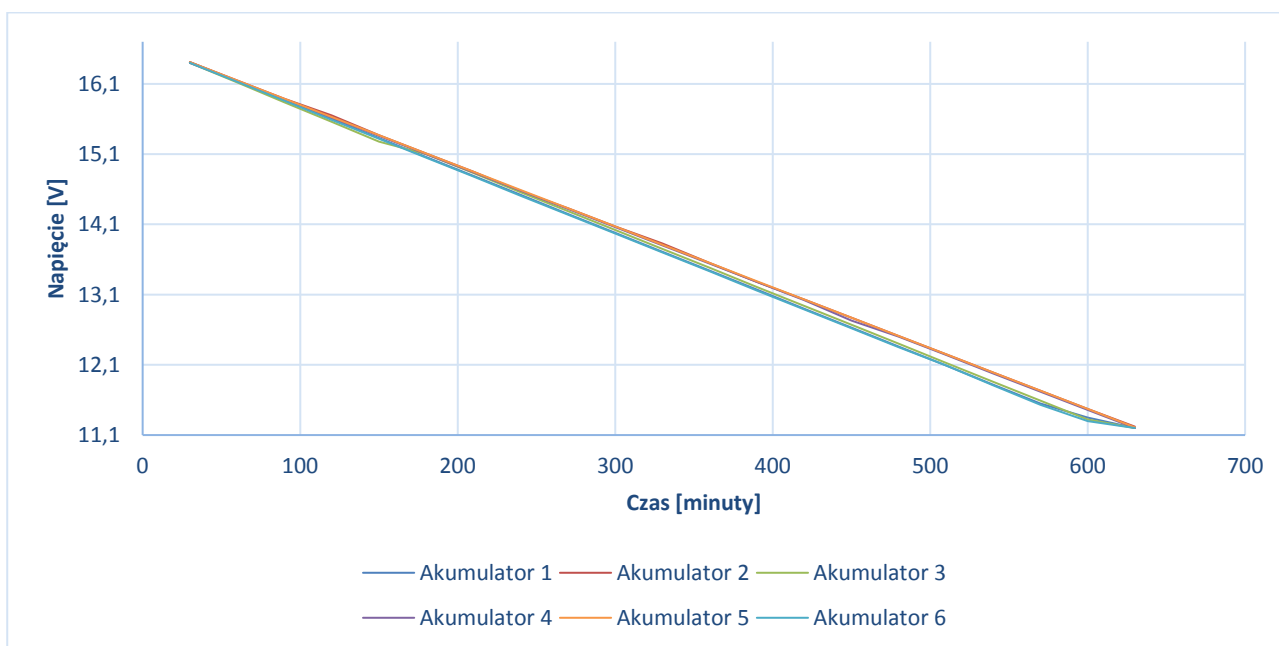


Wykres 269. Seria piąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 176. Seria szósta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,41	16,41	16,4	16,4	16,41	16,4	30	98,43	10
16,14	16,15	16,12	16,14	16,15	16,13	60	96,83	10
15,87	15,89	15,84	15,88	15,89	15,86	90	95,23	10
15,6	15,65	15,56	15,62	15,63	15,59	120	93,65	10

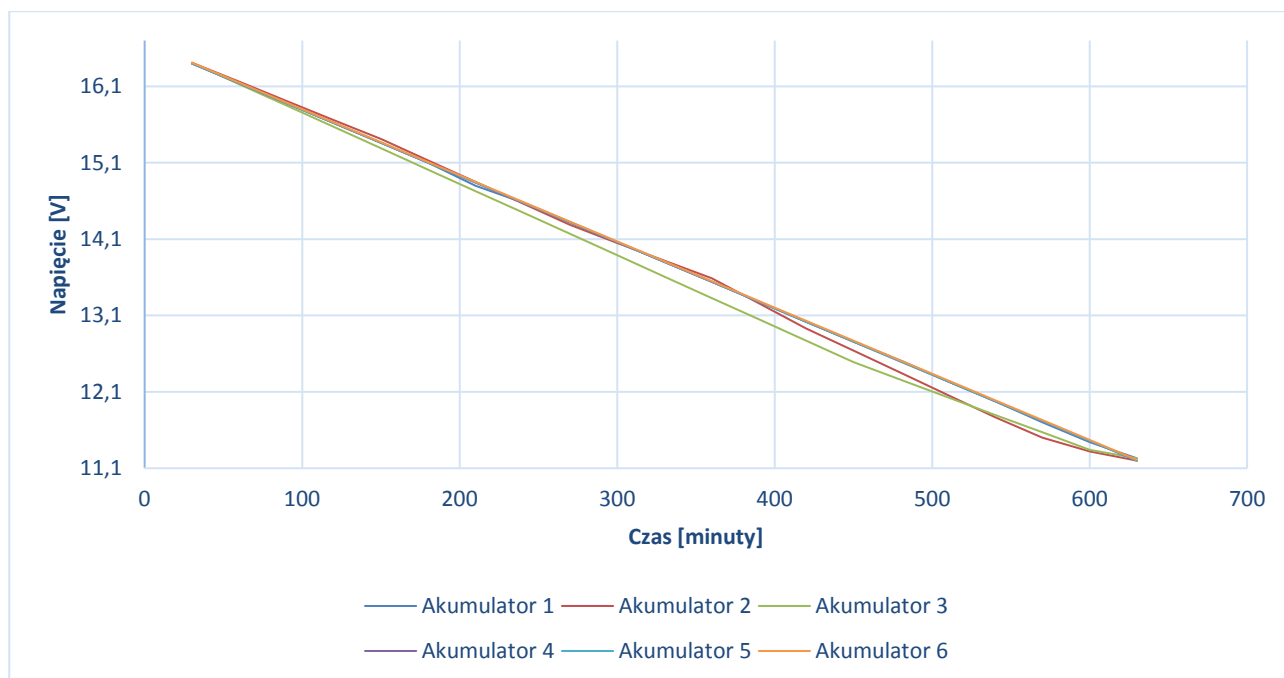
15,33	15,37	15,28	15,36	15,37	15,32	150	92,03	10
15,06	15,11	15,1	15,1	15,11	15,05	180	90,53	10
14,79	14,85	14,83	14,84	14,85	14,78	210	88,94	10
14,52	14,57	14,56	14,58	14,59	14,51	240	87,33	10
14,25	14,33	14,29	14,32	14,33	14,24	270	85,76	10
13,98	14,07	14,02	14,06	14,07	13,97	300	84,17	10
13,71	13,83	13,75	13,8	13,81	13,7	330	82,6	10
13,44	13,55	13,48	13,54	13,55	13,43	360	80,99	10
13,17	13,28	13,21	13,28	13,29	13,16	390	79,39	10
12,9	13,03	12,94	13,02	13,03	12,89	420	77,81	10
12,63	12,77	12,67	12,73	12,77	12,62	450	76,19	10
12,36	12,51	12,4	12,5	12,51	12,35	480	74,63	10
12,09	12,25	12,13	12,24	12,25	12,09	510	73,05	10
11,82	11,99	11,86	11,98	11,99	11,81	540	71,45	10
11,55	11,73	11,59	11,72	11,73	11,53	570	69,85	10
11,35	11,47	11,32	11,46	11,47	11,3	600	68,37	10
11,2	11,22	11,2	11,2	11,21	11,2	630	67,23	10



Wykres 270. Seria szósta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 177. Seria siódma rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

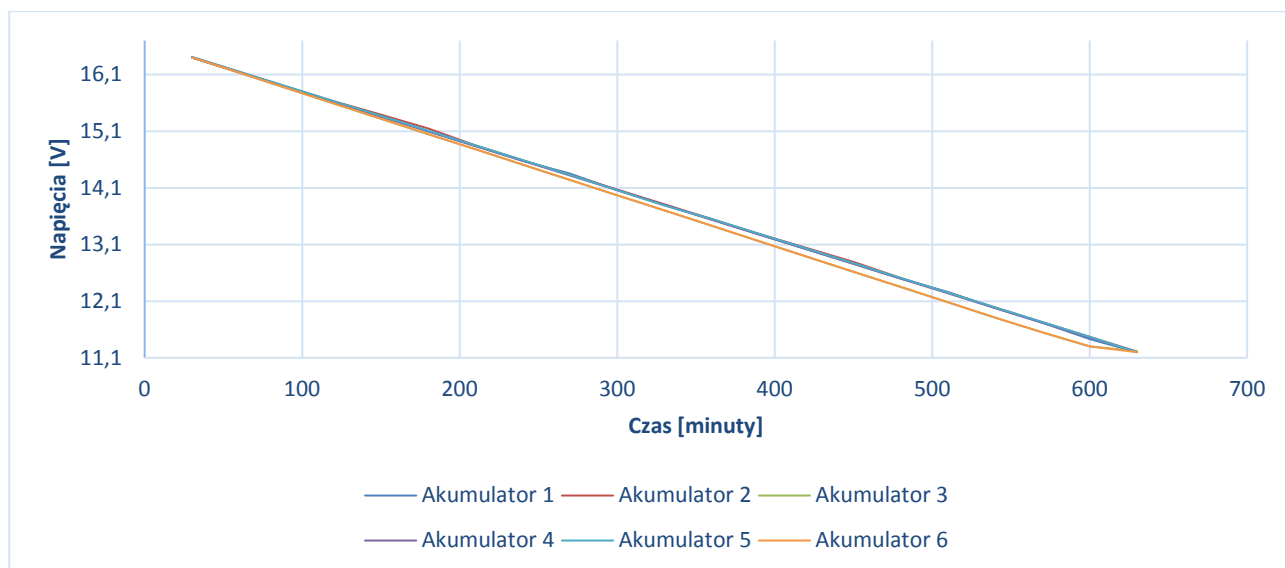
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,4	16,41	16,41	16,4	16,4	16,41	30	98,43	10
16,14	16,16	16,13	16,14	16,14	16,15	60	96,86	10
15,88	15,91	15,85	15,88	15,88	15,89	90	95,29	10
15,62	15,66	15,57	15,62	15,62	15,63	120	93,72	10
15,36	15,41	15,29	15,36	15,36	15,37	150	92,15	10
15,1	15,13	15,01	15,1	15,1	15,11	180	90,55	10
14,8	14,85	14,73	14,84	14,84	14,85	210	88,91	10
14,58	14,57	14,45	14,58	14,58	14,59	240	87,35	10
14,32	14,29	14,17	14,32	14,32	14,33	270	85,75	10
14,06	14,05	13,89	14,06	14,06	14,07	300	84,19	10
13,8	13,82	13,61	13,8	13,8	13,81	330	82,64	10
13,54	13,59	13,33	13,54	13,54	13,55	360	81,09	10
13,28	13,26	13,05	13,28	13,28	13,29	390	79,44	10
13,02	12,93	12,77	13,02	13,02	13,03	420	77,79	10
12,76	12,64	12,49	12,76	12,76	12,77	450	76,18	10
12,51	12,35	12,26	12,5	12,5	12,51	480	74,63	10
12,24	12,06	12,03	12,24	12,24	12,25	510	73,06	10
11,98	11,77	11,8	11,98	11,98	11,99	540	71,5	10
11,7	11,5	11,57	11,72	11,72	11,73	570	69,94	10
11,44	11,32	11,34	11,46	11,46	11,47	600	68,49	10
11,23	11,2	11,23	11,2	11,2	11,21	630	67,27	10



Wykres 271. Seria siódma rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 178. Seria ósma rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

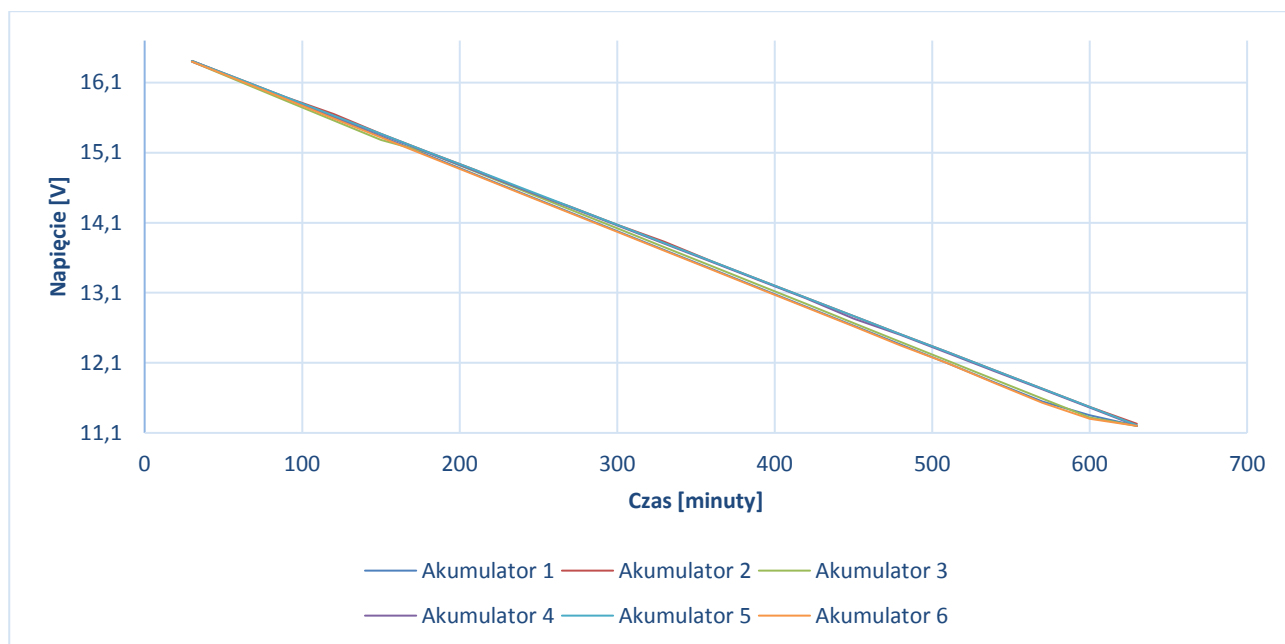
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,4	16,41	16,4	16,4	16,41	16,4	30	98,42	10
16,14	16,15	16,13	16,14	16,15	16,13	60	96,84	10
15,88	15,89	15,86	15,88	15,89	15,86	90	95,26	10
15,62	15,63	15,59	15,62	15,63	15,59	120	93,68	10
15,36	15,39	15,32	15,36	15,37	15,32	150	92,12	10
15,1	15,15	15,05	15,1	15,11	15,05	180	90,56	10
14,84	14,85	14,78	14,84	14,85	14,78	210	88,94	10
14,58	14,59	14,51	14,58	14,59	14,51	240	87,36	10
14,35	14,33	14,24	14,32	14,33	14,24	270	85,81	10
14,06	14,07	13,97	14,06	14,06	13,97	300	84,19	10
13,8	13,81	13,7	13,8	13,79	13,7	330	82,6	10
13,54	13,55	13,43	13,54	13,55	13,43	360	81,04	10
13,28	13,29	13,16	13,28	13,29	13,16	390	79,46	10
13,02	13,04	12,89	13,02	13,03	12,89	420	77,89	10
12,76	12,79	12,62	12,76	12,77	12,62	450	76,32	10
12,5	12,51	12,35	12,5	12,51	12,35	480	74,72	10
12,26	12,25	12,08	12,24	12,25	12,08	510	73,16	10
11,98	11,99	11,81	11,98	11,99	11,81	540	71,56	10
11,72	11,73	11,55	11,72	11,73	11,55	570	70	10
11,43	11,47	11,3	11,46	11,47	11,3	600	68,43	10
11,2	11,21	11,22	11,2	11,2	11,2	630	67,23	10



Wykres 272. Seria ósma rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 179. Seria dziewiąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

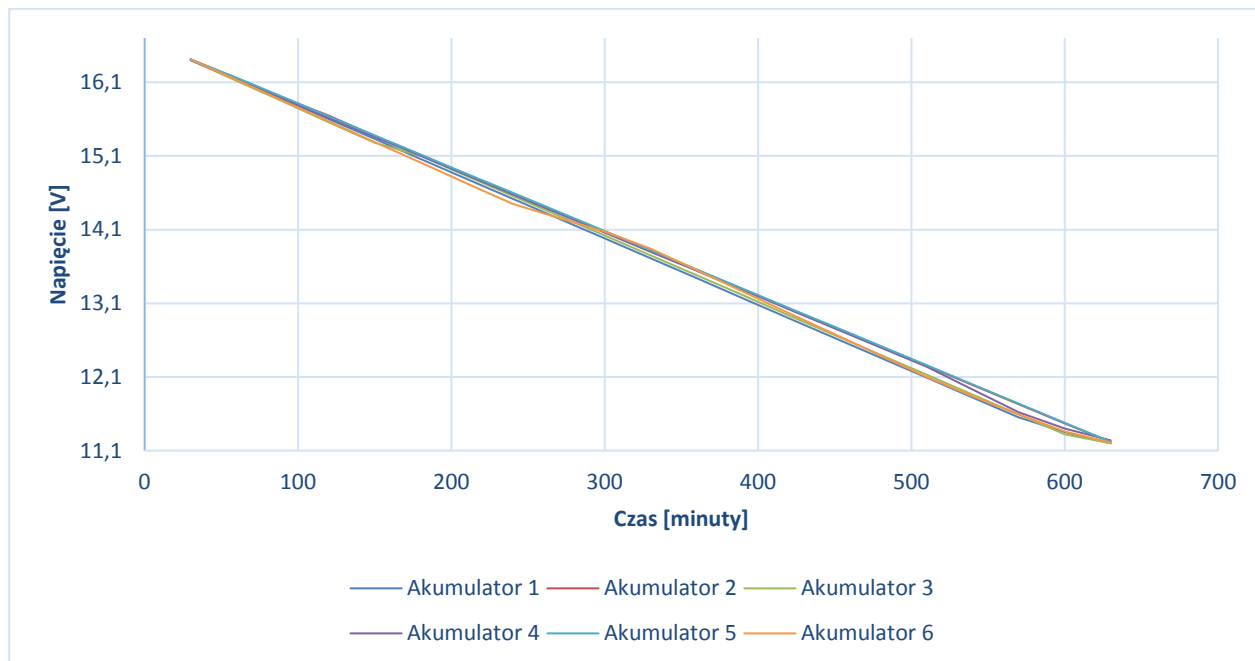
Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,41	16,41	16,4	16,4	16,41	16,4	30	98,43	10
16,14	16,15	16,12	16,14	16,15	16,13	60	96,83	10
15,87	15,89	15,84	15,88	15,89	15,86	90	95,23	10
15,6	15,65	15,56	15,62	15,63	15,59	120	93,65	10
15,33	15,37	15,28	15,36	15,37	15,32	150	92,03	10
15,06	15,11	15,1	15,1	15,11	15,05	180	90,53	10
14,79	14,85	14,83	14,84	14,85	14,78	210	88,94	10
14,52	14,57	14,56	14,58	14,59	14,51	240	87,33	10
14,25	14,33	14,29	14,32	14,33	14,24	270	85,76	10
13,98	14,07	14,02	14,06	14,07	13,97	300	84,17	10
13,71	13,83	13,75	13,8	13,81	13,7	330	82,6	10
13,44	13,55	13,48	13,54	13,55	13,43	360	80,99	10
13,17	13,29	13,21	13,28	13,29	13,16	390	79,4	10
12,9	13,03	12,94	13,02	13,03	12,89	420	77,81	10
12,63	12,77	12,67	12,73	12,77	12,62	450	76,19	10
12,36	12,51	12,4	12,5	12,51	12,35	480	74,63	10
12,09	12,25	12,13	12,24	12,25	12,09	510	73,05	10
11,82	11,99	11,86	11,98	11,99	11,81	540	71,45	10
11,55	11,73	11,59	11,72	11,73	11,53	570	69,85	10
11,35	11,47	11,32	11,46	11,47	11,3	600	68,37	10
11,2	11,23	11,2	11,2	11,21	11,2	630	67,24	10



Wykres 273. Seria dziewięć rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Tabela 180. Seria dziesiąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

Akumulator 1 [V]	Akumulator 2 [V]	Akumulator 3 [V]	Akumulator 4 [V]	Akumulator 5 [V]	Akumulator 6 [V]	Czas trwania pomiarów [minuty]	Napięcie banku akumulatorów [V]	Prąd rozładowania [A]
16,41	16,41	16,4	16,4	16,41	16,41	30	98,44	10
16,14	16,15	16,12	16,14	16,16	16,13	60	96,84	10
15,87	15,89	15,84	15,88	15,9	15,85	90	95,23	10
15,6	15,65	15,56	15,62	15,64	15,57	120	93,64	10
15,33	15,37	15,28	15,36	15,38	15,29	150	92,01	10
15,06	15,11	15,1	15,1	15,12	15,01	180	90,5	10
14,79	14,85	14,83	14,84	14,86	14,73	210	88,9	10
14,52	14,57	14,56	14,58	14,6	14,45	240	87,28	10
14,25	14,33	14,29	14,32	14,34	14,26	270	85,79	10
13,98	14,07	14,02	14,06	14,08	14,07	300	84,28	10
13,71	13,83	13,75	13,8	13,82	13,84	330	82,75	10
13,44	13,55	13,48	13,54	13,56	13,55	360	81,12	10
13,17	13,29	13,21	13,28	13,3	13,26	390	79,51	10
12,9	13,03	12,94	13,02	13,04	12,97	420	77,9	10
12,63	12,77	12,67	12,76	12,78	12,68	450	76,29	10
12,36	12,51	12,4	12,5	12,52	12,39	480	74,68	10
12,09	12,25	12,13	12,24	12,26	12,1	510	73,07	10
11,82	11,99	11,86	11,93	12	11,84	540	71,44	10
11,55	11,73	11,59	11,62	11,74	11,59	570	69,82	10
11,35	11,47	11,32	11,4	11,48	11,36	600	68,38	10
11,2	11,22	11,2	11,24	11,22	11,21	630	67,29	10



Wykres 274. Seria dziesiąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną

11 Podsumowanie

W wyniku prac przeprowadzonych w II etapie projektu stworzono pięć prototypów zestawów zasilających przeznaczonych do pojazdów elektrycznych oraz pięć prototypów innowacyjnego i nowatorskiego systemu nadzorującego pracę baterii akumulatorów (Battery Management System). W warunkach laboratoryjnych dokonano weryfikacji, czyli przeprowadzono wielokrotne cykle rozładowanie-ładowanie oraz zoptymalizowano maksymalne parametry zestawów akumulatorów.

Na podstawie przeprowadzonych badań zestawów akumulatorów otrzymano serie wyników pomiarów, które miały odpowiedzieć na pytanie, co do zasadności stosowania systemów BMS w układach zasilających. Jednoznacznie można stwierdzić, iż nadzór takich układów nad zespołami baterii pozwala uniknąć całkowitego rozładowania akumulatora poniżej wartości krytycznej napięcia oraz pozwala zapobiegać przed przeładowaniem i zniszczeniem akumulatora. Założenia projektu miały stanowić odpowiedź na pytanie dotyczące osiągnięcia następujących cech/funkcjonalności w kontekście stosowania różnych algorytmów BMS:

- większej zdolności magazynowania energii,
- wydłużenia czasu żywotności,
- zwiększenia pojemności akumulatorów,
- wydłużenia czasu ich użytkowania,
- skrócenia czasu ładowania.

Żywotność

W celu wyznaczenia żywotności akumulatora, wyznaczonej jako spadek pojemności do wartości 80% pojemności znamionowej akumulatora, wykonano serię pomiarów cykli ładowania. Poprzez ograniczenie czasowe liczba cykli została ograniczona do 30 serii pomiarowych dla każdego typu badanych akumulatorów dla 4 różnych algorytmów.

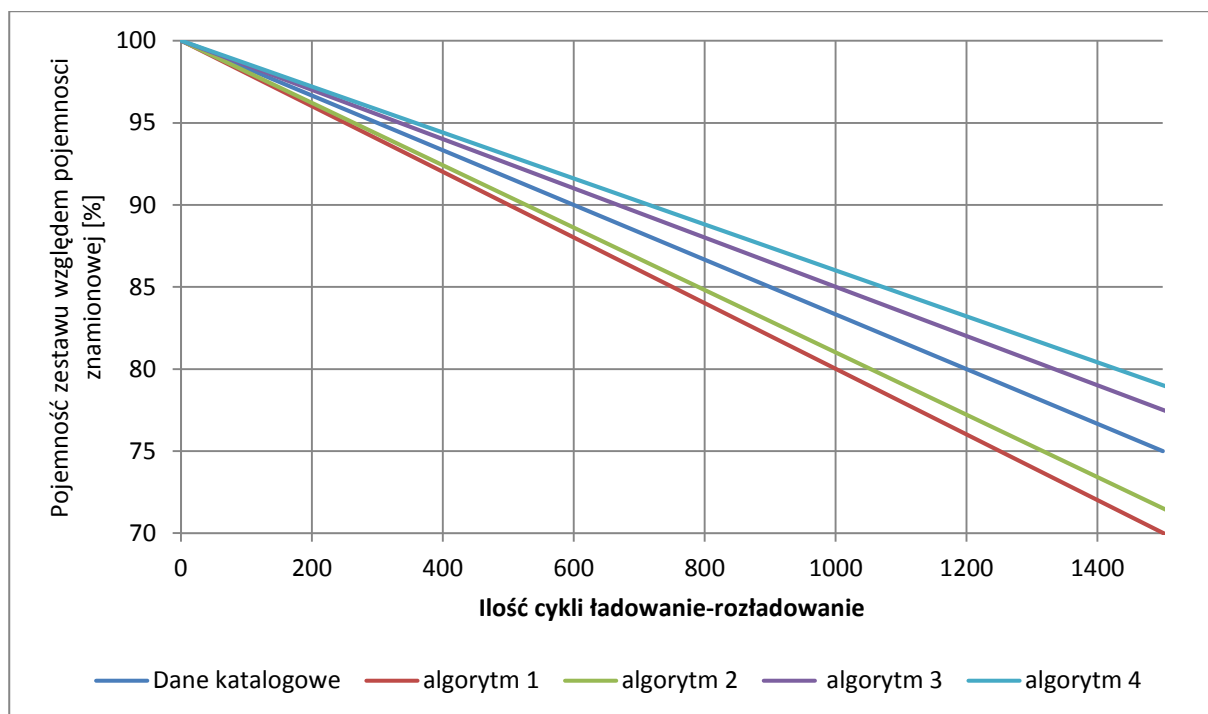
W wyniku pomiarów uzyskano dane pozwalające na estymacje trendu zmian pojemności maksymalnej akumulatorów. Wyniki pomiarów oraz wykresy przedstawiające uzyskane wyniki operacji matematycznych przedstawione są w dalszej części niniejszego dokumentu.

Badanie wpływu na żywotność akumulatorów ołowiowych z ciekłym elektrolitem

Uzyskane dane pomiarowe przedstawione zostały w (**Tabela 181**). Na bazie uzyskanych pomiarów wykonano estymacje trendu zmian pojemności akumulatora ołowiowego z ciekłym elektrolitem, która przedstawiona została na (**Wykres 275**).

Tabela 181. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym

Nr serii ładowania - rozładowania	Pojemność zestawu [Ah] z BMS				Pojemność zestawu względem pojemności znamionowej [%]			
	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4
1	110,000	110,000	110,000	110,000	100,00	100,00	100,00	100,00
2	109,978	109,979	109,984	109,985	99,98	99,98	99,99	99,99
3	109,956	109,958	109,967	109,969	99,96	99,96	99,97	99,97
4	109,934	109,937	109,951	109,954	99,94	99,94	99,96	99,96
5	109,912	109,916	109,934	109,938	99,92	99,92	99,94	99,94
6	109,890	109,896	109,918	109,923	99,90	99,91	99,93	99,93
7	109,868	109,875	109,901	109,908	99,88	99,89	99,91	99,92
8	109,846	109,854	109,885	109,892	99,86	99,87	99,90	99,90
9	109,824	109,833	109,868	109,877	99,84	99,85	99,88	99,89
10	109,802	109,812	109,852	109,861	99,82	99,83	99,87	99,87
11	109,780	109,791	109,835	109,846	99,80	99,81	99,85	99,86
12	109,758	109,770	109,819	109,831	99,78	99,79	99,84	99,85
13	109,736	109,749	109,802	109,815	99,76	99,77	99,82	99,83
14	109,714	109,728	109,786	109,800	99,74	99,75	99,81	99,82
15	109,692	109,707	109,769	109,784	99,72	99,73	99,79	99,80
16	109,670	109,687	109,753	109,769	99,70	99,72	99,78	99,79
17	109,648	109,666	109,736	109,754	99,68	99,70	99,76	99,78
18	109,626	109,645	109,720	109,738	99,66	99,68	99,75	99,76
19	109,604	109,624	109,703	109,723	99,64	99,66	99,73	99,75
20	109,582	109,603	109,687	109,707	99,62	99,64	99,72	99,73
21	109,560	109,582	109,670	109,692	99,60	99,62	99,70	99,72
22	109,538	109,561	109,654	109,677	99,58	99,60	99,69	99,71
23	109,516	109,540	109,637	109,661	99,56	99,58	99,67	99,69
24	109,494	109,519	109,621	109,646	99,54	99,56	99,66	99,68
25	109,472	109,498	109,604	109,630	99,52	99,54	99,64	99,66
26	109,450	109,478	109,588	109,615	99,50	99,53	99,63	99,65
27	109,428	109,457	109,571	109,600	99,48	99,51	99,61	99,64
28	109,406	109,436	109,555	109,584	99,46	99,49	99,60	99,62
29	109,384	109,415	109,538	109,569	99,44	99,47	99,58	99,61
30	109,362	109,394	109,522	109,553	99,42	99,45	99,57	99,59



Wykres 275. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora ołowiowego z ciekłym elektrolitem w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi.

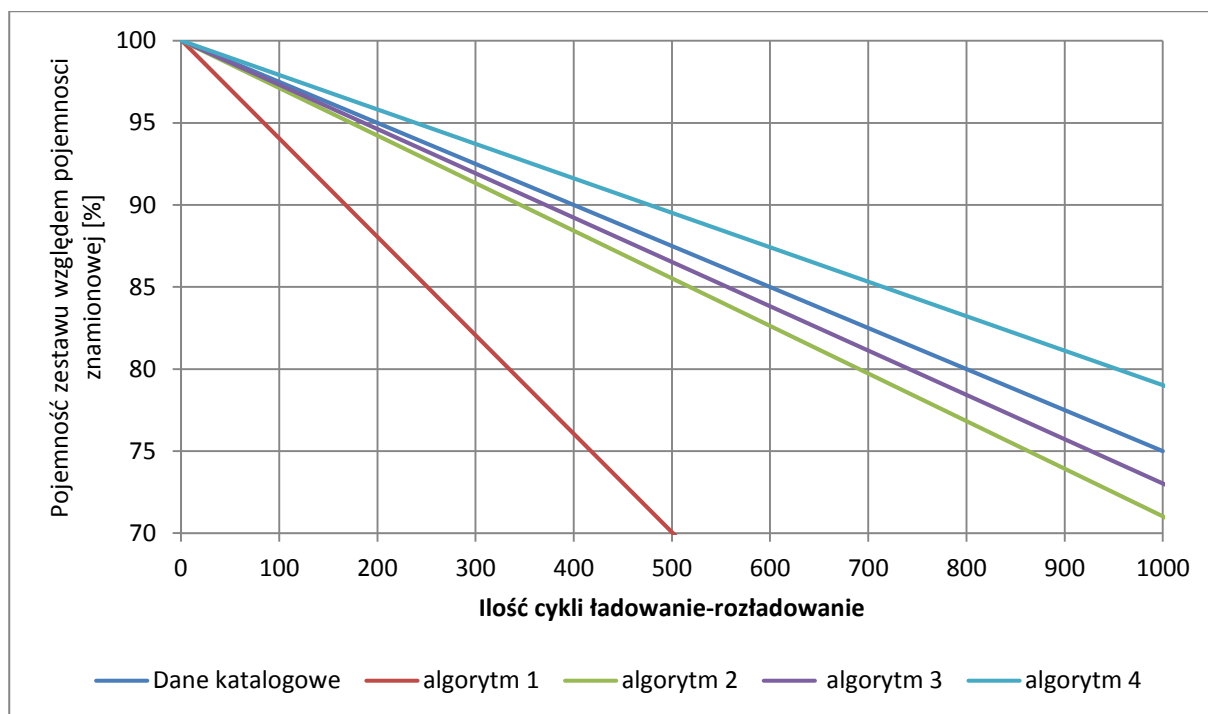
W wyniku optymalizacji algorytmu pracy po estymacji zmian pojemności uzyskano obniżenie pojemności do 80% wartości znamionowej po 1430 cyklu, co stanowi 19% poprawę względem danych katalogowych.

Badanie wpływu na żywotność akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

Uzyskane dane pomiarowe przedstawione zostały w (Tabela 182). Na bazie uzyskanych pomiarów wykonano estymacje trendu zmian pojemności akumulatora ołowiowego z elektrolitem żelowym, która przedstawiona została na (Wykres 276).

Tabela 182. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora ołowiowego z elektrolitem żelowym

Nr serii ładowania - rozładowania	Pojemność zestawu [Ah] z BMS				Pojemność zestawu względem pojemności znamionowej [%]			
	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4
1	110,000	110,000	110,000	110,000	100,00	100,00	100,00	100,00
2	109,934	109,968	109,970	109,977	99,94	99,97	99,97	99,98
3	109,868	109,936	109,941	109,954	99,88	99,94	99,95	99,96
4	109,802	109,904	109,911	109,931	99,82	99,91	99,92	99,94
5	109,736	109,872	109,881	109,908	99,76	99,88	99,89	99,92
6	109,670	109,841	109,852	109,885	99,70	99,86	99,87	99,90
7	109,604	109,809	109,822	109,861	99,64	99,83	99,84	99,87
8	109,538	109,777	109,792	109,838	99,58	99,80	99,81	99,85
9	109,472	109,745	109,762	109,815	99,52	99,77	99,78	99,83
10	109,406	109,713	109,733	109,792	99,46	99,74	99,76	99,81
11	109,340	109,681	109,703	109,769	99,40	99,71	99,73	99,79
12	109,274	109,649	109,673	109,746	99,34	99,68	99,70	99,77
13	109,208	109,617	109,644	109,723	99,28	99,65	99,68	99,75
14	109,142	109,585	109,614	109,700	99,22	99,62	99,65	99,73
15	109,076	109,553	109,584	109,677	99,16	99,59	99,62	99,71
16	109,010	109,522	109,555	109,654	99,10	99,57	99,60	99,69
17	108,944	109,490	109,525	109,630	99,04	99,54	99,57	99,66
18	108,878	109,458	109,495	109,607	98,98	99,51	99,54	99,64
19	108,812	109,426	109,465	109,584	98,92	99,48	99,51	99,62
20	108,746	109,394	109,436	109,561	98,86	99,45	99,49	99,60
21	108,680	109,362	109,406	109,538	98,80	99,42	99,46	99,58
22	108,614	109,330	109,376	109,515	98,74	99,39	99,43	99,56
23	108,548	109,298	109,347	109,492	98,68	99,36	99,41	99,54
24	108,482	109,266	109,317	109,469	98,62	99,33	99,38	99,52
25	108,416	109,234	109,287	109,446	98,56	99,30	99,35	99,50
26	108,350	109,203	109,258	109,423	98,50	99,28	99,33	99,48
27	108,284	109,171	109,228	109,399	98,44	99,25	99,30	99,45
28	108,218	109,139	109,198	109,376	98,38	99,22	99,27	99,43
29	108,152	109,107	109,168	109,353	98,32	99,19	99,24	99,41
30	108,086	109,075	109,139	109,330	98,26	99,16	99,22	99,39



Wykres 276. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora ołowiowego z elektrolitem żelowym w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi.

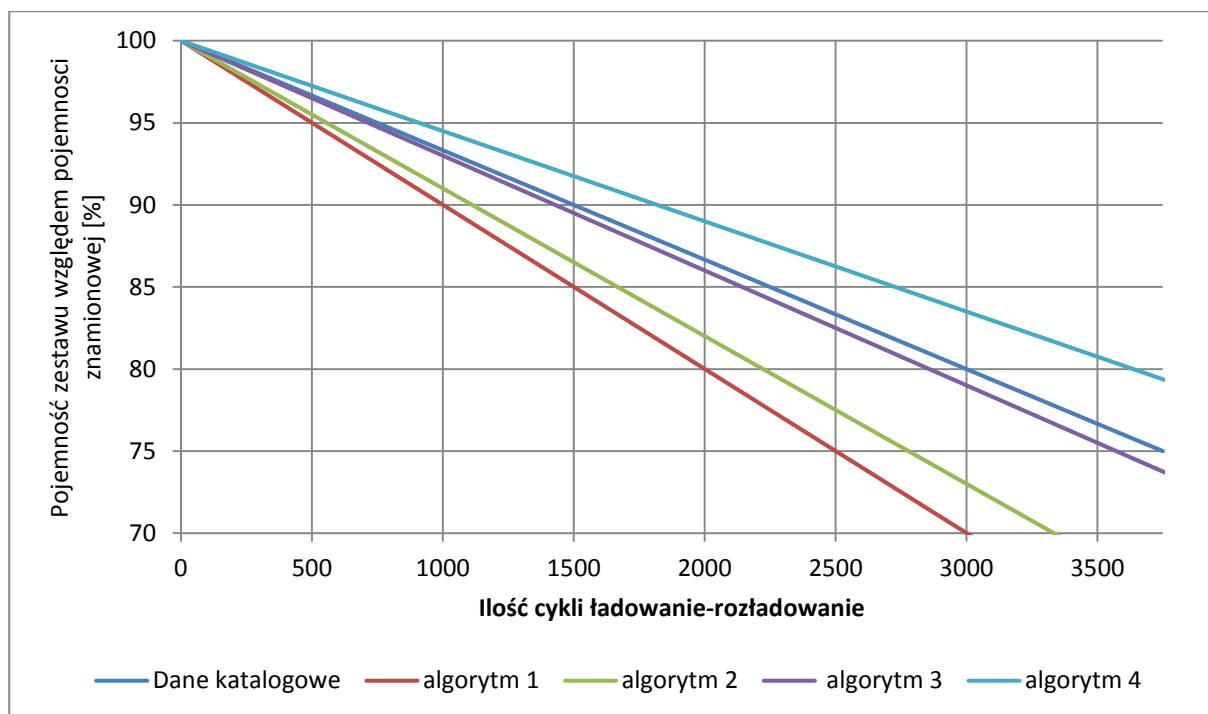
W wyniku optymalizacji algorytmu pracy po estymacji zmian pojemności uzyskano obniżenie pojemności do 80% wartości znamionowej po 956 cyklu, co stanowi 19% poprawę względem danych katalogowych.

Badanie wpływu na żywotność akumulatorów litowo- jonowych

Uzyskane dane pomiarowe przedstawione zostały w (**Tabela 183**). Na bazie uzyskanych pomiarów wykonano estymacje trendu zmian pojemności akumulatora litowo-jonowego, która przedstawiona została na (**Wykres 277**).

Tabela 183. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora litowo-jonowego

Nr serii ładowania - rozładowania	Pojemność zestawu [Ah] z BMS				Pojemność zestawu względem pojemności znamionowej [%]			
	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4
1	25,000	25,000	25,000	25,000	100,00	100,00	100,00	100,00
2	24,998	24,998	24,998	24,999	99,99	99,99	99,99	99,99
3	24,995	24,996	24,997	24,997	99,98	99,98	99,99	99,99
4	24,993	24,993	24,995	24,996	99,97	99,97	99,98	99,98
5	24,990	24,991	24,993	24,995	99,96	99,96	99,97	99,98
6	24,988	24,989	24,991	24,993	99,95	99,96	99,97	99,97
7	24,985	24,987	24,990	24,992	99,94	99,95	99,96	99,97
8	24,983	24,984	24,988	24,990	99,93	99,94	99,95	99,96
9	24,980	24,982	24,986	24,989	99,92	99,93	99,94	99,96
10	24,978	24,980	24,984	24,988	99,91	99,92	99,94	99,95
11	24,975	24,978	24,983	24,986	99,90	99,91	99,93	99,95
12	24,973	24,975	24,981	24,985	99,89	99,90	99,92	99,94
13	24,970	24,973	24,979	24,984	99,88	99,89	99,92	99,93
14	24,968	24,971	24,977	24,982	99,87	99,88	99,91	99,93
15	24,965	24,969	24,976	24,981	99,86	99,87	99,90	99,92
16	24,963	24,966	24,974	24,979	99,85	99,87	99,90	99,92
17	24,960	24,964	24,972	24,978	99,84	99,86	99,89	99,91
18	24,958	24,962	24,970	24,977	99,83	99,85	99,88	99,91
19	24,955	24,960	24,969	24,975	99,82	99,84	99,87	99,90
20	24,953	24,957	24,967	24,974	99,81	99,83	99,87	99,90
21	24,950	24,955	24,965	24,973	99,80	99,82	99,86	99,89
22	24,948	24,953	24,963	24,971	99,79	99,81	99,85	99,88
23	24,945	24,951	24,962	24,970	99,78	99,80	99,85	99,88
24	24,943	24,948	24,960	24,968	99,77	99,79	99,84	99,87
25	24,940	24,946	24,958	24,967	99,76	99,78	99,83	99,87
26	24,938	24,944	24,956	24,966	99,75	99,78	99,83	99,86
27	24,935	24,942	24,955	24,964	99,74	99,77	99,82	99,86
28	24,933	24,939	24,953	24,963	99,73	99,76	99,81	99,85
29	24,930	24,937	24,951	24,962	99,72	99,75	99,80	99,85
30	24,928	24,935	24,949	24,960	99,71	99,74	99,80	99,84



Wykres 277. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora litowo-jonowego w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi

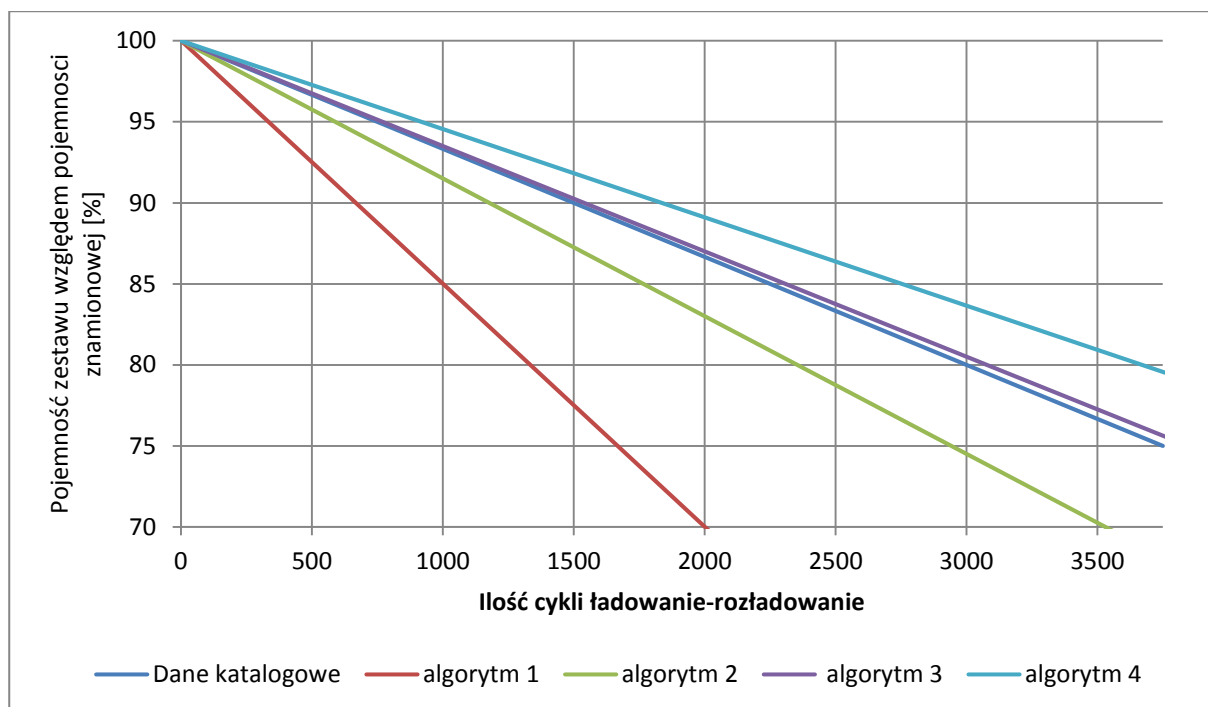
W wyniku optymalizacji algorytmu pracy po estymacji zmian pojemności uzyskano obniżenie pojemności do 80% wartości znamionowej po 3638 cyklu, co stanowi 21% poprawę względem danych katalogowych

Badanie wpływu na żywotność akumulatorów LiFePO4

Uzyskane dane pomiarowe przedstawione zostały w (**Tabela 184**). Na bazie uzyskanych pomiarów wykonano estymacje trendu zmian pojemności akumulatora LiFePO4, która przedstawiona została na (**Wykres 278**).

Tabela 184. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora LiFePO4

Nr serii ładowania - rozładowania	Pojemność zestawu [Ah] z BMS				Pojemność zestawu względem pojemności znamionowej [%]			
	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4
1	100,000	100,000	100,000	100,000	100,00	100,00	100,00	100,00
2	99,985	99,992	99,994	99,995	99,99	99,99	99,99	99,99
3	99,970	99,983	99,987	99,989	99,97	99,98	99,99	99,99
4	99,955	99,975	99,981	99,984	99,96	99,97	99,98	99,98
5	99,940	99,966	99,974	99,978	99,94	99,97	99,97	99,98
6	99,925	99,958	99,968	99,973	99,93	99,96	99,97	99,97
7	99,910	99,949	99,961	99,967	99,91	99,95	99,96	99,97
8	99,895	99,941	99,955	99,962	99,90	99,94	99,95	99,96
9	99,880	99,932	99,948	99,956	99,88	99,93	99,95	99,96
10	99,865	99,924	99,942	99,951	99,87	99,92	99,94	99,95
11	99,850	99,915	99,935	99,946	99,85	99,92	99,94	99,95
12	99,835	99,907	99,929	99,940	99,84	99,91	99,93	99,94
13	99,820	99,898	99,922	99,935	99,82	99,90	99,92	99,93
14	99,805	99,890	99,916	99,929	99,81	99,89	99,92	99,93
15	99,790	99,881	99,909	99,924	99,79	99,88	99,91	99,92
16	99,775	99,873	99,903	99,918	99,78	99,87	99,90	99,92
17	99,760	99,864	99,896	99,913	99,76	99,86	99,90	99,91
18	99,745	99,856	99,890	99,907	99,75	99,86	99,89	99,91
19	99,730	99,847	99,883	99,902	99,73	99,85	99,88	99,90
20	99,715	99,839	99,877	99,896	99,72	99,84	99,88	99,90
21	99,700	99,830	99,870	99,891	99,70	99,83	99,87	99,89
22	99,685	99,822	99,864	99,886	99,69	99,82	99,86	99,89
23	99,670	99,813	99,857	99,880	99,67	99,81	99,86	99,88
24	99,655	99,805	99,851	99,875	99,66	99,80	99,85	99,87
25	99,640	99,796	99,844	99,869	99,64	99,80	99,84	99,87
26	99,625	99,788	99,838	99,864	99,63	99,79	99,84	99,86
27	99,610	99,779	99,831	99,858	99,61	99,78	99,83	99,86
28	99,595	99,771	99,825	99,853	99,60	99,77	99,82	99,85
29	99,580	99,762	99,818	99,847	99,58	99,76	99,82	99,85
30	99,565	99,754	99,812	99,842	99,57	99,75	99,81	99,84



Wykres 278. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora LiFePO4 w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi.

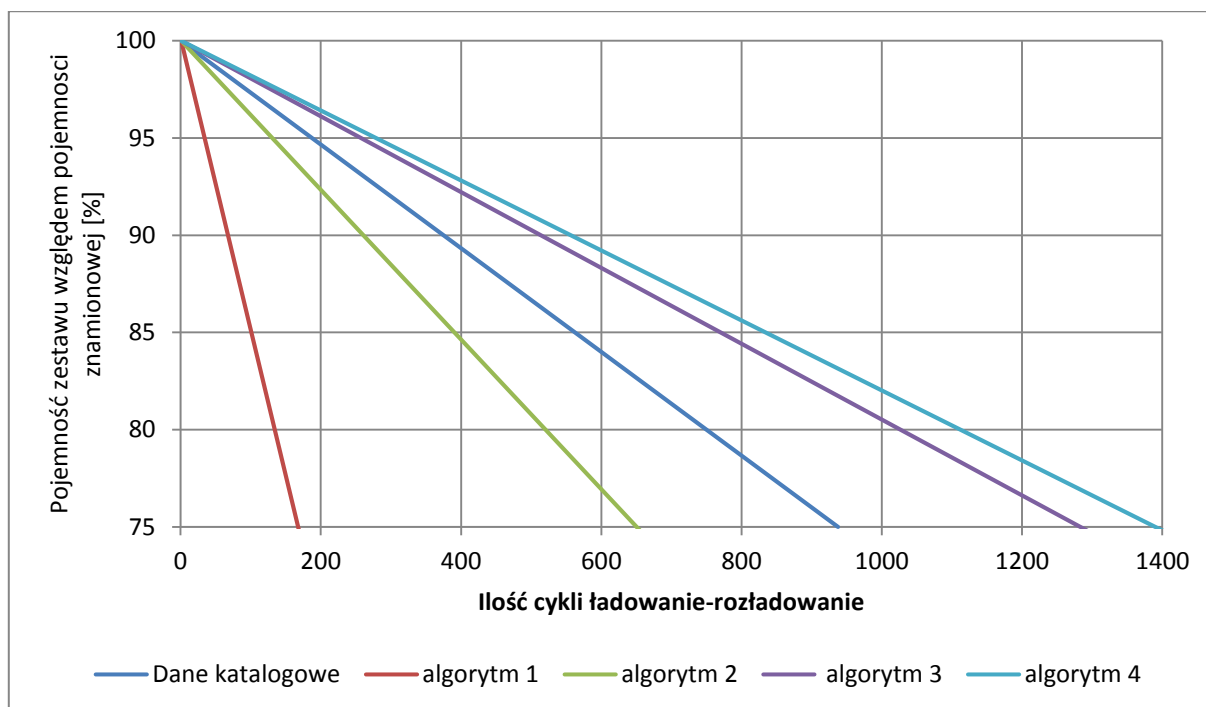
W wyniku optymalizacji algorytmu pracy po estymacji zmian pojemności uzyskano obniżenie pojemności do 80% wartości znamionowej po 3671 cyklu, co stanowi 22% poprawę względem danych katalogowych

Badanie wpływu na żywotność akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych

Uzyskane dane pomiarowe przedstawione zostały w (**Tabela 185**). Na bazie uzyskanych pomiarów wykonano estymacje trendu zmian pojemności akumulatora grafenowo-litowo-polimerowego, która przedstawiona została na **Wykresie 279**.

Tabela 185. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora grafenowo-litowo-polimerowego

Nr serii ładowania - rozładowania	Pojemność zestawu [Ah] z BMS				Pojemność zestawu względem pojemności znamionowej [%]			
	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4
1	10,000	10,000	10,000	10,000	100,00	100,00	100,00	100,00
2	9,985	9,996	9,998	9,998	99,85	99,96	99,98	99,98
3	9,970	9,992	9,996	9,996	99,70	99,92	99,96	99,96
4	9,955	9,988	9,994	9,995	99,55	99,88	99,94	99,95
5	9,940	9,985	9,992	9,993	99,40	99,85	99,92	99,93
6	9,925	9,981	9,990	9,991	99,25	99,81	99,90	99,91
7	9,910	9,977	9,988	9,989	99,10	99,77	99,88	99,89
8	9,895	9,973	9,986	9,987	98,95	99,73	99,86	99,87
9	9,880	9,969	9,984	9,986	98,80	99,69	99,84	99,86
10	9,865	9,965	9,982	9,984	98,65	99,65	99,82	99,84
11	9,850	9,962	9,981	9,982	98,50	99,62	99,81	99,82
12	9,835	9,958	9,979	9,980	98,35	99,58	99,79	99,80
13	9,820	9,954	9,977	9,978	98,20	99,54	99,77	99,78
14	9,805	9,950	9,975	9,977	98,05	99,50	99,75	99,77
15	9,790	9,946	9,973	9,975	97,90	99,46	99,73	99,75
16	9,775	9,942	9,971	9,973	97,75	99,42	99,71	99,73
17	9,760	9,938	9,969	9,971	97,60	99,38	99,69	99,71
18	9,745	9,935	9,967	9,969	97,45	99,35	99,67	99,69
19	9,730	9,931	9,965	9,968	97,30	99,31	99,65	99,68
20	9,715	9,927	9,963	9,966	97,15	99,27	99,63	99,66
21	9,700	9,923	9,961	9,964	97,00	99,23	99,61	99,64
22	9,685	9,919	9,959	9,962	96,85	99,19	99,59	99,62
23	9,670	9,915	9,957	9,960	96,70	99,15	99,57	99,60
24	9,655	9,911	9,955	9,959	96,55	99,11	99,55	99,59
25	9,640	9,908	9,953	9,957	96,40	99,08	99,53	99,57
26	9,625	9,904	9,951	9,955	96,25	99,04	99,51	99,55
27	9,610	9,900	9,949	9,953	96,10	99,00	99,49	99,53
28	9,595	9,896	9,947	9,951	95,95	98,96	99,47	99,51
29	9,580	9,892	9,945	9,950	95,80	98,92	99,45	99,50
30	9,565	9,888	9,943	9,948	95,65	98,88	99,43	99,48



Wykres 279. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora grafenowo-litowo-polimerowego w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi.

W wyniku optymalizacji algorytmu pracy po estymacji zmian pojemności uzyskano obniżenie pojemności do 80% wartości znamionowej po 1112 cyklu, co stanowi 48% poprawę względem danych katalogowych

WNIOSKI

W wyniku optymalizacji oraz dobraniu odpowiednich parametrów pracy algorytmu systemu BMS uzyskano teoretyczny wzrost żywotności stosowanych akumulatorów od 19% do 48%. Weryfikacja uzyskanych danych nastąpi w trakcie rzeczywistego użytkowania pakietów zasilania w pojazdach elektrycznych.

Zwiększenie żywotności akumulatorów pozwala na zwiększenie czasu użytkowania akumulatorów w pojeździe elektrycznym. Co pozwala na rzadsze wymiany akumulatorów, co zmniejsza problem ich utylizacji. Czas użytkowania wydłuża się proporcjonalnie z żywotnością.

Czas ładowania

W czasie badań akumulatorów do wyznaczenia ich żywotności, dokonywano pomiarów czasu ładowania akumulatorów, aby dokonać sprawdzenia czasu ładowania pakietu w zależności od stosowanego algorytmu.

Czas ładowania akumulatorów ołowiowych z ciekłym elektrolitem

Wyniki pomiarów czasu ładowania akumulatorów ołowiowych z ciekłym elektrolitem przedstawione są w Tabeli 186.

Tabela 186. Wyniki pomiarów czasów ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym

Nr serii ładowania - rozładowania	Czas ładowania [minuty] z BMS					Procentowa zmiana czasu ładowania [%]			
	bez BMS (odniesienie)	z BMS algorytm 1	z BMS algorytm 2	z BMS algorytm 3	z BMS algorytm 4	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4
1	570	569,8	568,3	557,8	475,9	0,03	0,30	2,13	16,50
2	570	567,6	561,8	561,1	481,3	0,42	1,44	1,56	15,55
3	570	569,2	568,2	564,5	487,4	0,15	0,32	0,97	14,48
4	570	567,6	565,6	558,0	455,1	0,42	0,76	2,11	20,16
5	570	569,4	567,3	566,4	483,8	0,10	0,48	0,63	15,13
6	570	567,0	566,7	552,8	454,5	0,52	0,58	3,02	20,27
7	570	569,2	562,0	558,7	457,6	0,13	1,40	1,99	19,71
8	570	567,3	562,7	562,3	462,7	0,48	1,28	1,36	18,83
9	570	569,9	567,7	553,0	481,4	0,02	0,40	2,98	15,54
10	570	567,6	565,5	561,7	474,7	0,41	0,79	1,46	16,72
11	570	569,9	564,5	562,6	486,2	0,03	0,97	1,29	14,70
12	570	567,4	563,2	554,5	487,9	0,45	1,20	2,71	14,41
13	570	569,6	561,7	554,2	500,6	0,07	1,46	2,77	12,18
14	570	567,3	564,1	550,0	455,5	0,47	1,04	3,51	20,08
15	570	569,4	562,7	551,6	501,1	0,11	1,28	3,23	12,09
16	570	567,1	560,4	553,2	483,6	0,51	1,69	2,95	15,16
17	570	569,1	566,5	558,1	499,3	0,16	0,62	2,08	12,40
18	570	567,1	560,3	557,5	495,7	0,51	1,71	2,19	13,03
19	570	569,7	562,8	553,2	445,1	0,05	1,26	2,95	21,91
20	570	567,2	560,2	558,4	450,8	0,49	1,72	2,04	20,92
21	570	569,6	568,5	551,3	502,4	0,07	0,26	3,28	11,86
22	570	567,3	559,9	561,9	473,5	0,47	1,78	1,42	16,92
23	570	569,1	562,6	566,2	501,1	0,16	1,30	0,66	12,08
24	570	567,3	563,0	562,8	470,3	0,47	1,24	1,27	17,49
25	570	569,5	563,5	562,9	462,1	0,08	1,13	1,25	18,92
26	570	567,3	565,3	558,8	498,6	0,47	0,83	1,96	12,52
27	570	569,4	566,1	566,9	505,4	0,10	0,68	0,54	11,33
28	570	567,2	564,6	564,0	469,3	0,49	0,95	1,06	17,67
29	570	569,9	566,4	555,5	475,4	0,02	0,63	2,55	16,60
30	570	567,8	560,5	554,4	483,3	0,39	1,67	2,74	15,22
Średnie:		568,4	564,1	558,5	478,7	0,27	1,04	2,02	16,01

W wyniku dobrania parametrów oraz optymalizacji algorytmu udało się poprawić czas ładowania średnio o 14,92%.

Czas ładowania akumulatorów litowo-jonowych

Wyniki pomiarów czasu ładowania akumulatorów litowo-jonowych przedstawione są w **Tabeli 187**.

Tabela 187. Wyniki pomiarów czasów ładowania akumulatora litowo-jonowego

Nr serii ładowania - rozładowania	Czas ładowania [minuty] z BMS					Procentowa zmiana czasu ładowania [%]			
	bez BMS (odniesienie)	z BMS algorytm 1	z BMS algorytm 2	z BMS algorytm 3	z BMS algorytm 4	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4
1	600	599,7	597,0	588,5	530,3	0,04	0,50	1,91	11,62
2	600	597,9	590,5	591,1	500,0	0,35	1,58	1,48	16,66
3	600	599,2	596,1	588,5	527,1	0,13	0,64	1,91	12,16
4	600	597,6	590,3	580,6	526,7	0,39	1,62	3,24	12,21
5	600	599,3	598,2	595,8	479,5	0,12	0,30	0,70	20,09
6	600	597,8	595,5	580,0	521,1	0,37	0,75	3,33	13,14
7	600	599,9	598,0	582,9	479,2	0,01	0,34	2,85	20,14
8	600	597,3	596,5	586,5	484,8	0,45	0,58	2,24	19,20
9	600	599,4	595,3	580,1	516,0	0,10	0,78	3,32	14,01
10	600	597,9	589,8	579,4	498,2	0,34	1,70	3,43	16,97
11	600	599,2	597,2	586,0	471,1	0,13	0,46	2,33	21,48
12	600	597,3	595,1	576,3	491,5	0,44	0,82	3,95	18,09
13	600	599,4	595,4	590,1	524,3	0,10	0,77	1,65	12,62
14	600	597,8	591,5	578,9	495,1	0,37	1,41	3,52	17,49
15	600	599,3	594,5	581,3	500,6	0,11	0,92	3,12	16,56
16	600	597,2	591,5	583,2	495,8	0,47	1,42	2,81	17,37
17	600	599,2	591,4	596,2	499,0	0,13	1,44	0,64	16,84
18	600	597,3	596,8	581,1	497,4	0,44	0,53	3,14	17,11
19	600	599,6	598,3	592,1	527,5	0,07	0,29	1,31	12,08
20	600	597,9	589,2	580,5	522,6	0,35	1,79	3,25	12,89
21	600	599,5	592,4	580,5	475,1	0,08	1,26	3,25	20,81
22	600	597,1	595,9	583,5	494,2	0,49	0,68	2,75	17,64
23	600	600,0	595,8	579,5	509,7	0,01	0,70	3,41	15,06
24	600	597,7	593,4	588,2	487,6	0,38	1,09	1,97	18,73
25	600	599,3	592,9	587,8	478,7	0,12	1,19	2,04	20,22
26	600	597,5	596,1	579,4	524,0	0,42	0,64	3,43	12,66
27	600	599,7	593,6	585,2	521,6	0,05	1,06	2,46	13,07
28	600	597,5	591,8	583,4	475,1	0,42	1,37	2,77	20,82
29	600	599,6	596,4	589,3	519,6	0,07	0,60	1,78	13,40
30	600	597,7	595,2	593,4	506,9	0,38	0,80	1,10	15,52
Średnie:		598,5	594,4	585,0	502,7	0,24	0,93	2,50	16,22

W wyniku dobrania parametrów oraz optymalizacji algorytmu udało się poprawić czas ładowania średnio o 16,22%.

Czas ładowania akumulatorów LiFePO4

Wyniki pomiarów czasu ładowania akumulatorów LiFePO4 przedstawione są w **Tabeli 188**.

Tabela 188. Wyniki pomiarów czasów ładowania akumulatora LiFePO4

Nr serii ładowania - rozładowania	Czas ładowania [minuty] z BMS					Procentowa zmiana czasu ładowania [%]			
	bez BMS (odniesienie)	z BMS algorytm 1	z BMS algorytm 2	z BMS algorytm 3	z BMS algorytm 4	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4
1	615	614,4	609,6	593,5	491,6	0,10	0,89	3,50	20,06
2	615	612,1	604,3	598,9	522,2	0,48	1,74	2,61	15,09
3	615	614,6	610,8	601,1	518,2	0,06	0,68	2,25	15,74
4	615	612,1	605,4	596,8	543,8	0,47	1,57	2,95	11,58
5	615	614,4	611,3	601,6	506,4	0,09	0,60	2,18	17,66
6	615	612,4	604,3	593,7	497,3	0,42	1,74	3,47	19,13
7	615	614,5	613,2	597,6	504,4	0,07	0,29	2,82	17,98
8	615	612,0	607,6	599,0	499,8	0,48	1,20	2,61	18,73
9	615	614,6	607,8	610,5	525,8	0,06	1,17	0,73	14,50
10	615	612,3	609,2	605,8	490,3	0,43	0,95	1,49	20,28
11	615	614,0	610,4	612,0	504,2	0,16	0,74	0,49	18,01
12	615	612,9	610,7	594,1	525,0	0,34	0,71	3,40	14,64
13	615	614,5	608,6	600,6	514,1	0,07	1,04	2,34	16,41
14	615	612,1	608,3	597,6	498,6	0,48	1,09	2,82	18,92
15	615	614,2	609,2	611,7	530,0	0,13	0,94	0,53	13,82
16	615	612,5	609,9	605,5	490,5	0,41	0,83	1,55	20,25
17	615	614,6	612,8	604,5	499,2	0,06	0,35	1,71	18,82
18	615	612,8	604,5	597,4	485,8	0,36	1,70	2,86	21,01
19	615	614,4	613,1	611,2	523,1	0,09	0,31	0,62	14,95
20	615	612,1	604,9	604,1	534,7	0,47	1,64	1,77	13,05
21	615	614,2	610,7	597,4	518,3	0,13	0,70	2,86	15,72
22	615	612,7	611,0	607,2	489,7	0,37	0,65	1,26	20,37
23	615	614,3	607,1	609,8	520,0	0,11	1,28	0,85	15,44
24	615	612,4	606,8	603,4	500,8	0,42	1,33	1,89	18,57
25	615	615,0	611,9	599,8	507,0	0,00	0,51	2,47	17,55
26	615	612,4	609,6	607,8	498,5	0,42	0,87	1,17	18,94
27	615	615,0	609,8	605,8	543,8	0,00	0,85	1,49	11,57
28	615	612,5	605,9	609,1	532,7	0,41	1,47	0,95	13,38
29	615	614,6	609,9	605,1	540,9	0,07	0,82	1,61	12,05
30	615	612,0	610,1	603,8	511,2	0,48	0,80	1,82	16,87
Średnie:		613,4	609,0	602,9	512,3	0,26	0,98	1,97	16,70

W wyniku dobrania parametrów oraz optymalizacji algorytmu udało się poprawić czas ładowania średnio o 16,7%.

Czas ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych

Wyniki pomiarów czasu ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych przedstawione są w Tabeli 189.

Tabela 189. Wyniki pomiarów czasów ładowania akumulatora grafenowo-litowo-polimerowego

Nr serii ładowania - rozładowania	Czas ładowania [minuty] z BMS					Procentowa zmiana czasu ładowania [%]			
	bez BMS (odniesienie)	z BMS algorytm 1	z BMS algorytm 2	z BMS algorytm 3	z BMS algorytm 4	algorytm 1	algorytm 2	algorytm 3	algorytm 4
1	570	569,2	566,6	556,7	446,8	0,13	0,60	2,33	21,61
2	570	567,4	559,3	550,2	479,3	0,45	1,87	3,48	15,91
3	570	569,5	565,2	562,4	487,1	0,09	0,84	1,33	14,55
4	570	567,6	561,8	555,2	479,1	0,43	1,43	2,60	15,95
5	570	569,5	568,6	558,7	495,8	0,08	0,25	1,99	13,01
6	570	567,6	566,8	546,4	498,2	0,42	0,55	4,14	12,60
7	570	569,9	565,8	564,5	446,5	0,02	0,74	0,97	21,66
8	570	567,8	562,8	555,9	448,8	0,38	1,26	2,48	21,25
9	570	569,4	565,5	566,9	494,8	0,11	0,80	0,54	13,19
10	570	567,2	561,2	552,0	471,3	0,49	1,54	3,16	17,32
11	570	569,2	564,0	557,0	473,2	0,14	1,05	2,28	16,98
12	570	567,5	565,8	548,7	484,3	0,44	0,74	3,74	15,03
13	570	569,6	561,7	564,2	477,8	0,08	1,45	1,02	16,17
14	570	567,2	563,7	560,7	452,8	0,49	1,11	1,63	20,56
15	570	569,2	563,0	560,9	453,0	0,13	1,24	1,60	20,53
16	570	567,2	565,3	556,6	458,3	0,49	0,82	2,35	19,60
17	570	569,8	566,6	550,1	442,7	0,04	0,59	3,50	22,34
18	570	567,5	560,0	558,5	458,3	0,43	1,76	2,01	19,59
19	570	569,8	563,0	548,5	462,6	0,03	1,24	3,78	18,85
20	570	567,4	566,0	546,0	472,9	0,46	0,70	4,21	17,03
21	570	569,5	561,7	552,9	454,8	0,08	1,45	3,00	20,21
22	570	567,5	566,5	551,6	440,7	0,44	0,61	3,23	22,68
23	570	569,9	566,2	548,3	499,4	0,01	0,66	3,80	12,38
24	570	567,2	563,2	559,9	470,6	0,49	1,20	1,78	17,44
25	570	569,9	561,9	564,5	476,5	0,02	1,43	0,96	16,40
26	570	567,2	561,8	560,1	460,9	0,50	1,44	1,73	19,13
27	570	569,3	564,7	557,1	456,8	0,12	0,92	2,27	19,86
28	570	567,4	565,1	557,6	449,8	0,45	0,85	2,18	21,09
29	570	569,7	562,1	553,4	467,6	0,05	1,39	2,91	17,96
30	570	567,3	561,1	555,3	492,9	0,47	1,56	2,58	13,53
Średnie:		568,5	563,9	556,0	468,5	0,27	1,07	2,45	17,81

W wyniku dobrania parametrów oraz optymalizacji algorytmu udało się poprawić czas ładowania średnio o 17,81%.



WNIOSKI

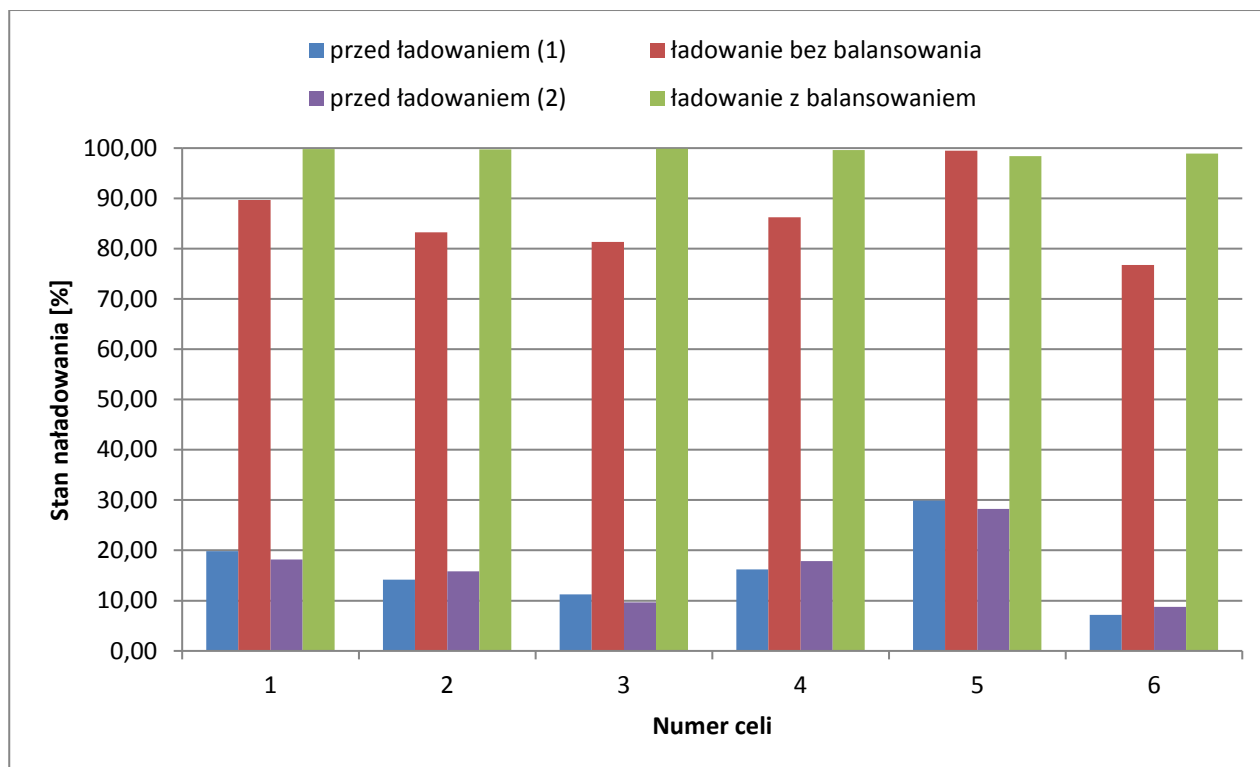
Poprzez zastosowanie zaawansowanych algorytmów pracy systemu zarządzania akumulatorami (BMS) możliwym było skrócenie czasu ładowania o prawie 20%.

Pojemność / Zdolność do magazynowania energii

W trakcie długotrwałej pracy (po wykonaniu kilkudziesięciu cykli rozładowania akumulatora) możliwym jest pojawienie się zjawiska niezrównoważenia cel. Zjawisko to spowodowane jest różnicami produkcyjnymi, co powoduje zróżnicowane zużycie akumulatorów. Z czasem różnice te ulegają pogłębieniu. W wyniku wystąpienia niezrównoważenia następuje sztuczny spadek pojemności pakietu akumulatorów.

W celu wykonania badań wpływu zastosowanego algorytmu balansowania na poprawę wykorzystania możliwości akumulatorów doprowadzono pakiet akumulatorów do stanu niezrównoważenia. Następnie wykonano proces ładowania, proces powtórzono, lecz z zastosowaniem algorytmów balansowania. Wyniki pomiaru stanu naładowania pojedynczych celi przedstawiono na **wykresach 280-284**. Pomiary wykonano dla wszystkich typów badanych akumulatorów.

Pakiet akumulatorów ołowiowych z ciekłym elektrolitem

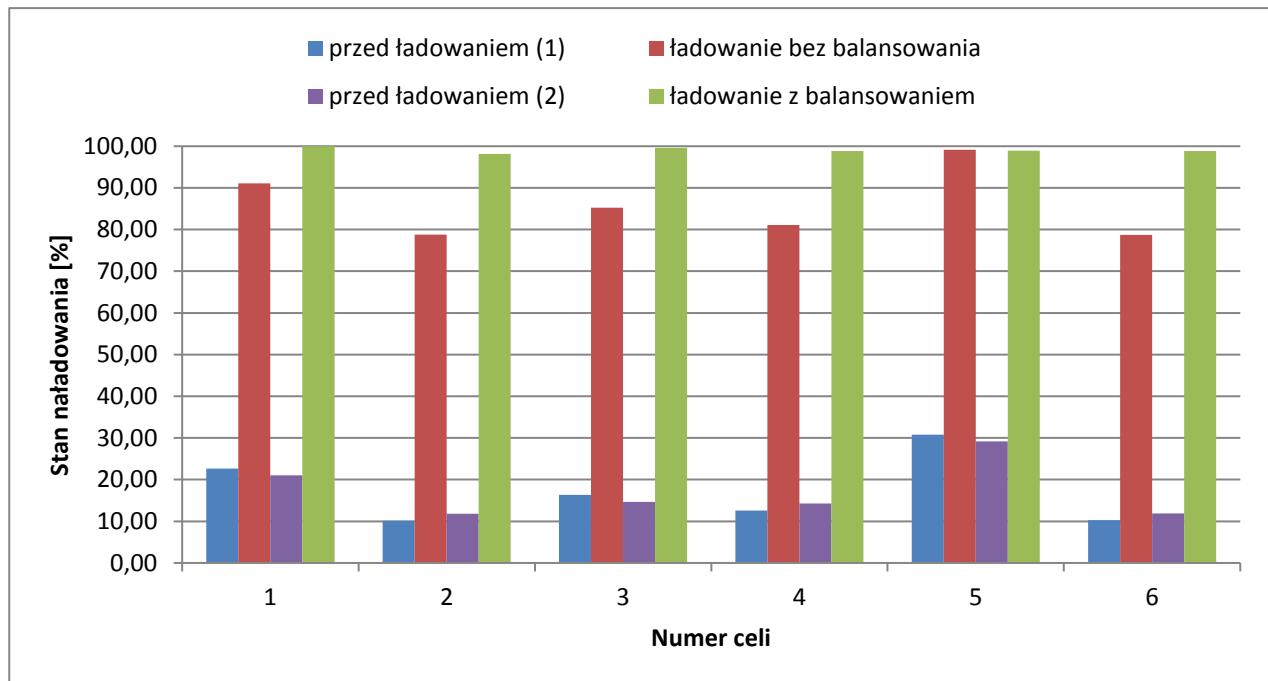


Wykres 280. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność pakietu akumulatorów ołowiowych z ciekłym elektrolitem

WNIOSEK:

Dla akumulatora w aktualnej serii pomiarowej uzyskano wzrost pojemności maksymalnej o 21,82%.

Pakiet akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

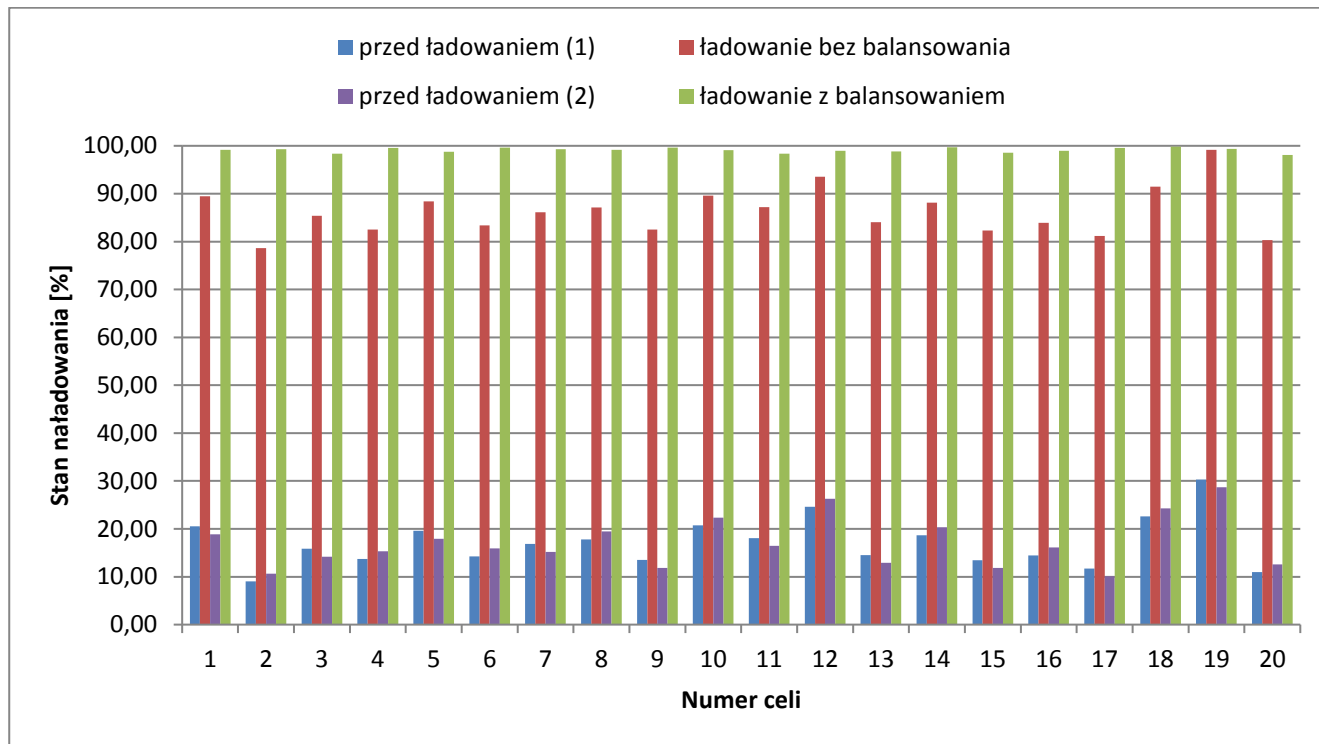


Wykres 281. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym

WNIOSEK:

Dla akumulatora w aktualnej serii pomiarowej uzyskano wzrost pojemności maksymalnej o 19,5%.

Pakiet akumulatorów litowo-jonowych

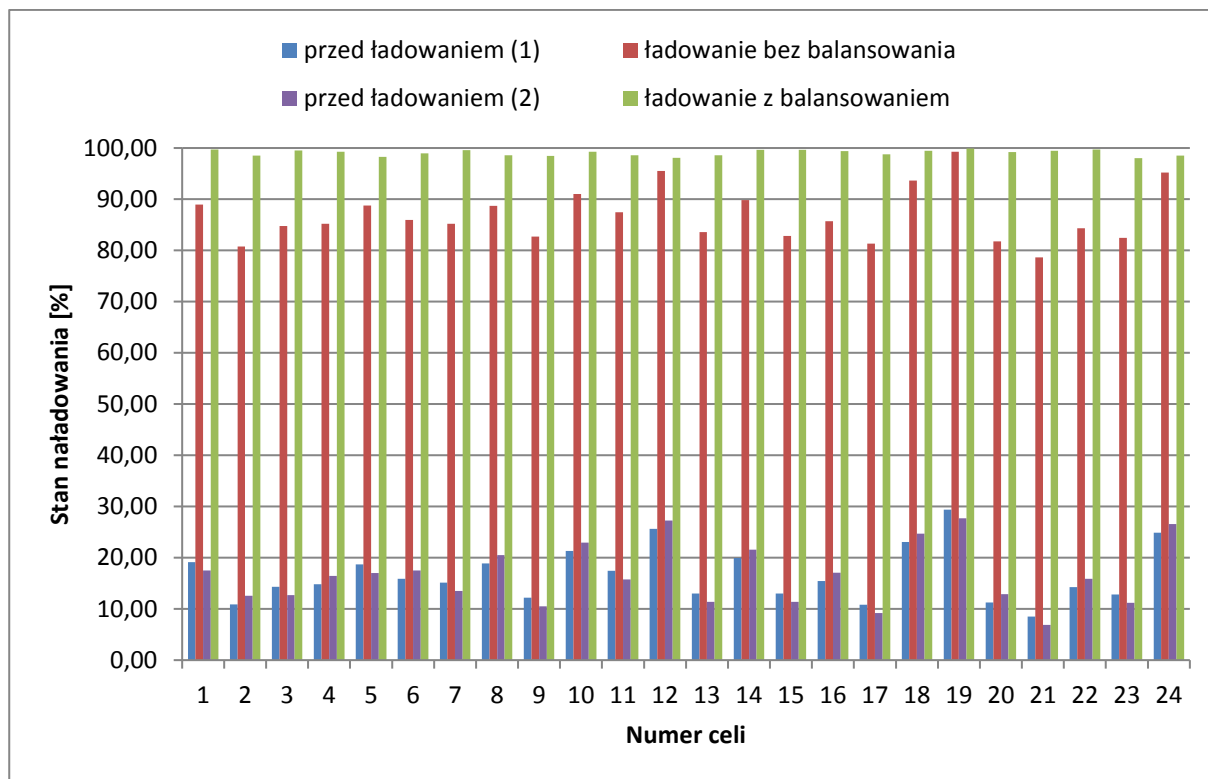


Wykres 282. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność pakietu akumulatorów litowo-jonowych

WNIOSEK:

Dla akumulatora w aktualnej serii pomiarowej uzyskano wzrost pojemności maksymalnej o 20,16%.

Pakiet akumulatorów LiFePO4

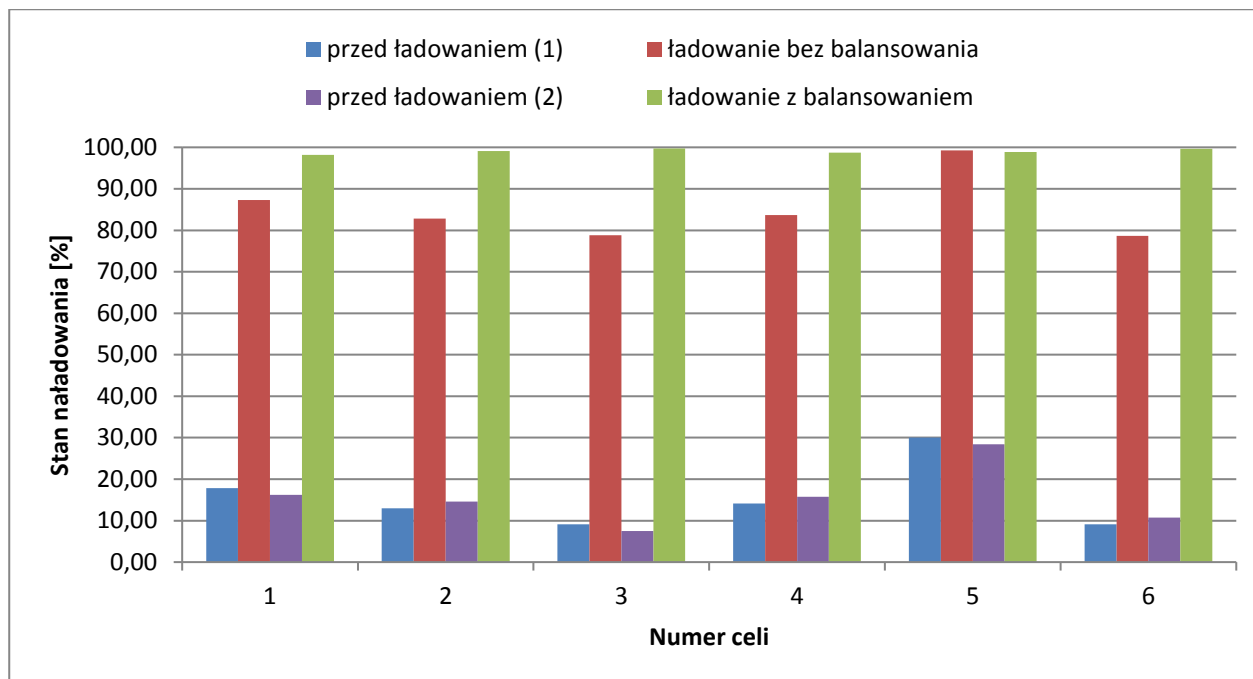


Wykres 283. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność dla pakietów akumulatorów LiFePO4

WNIOSEK:

Dla akumulatora w aktualnej serii pomiarowej uzyskano wzrost pojemności maksymalnej o 19,36%.

Pakiet akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych



Wykres 284. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność dla pakietów akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych

WNIOSEK:

Dla akumulatora w aktualnej serii pomiarowej uzyskano wzrost pojemności maksymalnej o 19,84%.

Wnioski zbiorcze:

W wyniku wykonania, zastosowania oraz dobrania odpowiednich parametrów do układu balansującego wchodzącego w skład systemu zarządzania akumulatorami uzyskano poprawę maksymalnej pojemności niezrównoważonego pakietu akumulatorów o ok. 20%

Spis rysunków

Rysunek 1. Stanowisko do badania cyklu ładowania akumulatorów.....	8
Rysunek 2. Stanowisko do rozładowania akumulatorów	9
Rysunek 3. Stanowisko do badania odzysku energii	10
Rysunek 4. Stanowisko do badania wpływu obciążenia.....	11
Rysunek 5. Połączenie szeregowo akumulatorów ołowiowych.....	12
Rysunek 6. Stanowisko do pomiaru parametrów elektrycznych.....	15
Rysunek 7. Schemat jednostki podrzędnej BMS Slave	19
Rysunek 8. Schemat jednostki głównej układu BMS	20
Rysunek 9. Schemat połączeń BMS	21
Rysunek 10. Obwód pasywnego balansowania ogniw	22
Rysunek 11. Zależność sprawności ładowania od stopnia naładowania (góra) oraz prądu ładowania (dół).....	26
Rysunek 12. Przebieg procesu ładowania CCCV w akumulatorach ołowiowych z elektrolitem ciekłym	28
Rysunek 13. Wykres ładowania akumulatora Li-ion standardową metodą CC-CV.....	31
Rysunek 14. Wykres procesu rozładowania dla baterii LiFePo4.....	33
Rysunek 15. Schemat połączeń akumulatorów ołowiowych z elektrolitem płynnym oraz żelowym w baterie o napięciu znamionowym 72V.....	39
Rysunek 16. Schemat połączeń ogniw litowo-jonowych w baterie o napięciu znamionowym 74V i pojemności 100 Ah.....	40
Rysunek 17. Schemat połączeń ogniw litowo-żelazowo-fosforanowych w baterie o napięciu znamionowym 76,8 V	40
Rysunek 18. Schemat połączeń ogniw grafenowo-litowo-polimerowych w baterie o napięciu znamionowym 74 V	41
Rysunek 19. Ładowanie akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym	47
Rysunek 20. Schemat ładowania akumulatora z elektrolitem żelowym	169
Rysunek 21. Schemat ładowania dla pojedynczego ogniwa litowo-jonowego	275
Rysunek 22. Schemat ładowania pojedynczej celi LiFePO4.....	323
Rysunek 23. Grafen ma płaską sieć krystaliczną zbudowaną z połączonych sześciokątów atomów węgla (niebieskich plam) ściśle ze sobą powiązanych (czerwone linie).....	368

Spis wykresów

Wykres 1. Charakterystyka ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 1.....	50
Wykres 2. Charakterystyka ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 2.....	51
Wykres 3. Charakterystyka ładowania dla akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 3	51
Wykres 4. Charakterystyka ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 4.....	52
Wykres 5. Charakterystyka ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 5.....	52
Wykres 6. Ładowanie akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym nr 6	53
Wykres 7. Seria pierwsza ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	54
Wykres 8. Seria druga ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	55
Wykres 9. Seria trzecia ładowania indywidualnego akumulatora ołowiowego.....	56
Wykres 10. Seria czwarta ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych.....	57
Wykres 11. Seria piąta ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	58
Wykres 12. Szósta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych.....	59
Wykres 13. Siódma seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	60
Wykres 14. Ósma seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych.....	61



Wykres 15. Dziewiąta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	62
Wykres 16. Dziesiąta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym.....	63
Wykres 17. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 1	66
Wykres 18. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 2	66
Wykres 19. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 3	67
Wykres 20. . Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 4	67
Wykres 21. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 5	68
Wykres 22. Charakterystyka rozładowania akumulatora nr 6	68
Wykres 23. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS.....	71
Wykres 24. Druga seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	72
Wykres 25. Seria trzecia rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS.....	73
Wykres 26. Czwarta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	74
Wykres 27. Piąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	75
Wykres 28. Szósta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS	76
Wykres 29. Siódma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	77
Wykres 30. Ósma seria rozładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym bez BMS	78
Wykres 31. Dziewiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	79
Wykres 32. Dziesiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS.....	80
Wykres 33. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS	93
Wykres 34. Pierwsza seria ładowanie pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	93
Wykres 35. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS	95
Wykres 36. Druga seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	95
Wykres 37. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych bez BMS	97
Wykres 38. Trzecia seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	97
Wykres 39. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS	99
Wykres 40. Czwarta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	99
Wykres 41. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z elektrolitem ciekłym bez BMS..	101
Wykres 42. Piąta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	101
Wykres 43. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS	103
Wykres 44. Szósta seria ładowania akumulatorów ołowiowych bez BMS	103
Wykres 45. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS	105
Wykres 46. Siódma seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	105
Wykres 47. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS	107
Wykres 48. Ósma seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	107
Wykres 49. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS	109
Wykres 50. Dziewiąta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	109
Wykres 51. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania bez BMS	111
Wykres 52. Dziesiąta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	111
Wykres 53. Napięcie pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem płynnym podczas rozładowania	114
Wykres 54. Pierwsza seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	114
Wykres 55. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS	116
Wykres 56. Druga seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	116
Wykres 57. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS.....	118
Wykres 58. Trzecia seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	118
Wykres 59. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS.....	120
Wykres 60. Czwarta seria rozładowania pakietu akumulatorów bez BMS	120
Wykres 61. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS.....	122
Wykres 62. Piąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	122



Wykres 63. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS.....	124
Wykres 64. Szósta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	124
Wykres 65. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych bez BMS	126
Wykres 66. Siódma seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	126
Wykres 67. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych bez BMS	128
Wykres 68. Ósma seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	128
Wykres 69. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych bez BMS	130
Wykres 70. Seria dziewiąta rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	130
Wykres 71. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas rozładowania bez BMS.....	132
Wykres 72. Dziesiąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS.....	132
Wykres 73. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	135
Wykres 74. Pierwszy cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	136
Wykres 75. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	137
Wykres 76. Drugi cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	137
Wykres 77. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	138
Wykres 78. Trzeci cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	139
Wykres 79. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	140
Wykres 80. Czwarta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	140
Wykres 81. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	141
Wykres 82. Piąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	141
Wykres 83. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	142
Wykres 84. Szósty cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	143
Wykres 85. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	144
Wykres 86. Siódmy cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	144
Wykres 87. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	145
Wykres 88. Ósma seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	146
Wykres 89. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	147
Wykres 90. Dziewiąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	147
Wykres 91. Napięcie stringu akumulatorów ołowiowych podczas ładowania z systemem BMS.....	148
Wykres 92. Dziesiąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	149
Wykres 93. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- pierwsza seria	151
Wykres 94. Pierwsza seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	152
Wykres 95. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- druga seria.....	153
Wykres 96. Druga seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	153



Wykres 97. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS - trzecia seria.....	154
Wykres 98. Trzecia seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	155
Wykres 99. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- czwarta seria.....	156
Wykres 100. Czwarta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	156
Wykres 101. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- piąta seria	157
Wykres 102. Piąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	158
Wykres 103. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- szósta seria.....	159
Wykres 104. Szósta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	159
Wykres 105. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- siódma seria	160
Wykres 106. Siódma seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	161
Wykres 107. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- ósma seria	162
Wykres 108. Ósma seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	162
Wykres 109. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- dziewiąta seria.....	163
Wykres 110. Dziewiąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	164
Wykres 111. Napięcie rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem BMS- dziesiąta seria	165
Wykres 112. Dziesiąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	165
Wykres 113. Ładowanie akumulatora ołowiowego z elektrolitem żelowym metodą CC-CV.....	168
Wykres 114. Pierwsza seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	173
Wykres 115. Druga seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	174
Wykres 116. Trzeci cykl ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	175
Wykres 117. Czwarty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych.....	176
Wykres 118. Piąty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych	177
Wykres 119. Szósta seria ładowania akumulatorów żelowych	179
Wykres 120. Siódma seria ładowania akumulatorów żelowych	180
Wykres 121. Ósma seria ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych	181
Wykres 122. Dziewiąty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych	182
Wykres 123. Dziesiąty cykl ładowania akumulatorów ołowiowych	183
Wykres 124. Pierwszy cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	186
Wykres 125. Drugi cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	187
Wykres 126. Trzeci cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	188
Wykres 127. Czwarty cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	189
Wykres 128. Piąta seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	190
Wykres 129. Szósta seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	191



Wykres 130. Siódma seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	192
Wykres 131. Ósmy cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	193
Wykres 132. Dziewiąty cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	194
Wykres 133. Dziesiąty cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	195
Wykres 134. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	202
Wykres 135. Pierwsza seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	203
Wykres 136. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	204
Wykres 137. Druga seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	204
Wykres 138. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	205
Wykres 139. Trzeci cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	206
Wykres 140. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	207
Wykres 141. Czwarty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	207
Wykres 142. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	209
Wykres 143. Piąty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	209
Wykres 144. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	210
Wykres 145. Szósta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	211
Wykres 146. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	212
Wykres 147. Siódma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	213
Wykres 148. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	214
Wykres 149. Ósma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	215
Wykres 150. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	216
Wykres 151. Dziewiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	216
Wykres 152. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania bez BMS	218
Wykres 153. Dziesiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	218
Wykres 154. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	220
Wykres 155. Pierwsza seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	221
Wykres 156. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	222
Wykres 157. Druga seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	222
Wykres 158. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	223
Wykres 159. Trzecia seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	224
Wykres 160. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	225
Wykres 161. Czwarta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	225
Wykres 162. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	226

Wykres 163. Piąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	227
Wykres 164. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	228
Wykres 165. Szósta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	228
Wykres 166. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	229
Wykres 167. Siódma seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	230
Wykres 168. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	231
Wykres 169. Ósma seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	231
Wykres 170. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	232
Wykres 171. Dziewiąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	233
Wykres 172. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu rozładowania bez BMS	234
Wykres 173. Dziesiąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	234
Wykres 174. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	237
Wykres 175. Pierwszy cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	237
Wykres 176. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	239
Wykres 177. Druga seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	239
Wykres 178. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	241
Wykres 179. Trzeci cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	241
Wykres 180. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	243
Wykres 181. Czwarty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	243
Wykres 182. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	245
Wykres 183. Piąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	245
Wykres 184. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	247
Wykres 185. Szósty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	247
Wykres 186. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	249
Wykres 187. Siódmy cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	249
Wykres 188. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	251
Wykres 189. Ósma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	251
Wykres 190. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	253
Wykres 191. Dziewiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	253
Wykres 192. Napięcie stringu akumulatorów żelowych podczas procesu ładowania z zastosowaniem BMS	255
Wykres 193. Dziesiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	255
Wykres 194. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – pierwsza seria	257



Wykres 195. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	258
Wykres 196. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – druga seria	259
Wykres 197. Druga seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	259
Wykres 198. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – trzecia seria.....	260
Wykres 199. Trzecia seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	261
Wykres 200. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – czwarta seria.....	262
Wykres 201. Czwarta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	262
Wykres 202. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – piąta seria	263
Wykres 203. Piąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	264
Wykres 204. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – szósta seria	265
Wykres 205. Szósta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	265
Wykres 206. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – siódma seria	266
Wykres 207. Siódma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	267
Wykres 208. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – ósma seria	268
Wykres 209. Ósma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	268
Wykres 210. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – dziewiąta seria	269
Wykres 211. Dziewiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS.....	270
Wykres 212. Napięcie rozładowania akumulatorów żelowych w stringu – dziesiąta seria	271
Wykres 213. Dziesiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	271
Wykres 214. Zależność napięcia od czasu rozładowania w ogniwach litowo-jonowych.....	274
Wykres 215. Pierwsza seria ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	282
Wykres 216. Seria druga ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	284
Wykres 217. Trzecia seria ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	286
Wykres 218. Seria czwarta ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	288
Wykres 219. Seria piąta ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	290
Wykres 220. Seria szósta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną.....	292
Wykres 221. Seria siódma ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	294
Wykres 222. Seria ósma ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną.....	296
Wykres 223. Seria dziewiąta ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	298
Wykres 224. Seria dziesiąta ładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną.....	300
Wykres 225. Seria pierwsza rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	303
Wykres 226. Seria druga rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną.....	305
Wykres 227. Seria trzecia rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną.....	307
Wykres 228. Seria czwarta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną.....	309
Wykres 229. Seria piąta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	311
Wykres 230. Seria szósta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną.....	313
Wykres 231. Seria siódma rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną.....	315
Wykres 232. Seria ósma rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	317
Wykres 233. Seria dziewiąta rozładowania ogniw li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	319



Wykres 234. Seria dziesiąta rozładowania ogniwi li-ion złożonych w instalację laboratoryjną	321
Wykres 235. Seria pierwsza ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	328
Wykres 236. Seria druga ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	330
Wykres 237. Seria trzecia ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	332
Wykres 238. Seria czwarta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	334
Wykres 239. Seria piąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	336
Wykres 240. Seria szósta ładowania cel LiFePO4 złożonej w instalację laboratoryjną	338
Wykres 241. Seria siódma ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	340
Wykres 242. Seria ósma ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną.....	342
Wykres 243. Seria dziewiąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	344
Wykres 244. Seria dziesiąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną.....	346
Wykres 245. Seria pierwsza rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	349
Wykres 246. Seria druga rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	351
Wykres 247. Seria trzecia rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	353
Wykres 248. Seria czwarta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	355
Wykres 249. Seria piąta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	357
Wykres 250. Seria szósta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną.....	359
Wykres 251. Seria siódma rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną.....	361
Wykres 252. Seria ósma rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	363
Wykres 253. Seria dziewiąta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną.....	365
Wykres 254. Seria dziesiąta rozładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	367
Wykres 255. Seria pierwsza ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	373
Wykres 256. Seria druga ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	375
Wykres 257. Seria trzecia ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	376
Wykres 258. Seria czwarta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	377
Wykres 259. Seria piąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	378
Wykres 260. Seria szósta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	380
Wykres 261. Seria siódma ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	381
Wykres 262. Seria ósma ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	382
Wykres 263. Seria dziewiąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	384
Wykres 264. Seria dziesiąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	385
Wykres 265. Seria pierwsza rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	387
Wykres 266. Seria druga rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	389
Wykres 267. Seria trzecia rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	390
Wykres 268. Seria czwarta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	391

Wykres 269. Seria piąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	392
Wykres 270. Seria szósta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	393
Wykres 271. Seria siódma rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	395
Wykres 272. Seria ósma rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	396
Wykres 273. Seria dziewiąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	397
Wykres 274. Seria dziesiąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	398
Wykres 275. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora ołowiowego z ciekłym elektrolitem w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi.	401
Wykres 276. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora ołowiowego z elektrolitem żelowym w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi.	403
Wykres 277. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora litowo-jonowego w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi.....	405
Wykres 278. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora LiFePO4 w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi.....	407
Wykres 279. Wykres estymacji trendu zmian pojemności akumulatora grafenowo-litowo-polimerowego w czasie, w celu porównania z parametrami katalogowymi.	409
Wykres 280. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność pakietu akumulatorów ołowiowych z ciekłym elektrolitem	415
Wykres 281. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	416
Wykres 282. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność pakietu akumulatorów litowo-jonowych	417
Wykres 283. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność dla pakietów akumulatorów LiFePO4	418
Wykres 284. Pomiary służące do wyznaczenia wpływu systemu zarządzania akumulatorami na maksymalną pojemność dla pakietów akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych	419

Spis tabeli

Tabela 1. Seria pierwsza ładowania indywidualnego dla akumulatorów ołowiowych	54
Tabela 2. Seria druga ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	55
Tabela 3. Seria trzecia ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	56
Tabela 4. Seria czwarta ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	57
Tabela 5. Seria piąta ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	58
Tabela 6. Szósta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	59
Tabela 7. Siódma seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	60
Tabela 8. Ósma seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	61
Tabela 9. Dziewiąta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym	62
Tabela 10. Dziesiąta seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych	63
Tabela 11. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	70
Tabela 12. Druga seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS.....	71
Tabela 13. Trzecia seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS.....	72



Tabela 14. Czwarta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	73
Tabela 15. Piąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	74
Tabela 16. Szósta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS	75
Tabela 17. Siódma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS	76
Tabela 18. Ósma seria rozładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym bez BMS	77
Tabela 19. Dziewiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	78
Tabela 20. Dziesiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych bez użycia BMS	79
Tabela 21. Pierwsza seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	92
Tabela 22. Druga seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	94
Tabela 23. Trzecia seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	96
Tabela 24. Czwarta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS	98
Tabela 25. Piąta seria ładowania pakietu akumulatorów bez użycia BMS	100
Tabela 26. Szósta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	102
Tabela 27. Siódma seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	104
Tabela 28. Ósma seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	106
Tabela 29. Dziewiąta seria ładowania akumulatorów ołowiowych bez BMS	108
Tabela 30. Dziesiąta seria ładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	110
Tabela 31. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z płynnym elektrolitem w stringu bez BMS	113
Tabela 32. Druga seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS	115
Tabela 33. Trzecia seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS	117
Tabela 34. Czwarta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	119
Tabela 35. Piąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	121
Tabela 36. Szósta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	123
Tabela 37. Siódma seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	125
Tabela 38. Ósma seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym bez BMS	127
Tabela 39. Dziewiąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	129
Tabela 40. Dziesiąta seria rozładowania pakietu akumulatorów ołowiowych bez BMS	131
Tabela 41. Pierwszy cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	135
Tabela 42. Drugi cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	136
Tabela 43. Trzeci cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów żelowych z zastosowaniem systemu BMS	138
Tabela 44. Czwarta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	139
Tabela 45. Piąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	140
Tabela 46. Szósty cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	142
Tabela 47. Siódmy cykl ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	143
Tabela 48. Ósma seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	145
Tabela 49. Dziewiąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	146
Tabela 50. Dziesiąta seria ładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	148



Tabela 51. Pierwsza seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	151
Tabela 52. Druga seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	152
Tabela 53. Trzecia seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	154
Tabela 54. Czwarta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	155
Tabela 55. Piąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	157
Tabela 56. Szósta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	158
Tabela 57. Siódma seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	160
Tabela 58. Ósma seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	161
Tabela 59. Dziewiąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	163
Tabela 60. Dziesiąta seria rozładowania stringu akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z użyciem systemu BMS.....	164
Tabela 61. Seria pierwsza ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym.....	172
Tabela 62. Druga seria ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	173
Tabela 63. Trzeci cykl ładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	174
Tabela 64. Czwarty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych	175
Tabela 65. Piąty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych	176
Tabela 66. Szósta seria ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych	178
Tabela 67. Siódma seria ładowania akumulatorów żelowych.....	179
Tabela 68. Ósma seria ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych.....	180
Tabela 69. Dziewiąty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych	181
Tabela 70. Dziesiąty cykl ładowania indywidualnego akumulatorów żelowych	182
Tabela 71. Pierwszy cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym....	185
Tabela 72. Drugi cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym.....	186
Tabela 73. Trzeci cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	187
Tabela 74. Czwarty cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	188
Tabela 75. Piąta seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	189
Tabela 76. Szósta seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	190
Tabela 77. Siódma seria rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	191
Tabela 78. Ósmy cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	192
Tabela 79. Dziewiąty cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym ..	193
Tabela 80. Dziesiąty cykl rozładowania indywidualnego akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym ...	194
Tabela 81. Pierwsza seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	202
Tabela 82. Druga seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	203
Tabela 83. Trzeci cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	205
Tabela 84. Czwarty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	206



Tabela 85. Piąty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	208
Tabela 86. Szósta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	210
Tabela 87. Siódma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	211
Tabela 88. Ósma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	213
Tabela 89. Dziewiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	215
Tabela 90. Dziesiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych bez zastosowania BMS	217
Tabela 91. Pierwsza seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	220
Tabela 92. Druga seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	221
Tabela 93. Trzecia seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	223
Tabela 94. Czwarta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	224
Tabela 95. Piąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	226
Tabela 96. Szósta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	227
Tabela 97. Siódma seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	229
Tabela 98. Ósma seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	230
Tabela 99. Dziewiąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	232
Tabela 100. Dziesiąta seria rozładowania instalacji laboratoryjnej złożonej z akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	233
Tabela 101. Pierwszy cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	236
Tabela 102. Druga seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	238
Tabela 103. Trzeci cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	240
Tabela 104. Czwarty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	242
Tabela 105. Piąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	244
Tabela 106. Szósty cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	246
Tabela 107. Siódmy cykl ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	248
Tabela 108. Ósma seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	250



Tabela 109. Dziewiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	252
Tabela 110. Dziesiąta seria ładowania zespołu zasilającego składającego się z akumulatorów żelowych z zastosowaniem BMS	254
Tabela 111. Pierwsza seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	257
Tabela 112. Druga seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	258
Tabela 113. Trzecia seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	260
Tabela 114. Czwarta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	261
Tabela 115. Piąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	263
Tabela 116. Szósta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	264
Tabela 117. Siódma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	266
Tabela 118. Ósma seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	267
Tabela 119. Dziewiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	269
Tabela 120. Dziesiąta seria rozładowania akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym z użyciem systemu BMS	270
Tabela 121. Seria pierwsza ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	281
Tabela 122. Druga seria ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	283
Tabela 123. Seria trzecia ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	285
Tabela 124. Czwarta seria ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	287
Tabela 125. Seria piąta ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	289
Tabela 126. Seria szósta ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	291
Tabela 127. Seria siódma ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	293
Tabela 128. Seria osma ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	295
Tabela 129. Seria dziewiąta ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	297
Tabela 130. Seria dziesiąta ładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	299
Tabela 131. Seria pierwsza rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	302
Tabela 132. Seria druga rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	304
Tabela 133. Seria trzecia rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	306
Tabela 134. Seria czwarta rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	308
Tabela 135. Seria piąta rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	310
Tabela 136. Seria szósta rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	312
Tabela 137. Seria siódma rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	314
Tabela 138. Seria ósma rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	316
Tabela 139. Seria dziewiąta rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	318
Tabela 140. Seria dziesiąta rozładowania ogniw li-ion składających się na instalację laboratoryjną	320
Tabela 141. Seria pierwsza ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	327
Tabela 142. Seria druga ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	329
Tabela 143. Seria trzecia ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	331
Tabela 144. Seria czwarta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	333
Tabela 145. Seria piąta ładowania cel LiFePO4 złożonych w instalację laboratoryjną	335



Tabela 146. Seria szósta ładowania cel LiFePO ₄ złożonej w instalację laboratoryjną	337
Tabela 147. Seria siódma ładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	339
Tabela 148. Seria ósma ładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	341
Tabela 149. Seria dziewiąta ładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	343
Tabela 150. Seria dziesiąta ładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	345
Tabela 151. Seria pierwsza rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	348
Tabela 152. Seria druga rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	350
Tabela 153. Seria trzecia rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	352
Tabela 154. Seria czwarta rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	354
Tabela 155. Seria piąta rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	356
Tabela 156. Seria szósta rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	358
Tabela 157. Seria siódma rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	360
Tabela 158. Seria ósma rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	362
Tabela 159. Seria dziewiąta rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	364
Tabela 160. Seria dziesiąta rozładowania cel LiFePO ₄ złożonych w instalację laboratoryjną	366
Tabela 161. Seria pierwsza ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	372
Tabela 162. Seria druga ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	374
Tabela 163. Seria trzecia ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	375
Tabela 164. Seria czwarta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	376
Tabela 165. Seria piąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	377
Tabela 166. Seria szósta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	379
Tabela 167. Seria siódma ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	380
Tabela 168. Seria ósma ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	381
Tabela 169. Seria dziewiąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	383
Tabela 170. Seria dziesiąta ładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	384
Tabela 171. Seria pierwsza rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	387
Tabela 172. Seria druga rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	388
Tabela 173. Seria trzecia rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	389
Tabela 174. Seria czwarta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	390
Tabela 175. Seria piąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	391
Tabela 176. Seria szósta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	392
Tabela 177. Seria siódma rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	394

Tabela 178. Seria ósma rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	395
Tabela 179. Seria dziewiąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	396
Tabela 180. Seria dziesiąta rozładowania akumulatorów grafenowo-litowo-polimerowych składających się na instalację laboratoryjną	397
Tabela 181. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym	400
Tabela 182. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora ołowiowego z elektrolitem żelowym	402
Tabela 183. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora litowo-jonowego	404
Tabela 184. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora LiFePO4	406
Tabela 185. Wyniki pomiarów cykli ładowanie-rozładowanie do wyznaczenia żywotności akumulatora grafenowo-litowo-polimerowego	408
Tabela 186. Wyniki pomiarów czasów ładowania akumulatora ołowiowego z elektrolitem ciekłym	410
Tabela 187. Wyniki pomiarów czasów ładowania akumulatora litowo-jonowego	411
Tabela 188. Wyniki pomiarów czasów ładowania akumulatora LiFePO4	412
Tabela 189. Wyniki pomiarów czasów ładowania akumulatora grafenowo-litowo-polimerowego	413

Spis Zdjęć

Zdjęcie 1. Mostki do łączenia akumulatorów poprzez lutowanie zacisków	13
Zdjęcie 2. Zaciski mechaniczne (klemy)	14
Zdjęcie 3. Zaciski sprężyste do łączenia akumulatorów ołowiowych	15
Zdjęcie 4. Jednostka podrzędna BMS Slave	19
Zdjęcie 5. Ogniwo grafenowo-litowo-polimerowy o pojemności znamionowej 10Ah i napięciu znamionowym 14,8V	41
Zdjęcie 6. Akumulator ołowiowy z elektrolitem ciekłym o pojemności znamionowej 110Ah i napięciu znamionowym 12V	42
Zdjęcie 7. Akumulator litowo-jonowy o napięciu 3,7V i pojemności 25Ah	43
Zdjęcie 8. Akumulator ołowiowy z elektrolitem żelowym o pojemności znamionowej 110Ah i napięciu znamionowym 12V	44
Zdjęcie 9. Cella żelazowo-litowo-fosforanowa o pojemności znamionowej 100Ah oraz napięciu znamionowym 3,2V	44
Zdjęcie 10. Zestaw mostków do łączenia akumulatorów poprzez lutowanie	82
Zdjęcie 11. Połączenie akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym poprzez lutowanie	83
Zdjęcie 12. Połączenie konektorów poprzez lutowanie	84
Zdjęcie 13. Połączenie zacisków akumulatorów ołowiowych przez lutowanie wykonane kamerą termowizyjną	85
Zdjęcie 14. Zestaw konektorów sprężystych do łączenia akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym	86
Zdjęcie 15. Połączenie akumulatorów poprzez zaciski sprężyste	87
Zdjęcie 16. Zdjęcie łączenia akumulatorów ołowiowych poprzez zaciski mechaniczne wykonane kamerą termowizyjną	88
Zdjęcie 17. Zdjęcie łączenia akumulatorów ołowiowych poprzez zaciski mechaniczne wykonane kamerą termowizyjną	88
Zdjęcie 18. Połączenie za pomocą zacisków mechanicznych – klem (powszechnie stosowanych w motoryzacji)	89
Zdjęcie 19. Połączenie za pomocą klem- zdjęcia z kamery termowizyjnej	90



Zdjęcie 20. Połączenie szeregowo akumulatorów za pomocą zacisków mechanicznych (optymalny sposób połączenia).....	91
Zdjęcie 21. Połączenie w string akumulatorów ołowiowych z elektrolitem ciekłym z zastosowaniem systemu BMS	134
Zdjęcie 22. Połączenie w string akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym poprzez zacisk śrubowy (najbardziej optymalne połączenie)	197
Zdjęcie 23. String akumulatorów żelowych połączony poprzez zaciski śrubowe, zdjęcie z kamery termowizyjnej	198
Zdjęcie 24. Akumulatory żelowe połączone poprzez zaciski śrubowe, zdjęcie z kamery termowizyjnej.....	198
Zdjęcie 25. Połączenie zaciskami sprężystym w stringi akumulatorów ołowiowych z elektrolitem żelowym	199
Zdjęcie 26. String akumulatorów żelowych połączony poprzez zaciski sprężyste, zdjęcie z kamery termowizyjnej	200
Zdjęcie 27. Połączenie ogniw litowo-jonowych poprzez zaciski śrubowe	277
Zdjęcie 28. Połączenie śrubowe ogniw litowo-jonowych, zdjęcie wykonane kamerą termowizyjną	278
Zdjęcie 29. Połączenie cel LiFePO4 zaciskami śrubowymi	325
Zdjęcie 30. Połączenie cel LiFePO4 zaciskami śrubowymi- zdjęcie z kamery termowizyjnej.....	325
Zdjęcie 31. Połączenie ogniw grafenowo-litowo-polimerowych poprzez zaciski śrubowe	371
Zdjęcie 32. Połączenie zaciskami sprężystymi – zdjęcia wykonane kamerą termowizyjną	371