

Testiranje karakteristika odabranih Li-Ion baterija s Junsu pražnjačem/punjačem

Vukovac, Adam

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:125249>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH
TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

TESTIRANJE KARAKTERISTIKA ODABRANIH LI-ION
BATERIJA S JUNSI PRAŽNJAČEM/PUNJAČEM

Diplomski rad

Adam Vukovac

Osijek, 2020.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 12.10.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite**Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

| | |
|---|---|
| Ime i prezime studenta: | Adam Vukovac |
| Studij, smjer: | Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika |
| Mat. br. studenta, godina upisa: | D-1211, 29.09.2020. |
| OIB studenta: | 21327487488 |
| Mentor: | Prof. dr. sc. Denis Pelin |
| Sumentor: | Andrej Brandis |
| Sumentor iz tvrtke: | |
| Predsjednik Povjerenstva: | Prof.dr.sc. Damir Šljivac |
| Član Povjerenstva 1: | Prof. dr. sc. Denis Pelin |
| Član Povjerenstva 2: | Matej Žnidarec |
| Naslov diplomskog rada: | Testiranje karakteristika odabranih Li-Ion baterija s Junsi pražnjačem/punjačem |
| Znanstvena grana rada: | Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika) |
| Zadatak diplomskog rada: | Testirati različite baterije s punjačem/pražnjačem Junsi 410 DUO. Napraviti upute za korištenje uređaja te opisati sve opcije s obzirom na parametre punjenja/pražnjenja kao i cikličkog rada. Rezultate obrađivati u programu Junsi LogView ppri čemu treba napraviti upute za korištenje programa. Na osnovu rezultata mjerenja doraditi predložak za laboratorijsku vježbu . |
| Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada): | Izvrstan (5) |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina |
| Datum prijedloga ocjene mentora: | 12.10.2020. |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija: | Potpis: |
| | Datum: |



FERIT

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 14.10.2020.

| | |
|----------------------------------|---|
| Ime i prezime studenta: | Adam Vukovac |
| Studij: | Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika |
| Mat. br. studenta, godina upisa: | D-1211, 29.09.2020. |
| Turnitin podudaranje [%]: | 8 |

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Testiranje karakteristika odabranih Li-Ion baterija s Junsii pražnjačem/punjačem**

izrađen pod vodstvom mentora Prof. dr. sc. Denis Pelin

i sumentora Andrej Brandis

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. PREGLED PODRUČJA TEME | 2 |
| 3. LITIJ IONSKE BATERIJE..... | 3 |
| 3.1. Osnovni parametri baterija | 3 |
| 3.2. Građa Li-ion baterija | 7 |
| 3.3. Pražnjenje i punjenje Li-ion baterija | 9 |
| 3.4. Svojstva Li-ion baterija | 14 |
| 4. TESTIRANJE ODABRANIH 18650 LI-ION BATERIJA POMOĆU JUNSI UREĐAJA..... | 16 |
| 4.1. Opis postava za testiranje | 16 |
| 4.2. Izvođenje testiranja..... | 21 |
| 4.3. Programsko sučelje LogView | 29 |
| 5. REZULTATI TESTIRANJA | 53 |
| 5.1. Panasonic NCR18650B..... | 53 |
| 5.1.1. Pražnjenje | 53 |
| 5.1.2. Punjenje..... | 55 |
| 5.1.3. Ciklički način rada..... | 57 |
| 5.2. Sony US18650VTC5..... | 60 |
| 5.2.1. Pražnjenje | 60 |
| 5.2.2. Punjenje..... | 62 |
| 5.2.3. Ciklički način rada..... | 64 |
| 5.3. LG18650HG2..... | 67 |
| 5.3.1. Pražnjenje..... | 67 |
| 5.3.2. Punjenje..... | 68 |
| 5.3.3. Ciklički način rada..... | 70 |
| 5.4. Uspoređivanje mjerenih karakteristika..... | 73 |
| ZAKLJUČAK | 80 |
| LITERATURA..... | 82 |
| SAŽETAK..... | 85 |
| ŽIVOTOPIS | 86 |

1. UVOD

U današnje vrijeme baterije koje se mogu puniti imaju važnu ulogu u svakodnevnom životu ljudi i većina dnevnih zadataka bi bila nezamisliva bez mogućnosti punjenja. Litij ionske baterije su zbog svojih svojstava među najpopularnijim i najprodavanijim baterijama. Razvojem automobilske industrije i električnih i hibridnih vozila proizvodnja i prodaja Li-ion baterija naglo je porasla. Među Li-ion baterijama najviše se ističu 18650 baterije. Oznaka 18650 označava dimenzije baterije, što će biti pojašnjeno dalje u radu.

Li-ion baterije se koriste u automobilskoj industriji, u laptopima, te raznim uređajima za svakodnevnu uporabu. Godišnje se proizvede gotovo 660 milijuna 18650 baterija [1]. Veliki dio baterija odlazi u autoindustriju, gdje se koriste za pogon hibridnih vozila gdje se na tisuće njih spaja u baterijske pakete. Primjerice u električnom automobilu Tesla S koristi se više od 7000 baterijskih ćelija. Li-ion 18650 baterije su toliko popularne zbog svojih prednosti: velike specifične energije, niske cijene i dugog životnog vijeka [2].

Zadatak ovog diplomskog rada je pokazati neke od prednosti Li-ion baterija kroz provođenje testiranja karakteristika odabranih baterija.

U drugom poglavlju rada je dan pregled literature iz područja povezanih s temom rada. Treće poglavlje daje osnovni pregled parametara baterije. Opisani su dijelovi Li-ion baterije i objašnjene kemijske reakcije koje se događaju pri punjenju i pražnjenju. U četvrtom poglavlju opisan je uređaj za punjenje i pražnjenje baterija te su dane upute za povezivanje uređaja s računalom. U petom poglavlju su prikazani i objašnjeni rezultati mjerenja za punjenje i pražnjenje odabranih Li-ion baterija.

2. PREGLED PODRUČJA TEME

I. Buchmann i znanstvenici Cadex Electronicsa u radu [3] su testirali 18650 Li-ion baterije te došli do spoznaje da baterije testirane u laboratoriju pružaju bolje rezultate nego one korištene u svakodnevnoj upotrebi jer se elementi stresa za baterije ne prenose uvijek dobro u laboratorijskom testiranju.

W. Chang u članku [4] objašnjava složenost metoda procjene *SoC* (engl. State of charge). Točna procjena *SoC* je važna jer je to jedan od najvažnijih parametara baterije i opisane su metode kako bi se što bolje definirao *SoC*.

D. Linden u knjizi [5] pojašnjava materijale koji se koriste kao pozitivna elektroda u bateriji. Materijal mora imati dobru električnu vodljivost, imati sposobnost apsorpcije velike količine litija, visoku slobodnu energiju iz reakcije s litijem. Koriste se metalni oksidi koji imaju oktaedarsku atomsku strukturu. Takva struktura omogućuje litiju da se apsorbira u prostore strukture između kisika i metala. Najkorišteniji oksidi za pozitivnu elektrodu su litij kobalt oksid (LiCoO_2) i litij mangan oksid (LiMn_2O_4).

U radovima [6] i [7] su objašnjene kemijske reakcije oksidacije i redukcije koje se događaju pri punjenju i pražnjenju. Kod negativne elektrode apsorpcija litija znači punjenje, a otpuštanje iona pražnjenje, a kod pozitivne elektrode apsorpcija litija znači pražnjenje a otpuštanje znači punjenje.

V. Bagotsky i ostali znanstvenici u knjizi [2] opisuju dvije glavne faze punjenja baterije: Fazu punjenja konstantnom strujom, i fazu konstantnog napona koja se zove i faza zasićenja

J. Warner u knjizi [1] objašnjava da se smanjenjem dubine pražnjenja (*DoD*, engl. *Depth of Discharge*) sa 100 % na 80 % može povećati broj ciklusa pražnjenja s 500-1000 (za 100 %) na nekoliko tisuća ciklusa.

B. Dong i ostali u radu [8] su ispitali ponašanje temperature Li-ion 18650 baterija pri različitim uvjetima ciklusa punjenja i pražnjenja. Njihov rad je pokazao da se 18650 baterije ponašaju slično pri različitim uvjetima ciklusa punjenja i pražnjenja. Za vrijeme punjenja baterije se prvo zagriju do određene temperature zbog unutarnjeg otpora, te temperatura ostane stabilna. Zatim se u zadnjih 30 % vremena pražnjenja temperatura poveća za 5 ili 6 stupnjeva Celzijusa. U novom ciklusu se za

prvih 40 % vremena punjenja značajno smanji, te se opet podigne kod promjene ciklusa iz punjenja u pražnjenje.

3. LITIJ IONSKE BATERIJE

U poglavlju je objašnjeno što je baterija i objašnjena su osnovna svojstva baterija. U prvom podpoglavljju ukratko su navedeni osnovni parametri baterija, u drugom podpoglavljju je objašnjeno od čega se sastoji baterija i koji se materijali koriste za izradu dijelova baterije. Treće podpoglavlje opisuje kemijske procese koji se događaju u bateriji prilikom punjenja i pražnjenja baterije, a četvrto podpoglavlje ukratko opisuje pozitivna i negativna svojstva Li-ion baterija.

3.1. Osnovni parametri baterija

Ovo podpoglavlje prikazuje osnovne izraze koji se koriste za opisivanje baterija koje je potrebno poznavati kako bi se mogle ispitati karakteristike punjenja i pražnjenja baterija.

Baterija je uređaj namijenjen za elektrokemijsku pretvorbu energije iz kemijske reakcije reaktanata u električnu energiju [2].

Osnovna elektrokemijska jedinica koja djeluje kao izvor električne energije izravnom pretvorbom kemijske energije je članak, odnosno ćelija [9]. Baterija se može sastojati od jedne ili više ćelija spojenih serijski ili paralelno. Više baterija spaja se u pakete. Serijskim spajanjem više članaka povećava se napon, koji je jednak zbroju napona svakog članka a kapacitet ostaje nepromijenjen i jednak je kapacitetu jednog članka. Paralelnim spajanjem više članaka povećava se kapacitet tako što se zbraja kapacitet pojedinih članaka, a napon ostaje nepromijenjen [10]. Elektrokemijske ćelije se dijele na primarne koje se ne mogu puniti i sekundarne koje se mogu puniti.

Neke od bitnijih karakteristika baterija su:

- kapacitet,
- *C-faktor*,
- nominalni napon,
- minimalni napon pražnjenja,
- maksimalni napon punjenja,

- unutarnji otpor,
- specifična snaga,
- specifična energija,
- stanje napunjenosti baterije,
- dubina ispražnjenosti baterije.

Kapacitet je mjera za količinu energije u bateriji [1]. Količina energije koju sadrži elektrokemijski sustav ovisi o vrsti aktivnih materijala u ćeliji, koji određuju napon i količini aktivnih materijala, što određuje kapacitet u *Ah* [9]. Kapacitet predstavlja količinu *Ah* koja se može povući iz potpuno napunjene baterije pri određenim uvjetima pražnjenja [11]. Struja crpi kapacitet iz baterije dok je baterija sposobna opskrbljivati trošilo to jest sve dok napon ne padne do određene vrijednosti (minimalni dopušteni napon, engl. *Cut off voltage*) koja je određena za svaku ćeliju [1]. Primjerice, baterija koja ima kapacitet 1 *Ah* može davati struju pražnjenja jakosti 1 A u vremenu od 1 sat. Ako je kapacitet baterije 2 *Ah*, pri istoj struji pražnjenja vrijeme će se povećati na 2 sata.

C-faktor (engl. *C-rate*) se odnosi na brzinu kojom baterija može isprazniti sav svoj kapacitet. Govori koliko brzo se baterija može isprazniti, odnosno napuniti [1]. Faktor $1C$ označava brzinu kojom će baterija biti ispražnjena za 1 sat. Faktor $2C$ znači da će se baterija potpuno isprazniti za 30 minuta, a faktor $0,5C$ znači da će se baterija potpuno isprazniti za 2 sata. Povećanjem *C-faktora* vrijeme pražnjenja se smanjuje i obrnuto, smanjenjem *C-faktora* vrijeme pražnjenja se povećava. Iz kapaciteta i *C-faktora* računa se struja pražnjenja:

$$I = C_{faktor} \cdot C \quad (3-1)$$

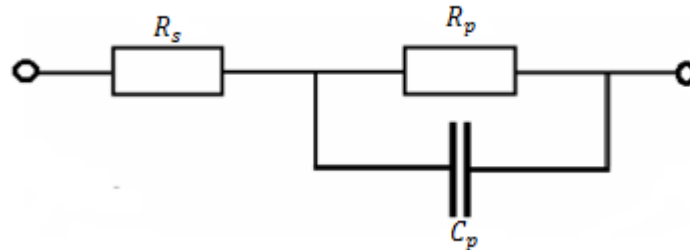
gdje je *I* struja pražnjenja, a *C* je kapacitet baterije. Iz ovog izraza se može izračunati i maksimalna struja pražnjenja.

Nominalni napon je karakteristični radni napon ili nazivni napon baterije [11].

Minimalni napon pražnjenja je propisani napon kod kojeg se pražnjenje baterije smatra potpunim (engl. *Cut-off voltage*) [11].

Maksimalni napon punjenja je propisani napon kod kojeg se punjenje baterije smatra potpunim [11].

Unutarnji otpor opire se prolasku struje kroz bateriju ili ćeliju. Sastoji se od otpora komponenti ćelije (elektrode, elektrolit, separator) [11]. Što je unutarnji otpor manji, to je struja iz baterije veća. Na slici 3.1. prikazan je ekvivalentni strujni krug ćelije.



Slika 3.1. Ekvivalentni strujni krug ćelije [6]

Elementi strujnog kruga su: serijski otpor R_s , polarizacijski otpor R_p i polarizacijska kapacitivnost C_p [12].

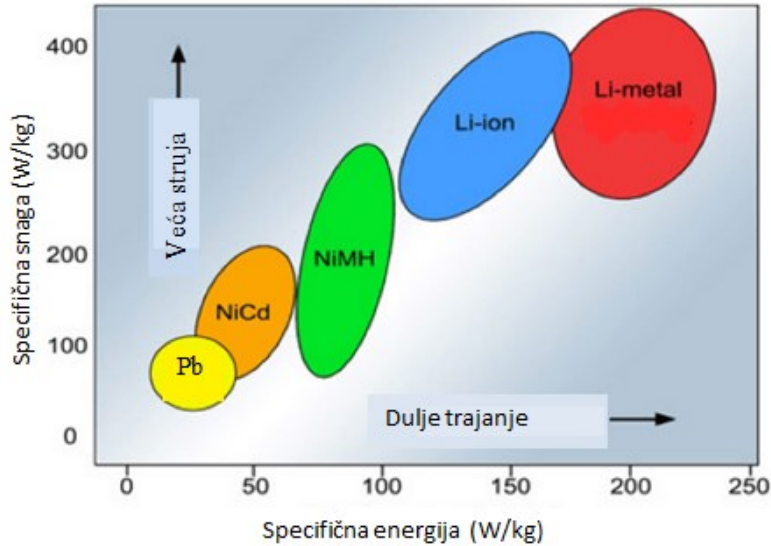
Specifična energija : Odnos izlazne energije ćelije ili baterije prema njezinoj težini (Wh/kg) [11].

$$E_{spec} = \frac{C_{naz} \cdot V_{naz}}{m} \quad (3-2)$$

gdje je: E_{spec} –specifična energija baterije ili ćelije, C_{naz} –nominalni kapacitet baterije, V_{naz} –nazivni napon baterije, a m –masa baterije.

Specifična snaga: Odnos snage ćelije ili baterije prema njezinoj težini (W/kg) [11].

Slika 3.2. prikazuje odnose specifične energije i specifične snage za različite tehnologije baterija:



Slika 3.2. Specifična snaga i specifična energija za različite tehnologije baterija [13]

Stanje napunjenosti baterije *SoC* (engl. State of Charge): *SoC* je jedan od najvažnijih parametara baterije, koji opisuje učinak baterija. Koristi se kod modeliranja zaštite od prepunjavanja. Točno određivanje *SoC*-a produžuje život baterije jer se može ostvariti kvalitetno korištenje baterije. Definira se kao omjer trenutnog kapaciteta i nominalnog kapaciteta. Nominalni kapacitet daje proizvođač i predstavlja maksimalnu količinu naboja koji može biti uskladišten u bateriji [4]:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \quad (3-3)$$

gdje je *SoC* stanje napunjenosti baterije, C_{bat} – trenutni kapacitet baterije, a C_{max} – maksimalni kapacitet baterije. Postoji više metoda procjene koje se klasificiraju prema metodologiji. Dijele se u četiri kategorije: Direktna mjerenja, procjena brojanjem, adaptivni sustavi i hibridne metode [4].

Dubina ispražnjenosti baterije *DoD*, (engl. Depth of Discharge): Postotak ispražnjenog kapaciteta baterije iskazan kao postotak maksimalnog kapaciteta baterije [14]:

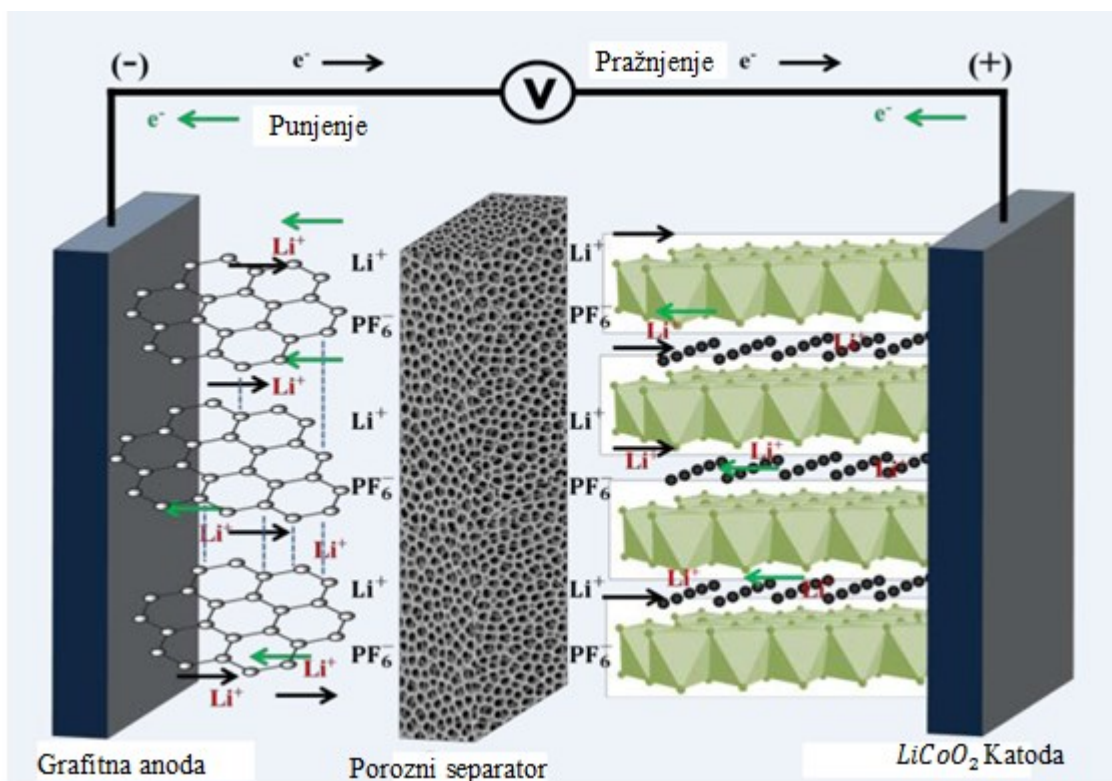
$$DoD = 100 \% - SoC \quad (3-4)$$

gdje je *DoD* – dubina ispražnjenosti baterije.

3.2. Građa Li-ion baterija

Litij je najlakši metal, ima najveći elektrokemijski potencijal i ima najveću specifičnu energiju, no aktivan je pa je potrebno biti pažljiv s izborom kompatibilnog elektrolita i članka općenito. Većina elektrolita su vodene otopine, osim u slučajevima izbjegavanja reakcije s anodom (primjerice u kombinaciji s anodom od litija koriste se rastaljene soli) [9]. Zbog nestabilnosti litija se koriste ioni litija.

Svaka Li-ion baterija sastoji se od četiri osnovne komponente: dvije elektrode, separator i elektrolit. Nazivi katoda i anoda su relativni, jer ovise o tome puni li se baterija ili prazni [6]. U slučaju punjenja negativna elektroda postaje katoda, a pozitivna elektroda. Na slici 3.3. prikazana je struktura Li-ion baterije i prikazan je smjer kretanja iona litija prilikom punjenja i pražnjenja baterije.



Slika 3.3. Struktura Li-ion baterije [15]

Pozitivna elektroda – katoda određuje kapacitet i napon Li-ion baterije. Građena je od metalnih oksida litija. Tanka aluminijska folija je na okviru katode, koja je presvučena spojem napravljenim od aktivnog materijala, vodljivog aditiva i veziva. Aktivni materijal sadrži litijeve ione. Što je veća količina litijevih iona, veći je kapacitet i viši napon [16]. Vodljivi aditiv je gotovo uvijek ugljični materijal koji povećava vodljivost, a vezivo su fluorirani polimeri koji pomažu pri smještanju na aluminij [2]. Metalni oksidi koji se koriste su dobiveni od kobalta, nikla, mangana, željeza i aluminijska [17].

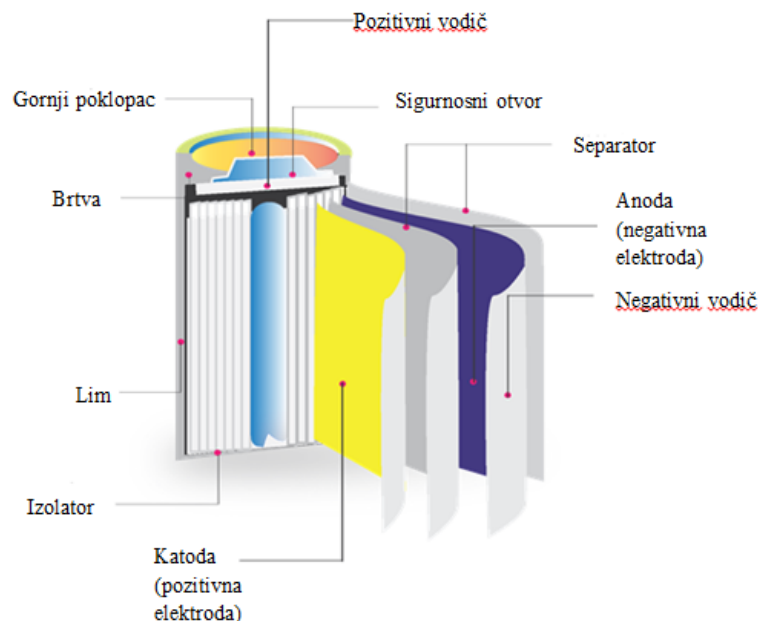
Negativna elektroda – anoda je presvučena aktivnim materijalom, vodljivim aditivom i vezivom. Aktivni materijal omogućuje protjecanje električne struje kroz vanjski strujni krug, dok također omogućava reverzibilnu apsorpciju ili emisiju iona litija otpuštenih s katode. Kada se baterija puni, na katodi se smještaju ioni litija. Kao materijal se koristi porozni ugljik, najčešće grafit jer ima stabilnu strukturu i može skladištiti litijeve ione [16].

Elektrolit – služi kao katalizator koji služi poboljšanju kretanja iona od katode do anode i obrnuto. Elektrolit se sastoji od soli, otapala koje otapaju soli i aditiva [16]. Aditivi se dodaju u elektrolit kako bi se produžio životni vijek baterije. Oni sudjeluju u stvaranju tankog filma na anodi koje se zove čvrsto sučelje elektrolita (engl. *SEI – solid electrolyte interface*). SEI sloj stabilizira sustav, sprječava interakciju litija i elektrolita i provodi ione litija [18]. Elektrolit je najčešće litijeva sol litij heksafluorofosfat, LiPF_6 , u organskom otapalu [6].

Separator – je membrana koja fizički i električki odvaja katodu od anode. Propušta samo pozitivne ione litija između elektroda, a sprječava elektrone [6]. Za izradu separatora se koriste polipropilen i polietilen.

Li-ion baterije se izrađuju u tri oblika: cilindrične, prizmatične i vrećaste [13].

U radu su ispitivane karakteristike cilindričnih baterija oznake 18650, koja znači da baterija ima dimenzije: 18 mm promjer i 65 mm duljinu. Cilindrične baterije imaju dobru sposobnost cikliranja, dug životni vijek i ne šire se za vrijeme punjenja i pražnjenja [13]. Baterije 18650 imaju visoku specifičnu energiju, primjerice baterija kapaciteta 3 Ah ima energiju 248 Ah/kg. Tipične primjene ovih baterija su u električnim alatima, prijenosnim računalima, električnim automobilima. Struktura cilindrične baterije prikazana je na slici 3.4.



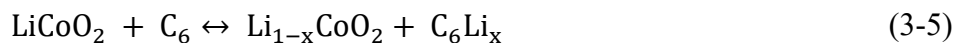
Slika 3.4. Struktura cilindrične baterije [16]

3.3. Pražnjenje i punjenje Li-ion baterija

Za vrijeme punjenja litij u pozitivnoj elektrodi se pozitivno ionizira (Li^+) i prolazi kroz elektrolit i separator do negativne elektrode. Ioni se "umeću" u grafitnu elektrodu. U ovoj reakciji na pozitivnoj elektrodi se događa oksidacija te ona postaje "anoda", a na negativnoj elektrodi se događa redukcija, te ona postaje "katoda". Prilikom oksidacije dolazi do otpuštanja elektrona iz pozitivne elektrode te se oni preko vanjskog kruga prebacuju na negativnu elektrodu [7].

Kod pražnjenja je u vanjski krug spojeno trošilo. Reakcija je suprotna od one kod punjenja. Oksidacija se događa na grafitnoj anodi, a redukcija na katodi najčešće od litij kobalt oksida (LiCoO_2). Litijevi ioni koji su smješteni na negativnoj elektrodi se oslobađaju i vraćaju na pozitivnu elektrodu katodu kroz elektrolit i separator i akumuliraju se na katodi. Elektroni oslobođeni u toj reakciji teku kroz vanjski krug i kroz trošilo i akumuliraju se u katodi. Trošilo uzima energiju nastalu od kretanja elektrona. Reakcija se događa sve dok koncentracija aktivnih tvari ne dođe ispod određenog praga i ne može se više održati [6].

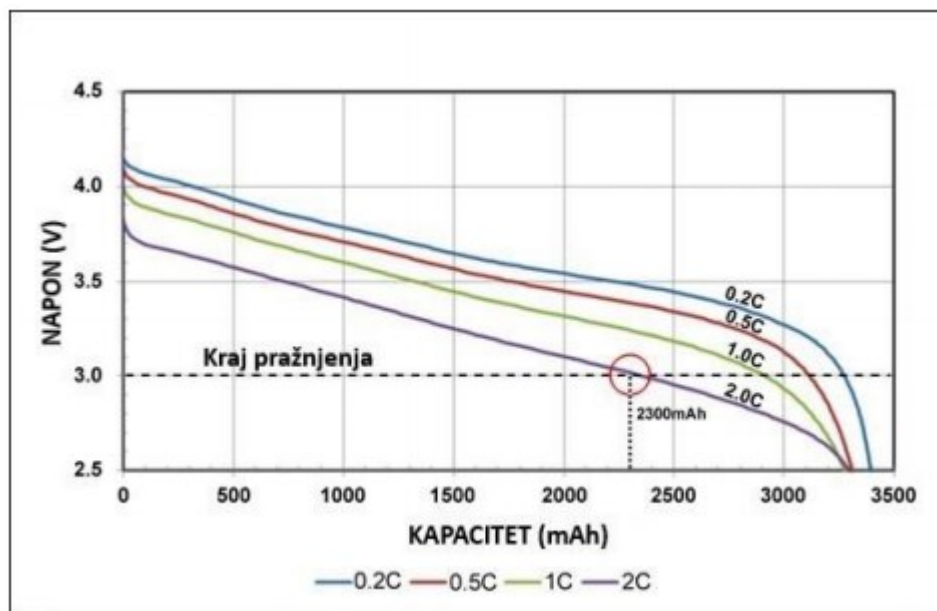
Reakcije punjenja i pražnjenja te smjer protjecanja elektrona i pozitivnih iona su prikazani na slici 3.3. Reakcija je povratna i može se zapisati na sljedeći način [7]:



gdje je LiCoO_2 Litij kobalt oksid, C_6 apsorbirani ugljik. 6 atoma ugljika i x iona litija se apsorbiraju [7].

Trajanje baterije je direktno povezano s intenzitetom i trajanjem nanesenog stresa, što se odnosi na punjenje, pražnjenje i iznos temperature [19].

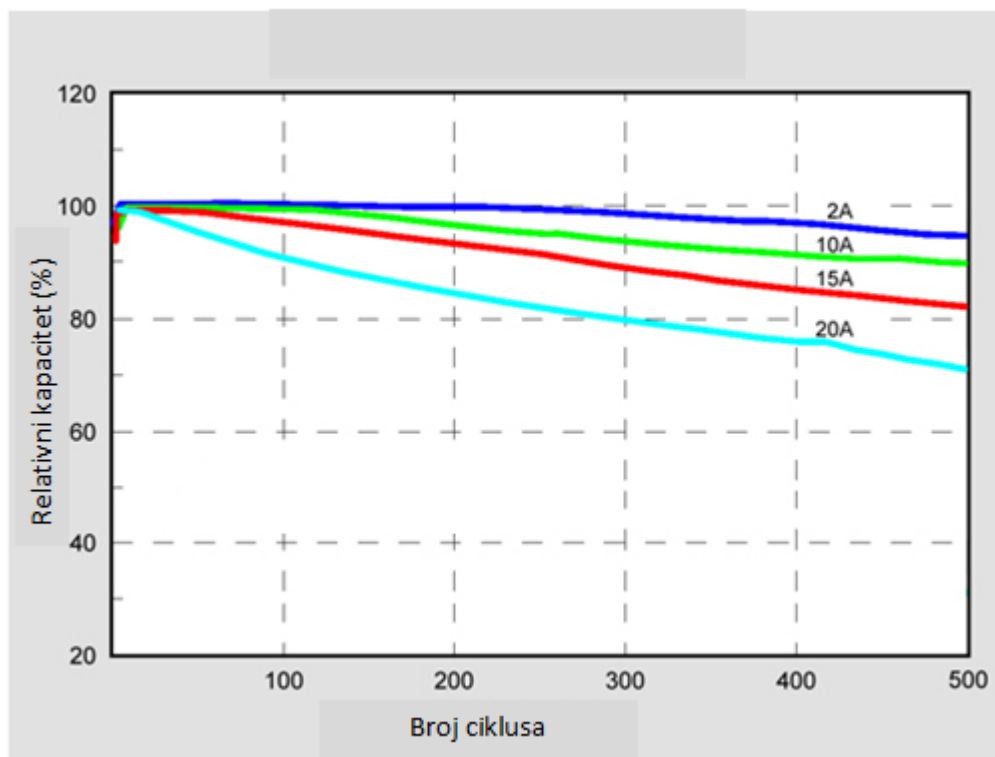
Napon pražnjenja Li-ion baterije ovisi o struji pražnjenja (C -faktor), dubini pražnjenja i temperaturi. Životni ciklus ovisi o načinima punjenja i pražnjenja, temperaturi, dubini punjenja i pražnjenja. Povećanje struje pražnjenja rezultirat će zanemarivim smanjenjem ukupnog kapaciteta, ali značajnim smanjenjem napona pražnjenja [2]. Kada se trošilo ukloni nakon pražnjenja baterije, napon se postupno podiže prema nominalnoj vrijednosti [19]. Na slici 3.5. prikazane su karakteristike pražnjenja Li-ion **Panasonic NCR18650B** baterije, čije su karakteristike ujedno ispitivane u ovom radu.



Slika 3.5. Karakteristika pražnjenja Li-ion baterije [20]

Baterija ima kapacitet 3200 mAh. Pri povećanoj struji pražnjenja od 2C, te pri naponu kraja pražnjenja baterija je proizvela 2300 mAh. Što znači da je baterija prikladna za trošila kojima je potrebna manja struja. Kapacitet ne ovisi mnogo o struji pražnjenja pri 1C i manje. Minimalni napon pražnjenja za Li-ion baterije kreće se od 2,5 V do 3 V [19].

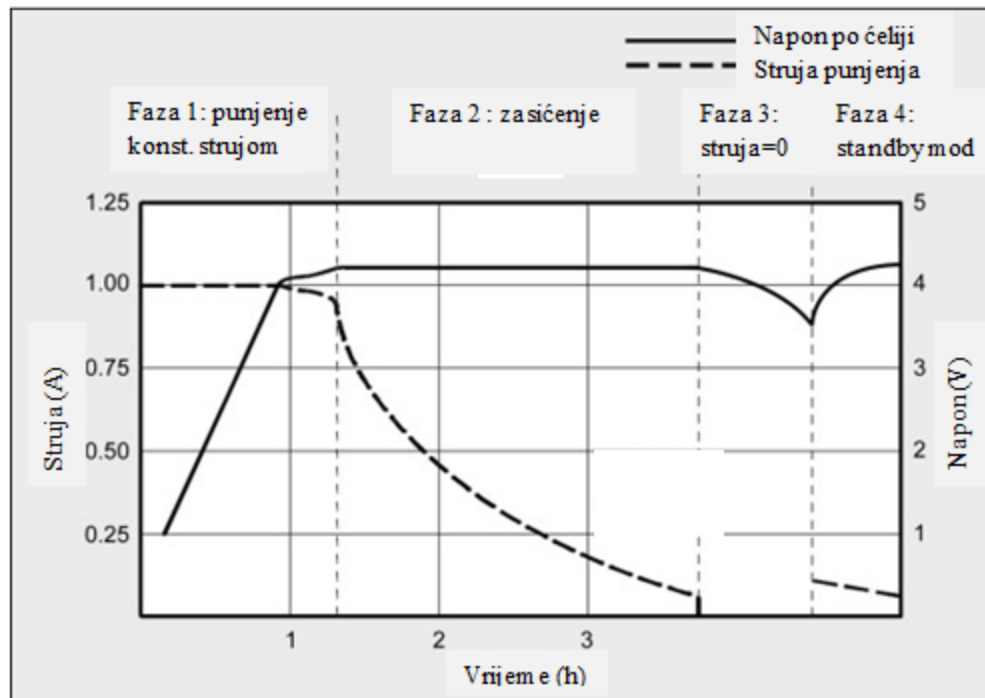
Opetovano duboko pražnjenje ima negativan utjecaj na životni vijek baterije jer se postupno reducira dostupni kapacitet baterije. Što su dublji ciklusi pražnjenja, više se kapaciteta gubi. Eksperimentalni pokusi provode se podvrgavanjem baterija ciklusima pražnjenja i punjenja jednakog *DoD*. Proces se ponavlja dok se koristan kapacitet baterije ne smanji ispod određenog postotka prvotnog kapaciteta, što je obično 80 %, nakon čega se smatra da je baterija dosegla kraj svog životnog vijeka [9]. Kontroliranjem *DoD* se produljuje vijek trajanja baterije. Primjerice, koristeći 100 % *DoD* baterija postiže životni vijek od 500 do 1000 ciklusa. Ako se smanji *DoD* na 80 %, životni vijek se produljuje na nekoliko tisuća ciklusa [1]. To znači da je samo 80 % energije dostupno, a ostalih 20 % ostaje u rezervi. Sve baterije moraju imati određeni dio rezervnog kapaciteta koji će pokriti potrošnju pri najgorim scenarijima [13]. Na slici 3.6. prikazana je ovisnost broja ciklusa pražnjenja baterije i kapaciteta o struji pražnjenja.



Slika 3.6. Ovisnost kapaciteta i broja ciklusa o struji pražnjenja

Pri punjenju Li-ion baterija postoje dvije glavne faze punjenja: Faza konstantne struje dok napon baterije ne dosegne određeni limit, i faza konstantnog napona u kojem se struja konstantno smanjuje

kako SoC raste [2]. Slika 3.7. prikazuje ponašanje struje i napona pri fazama punjenja. Na slici su dodane još dvije faze koje se pojavljuju nakon završetka procesa punjenja.



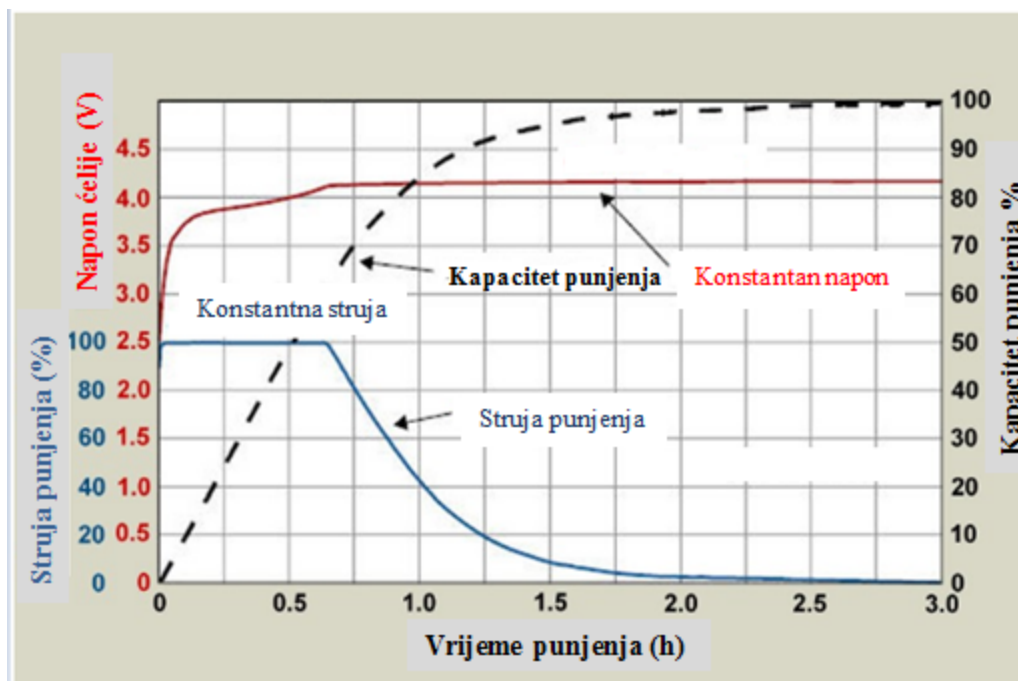
Slika 3.7. Faze punjenja Li-ion baterije [21]

U prvoj fazi struja punjenja je između $0,5C$ i $1C$. U prvim trenucima kada se baterija spoji na punjač, napon prvo skoči, a zatim se podiže pri konstantnoj struji do napona $4,10$ V/ćeliji ili $4,20$ V/ćeliji. Preporučena struja punjenja je maksimalno do $0,8C$. Ova faza traje dok napon ne dosegne $4,2$ V. U ovoj fazi baterija se napuni otprilike 70% do 80% [21].

Druga faza se zove faza konstantnog napona ili faza zasićenja. Ova faza traje puno duže nego faza konstantne struje. Napon je dosegnuo maksimalnu vrijednost i ostaje konstantan, a struja se počinje smanjivati kako ne bi došlo do prepunjavanja baterije. Li-ion baterije ne podnose dobro prepunjavanje. Struja se postupno smanjuje do minimalne struje punjenja, odnosno dok ne dosegne zanemarivu vrijednost, najčešće ne manju od 3% nazivne struje [21]. U tom trenutku punjenje se prekida i napon počinje padati. Napon otvorenog kruga će se ustabiliti između vrijednosti $3,7$ V i $3,9$ V/ćeliji. Tada je baterija potpuno napunjena [21].

Faza 3 i faza 4 sa slike 3.7. se aktiviraju kod nekih punjača ako se baterija neće koristiti i ostane priključena na punjač. To se zove skladištenje baterije. Tada punjač nakratko podiže napon kako bi

se kompenziralo samopražnjenje i napon ostao konstantan. Vrijednost napona može se podesiti. Ako je napon ćelije niži od postavljene vrijednosti punjač se aktivira i puni bateriju do postavljenog napona. Najčešće se aktivira kada napon padne na 4 V/ćeliji [20]. Ako napon prekorači vrijednost, punjač će prazniti bateriju [21]. Punjenje Li-ion baterija traje do tri sata. Učinkovitost punjenja doseže 99 %. Li-ion baterija se ne mora nužno napuniti do kraja, štoviše, bolje ju je ne puniti do kraja zato što visoki napon predstavlja stres za bateriju [21]. Na slici 3.8. prikazano je ponašanje napona, struje i kapaciteta pri punjenju Li-ion baterije.



Slika 3.8. Karakteristika punjenja Li-ion baterije pri 1C [21]

Kod cikličkog punjenja i pražnjenja dolazi do promjena temperature ćelije. Baterija se kod punjenja zagrije do određene temperature zbog unutarnjeg otpora i zatim ostane stabilna jer zagrijavanje i disipacija postižu ravnotežu tijekom punjenja (faza zasićenja). Temperatura zatim pada pri promjeni iz punjenja u pražnjenje. Pri kraju pražnjenja (zadnjih 30 % vremena) dolazi do značajnog rasta temperature od pet ili više stupnjeva Celzijusa. Razlog tome može biti smanjenje koncentracije litijevih iona blizu površine anode i promjena volumena grafitne anode. Za držanje struje pražnjenja konstantnom potrebno je više "snage" injektirati u anodu da bi se litijevi ioni istisnuli van. Također relativno velika promjena volumena grafitne strukture dovodi do povećanja otpora anode. Zatim u novom ciklusu temperatura značajno padne na početku punjenja (prvih 40 % vremena).

Koncentracija litijevih iona na katodi je velika, a promjena volumena katode je vrlo mala pa nema velikog otpora. Povećanjem broja ciklusa povećava se i temperaturna razlika. Povećanje stope zagrijavanja dokazuje poboljšanje ionske provodljivosti i ukazuje na razvijanje unutarnje impedancije [8].

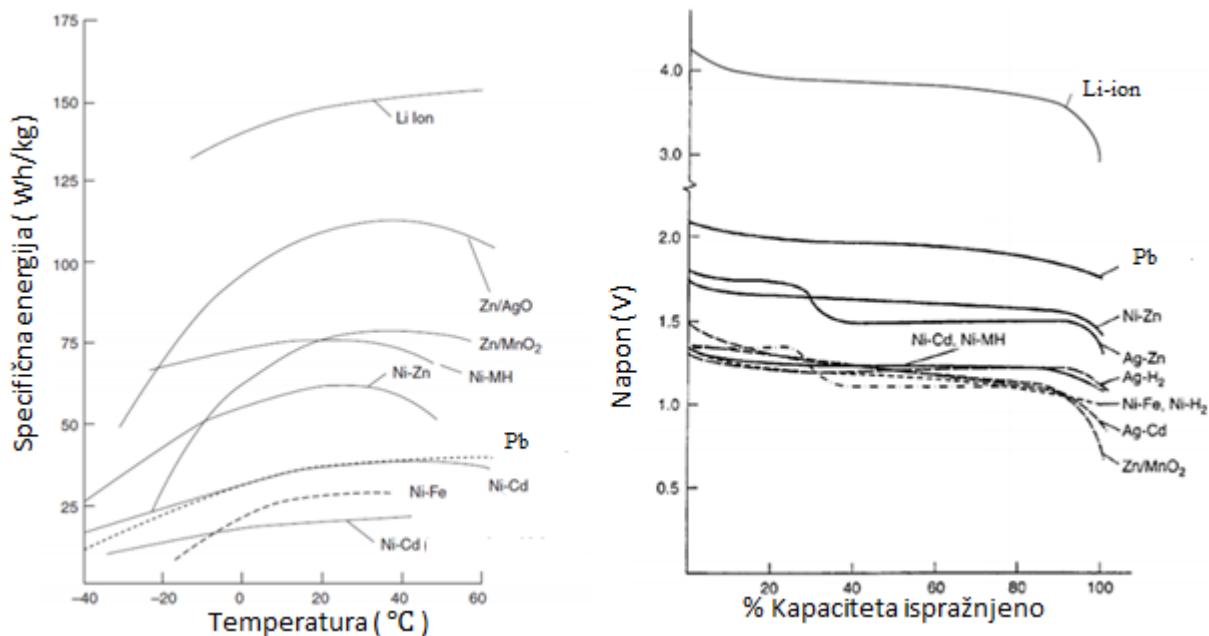
3.4. Svojstva Li-ion baterija

Ovo podpoglavlje opisuje osnovna svojstva Li-ion baterija. Prikazani su rasponi osnovnih parametara i neke prednosti i mane Li-ion baterija. Tablica 3.1. prikazuje neka od općenitih svojstava i parametara Li-ion baterija.

Tablica 3.1. Svojstva Li-ion baterija [5]

| Svojstvo | Iznos |
|--|--------------------|
| Nizak raspon samopražnjenja | 2–8 % mjesečno |
| Visoka specifična energija | Do 240 Wh/kg |
| Visoka energetska gustoća | Do 640 Wh/L |
| Dug životni vijek | Preko 1000 ciklusa |
| Širok temperaturni raspon punjenja | 0 °C–45 °C |
| Širok temperaturni raspon pražnjenja | –40 °C–65 °C |
| Viši napon ćelije od ostalih tipova baterija | 2,5 –4,3 V |
| Visoka struja pražnjenja | 30C |

Naspram ostalih punjivih baterija Li-ion baterije imaju dvostruko veću energiju uz manje dimenzije. Nemaju efekt pamćenja, što znači da ne gube maksimalnu energiju zbog ponovnog punjenja nakon što su djelomično ispražnjene. Imaju sposobnost brzog punjenja. Ne zahtijevaju održavanje [11]. Na slici 3.9.–lijevo su prikazane karakteristike ovisnosti specifične energije o temperaturi za razne tehnologije baterija a na slici 3.9.–desno su prikazane karakteristike pražnjenja za razne tehnologije baterija. Obje slike pokazuju kako su Li-ion baterije superiornije u odnosu na ostale.



Slika 3.9.—**lijevo:** Ovisnost specifične energije o temperaturi za različite tehnologije baterija [9]
—desno: Karakteristike pražnjenja kapaciteta za različite tehnologije baterija [9]

Li-ion baterije osjetljive su na prepunjavanje i pretjerano pražnjenje. Povećanjem napona baterije iznad 4,3 V baterija postaje nestabilna. U bateriji raste pritisak jer se oslobađa CO₂. Ako se punjenje nastavi, baterija će se napuhati, te će sigurnosna membrana prsnuti i zapaliti se. Baterija se zapali zbog povećanja temperature koje uzrokuje termalni pobjeg (engl. *thermal runaway*) [21]. Prepunjavanje i pretjerano pražnjenje uzrokuje smanjenje kapaciteta baterije [11]. Za sprječavanje prepunjavanja i pretjeranog pražnjenja koriste se elektronički uređaji.

Samopražnjenje—povećava se starenjem, povećanjem *SoC*, visokim brojem ciklusa i povišenom temperaturom [22]. Samopražnjenje se udvostručuje povećanjem temperature svakih 10 °C.

Što je radna temperatura ćelije dalje od optimalnog raspona, degradacija kapaciteta je sve veća, odnosno životni vijek je sve kraći. Ova degradacija kapaciteta ćelije je djelomično povratna (niska radna temperatura pri normalnom pražnjenju nema trajnog utjecaja na degradaciju kapaciteta) i djelomično nepovratna (visoka radna temperatura može imati trajan utjecaj na degradaciju kapaciteta, čak i pri normalnom pražnjenju). Porast temperature ćelije se može događati zbog unutarnjeg otpora [23].

Kapacitet koji se izgubi skladištenjem dijeli se na dva tipa: trajni i reverzibilni. Reverzibilni kapacitet se izgubi tijekom skladištenja i može se ponovno vratiti punjenjem. Trajni se više ne može vratiti.

4. TESTIRANJE ODABRANIH 18650 LI-ION BATERIJA POMOĆU JUNSI UREĐAJA

U poglavlju je opisan postav za testiranje baterija. U prvom podpoglavljju opisani su osnovni podaci testiranih baterija. Opisan je način spajanja opreme i kako je provedeno testiranje. U drugom podpoglavljju su dane upute za rad s uređajem Jungsi, a u trećem podpoglavljju upute za rad u programu *LogView*.

4.1. Opis postava za testiranje

Za testiranje karakteristika Li-ion baterija odabrane su tri baterije Li-ion tip 18650. Osnovni tehnički podaci odabranih baterija su prikazani u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Osnovni tehnički podaci baterija

| Baterija | LG 18650HG2 | Panasonic NCR18650B | Sony US18650VTC5 |
|----------------------------------|-------------|---------------------|------------------|
| Nazivni kapacitet [mAh] | 3000 | 3250 | 2500 |
| Nazivni napon [V] | 3,6 | 3,6 | 3,6 |
| Vršni napon punjenja [V] | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| Maksimalna struja punjenja [A] | 4 | 1,625 | 2,5 |
| Nazivna struja punjenja [A] | 1,5 | 1,625 | 2,5 |
| Nazivna struja pražnjenja [A] | 0,6 | 0,65 | 2,5 |
| Donji napon pražnjenja [V] | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Maksimalna struja pražnjenja [A] | 20 | 6,5 | 20 |
| Specifična energija [Wh/kg] | 240 | 243 | 203,16 |
| Gustoća energije [Wh/l] | 3000 | 676 | 534 |

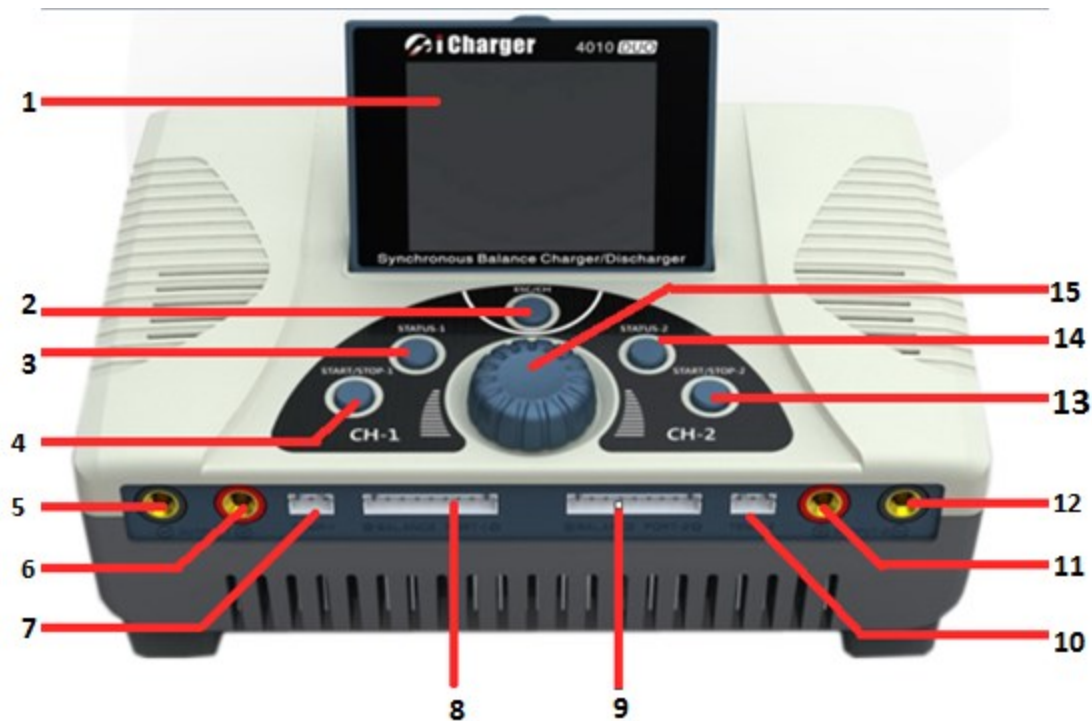
Podatkovne tablice s ostalim specifikacijama baterija dane su u prilogima 1–3. Na slici 4.1. prikazane su testirane baterije.



Slika 4.1. Izgled testiranih baterija

Karakteristike baterija su testirane pri punjenju i pražnjenju te pri cikličkom radu. Pri punjenju i pražnjenju baterija, parametri su postavljeni na nominalne vrijednosti prema podatkovnim tablicama. Kod cikličkog načina rada, parametri su postavljeni na maksimalne vrijednosti.

Testiranje se vršilo pomoću punjača/pražnjača baterija *Junsi iCharger 4010 Duo*. Za mjerenje podataka korišten je program *LogView*. Mjerali su se podaci za napon, struju, kapacitet i snagu. Detaljne specifikacije i upute za korištenje punjača/pražnjača nalaze se na linku u literaturi [24]. Uređaj je prikazan na slici 4.2.



Slika 4.2. Punjač/praznjač Junsji 4010 Duo [25]

U tablici 4.2. imenovani su označeni dijelovi sa slike 4.2.

Tablica 4.2. Dijelovi uređaja Junsji [24]

| | |
|---|-----------------------------|
| 1 | Ime |
| 2 | LCD ekran |
| 3 | Tipka TAB/SYS |
| 4 | Tipka STATUS1 |
| 5 | Tipka STOP/START |
| 6 | Izlaz-1 – |
| 7 | Izlaz-1 + |
| 8 | Utor za temperaturni senzor |

| | |
|----|----------------------------------|
| 9 | Utor za konektor za balansiranje |
| 10 | Utor za konektor za balansiranje |
| 11 | Utor za temperaturni senzor |
| 12 | Izlaz-2 + |
| 13 | Izlaz-2 - |
| 14 | Tipka STOP/START 2 |
| 15 | Tipka STATUS 2 |
| 16 | Kotačić za podešavanje |

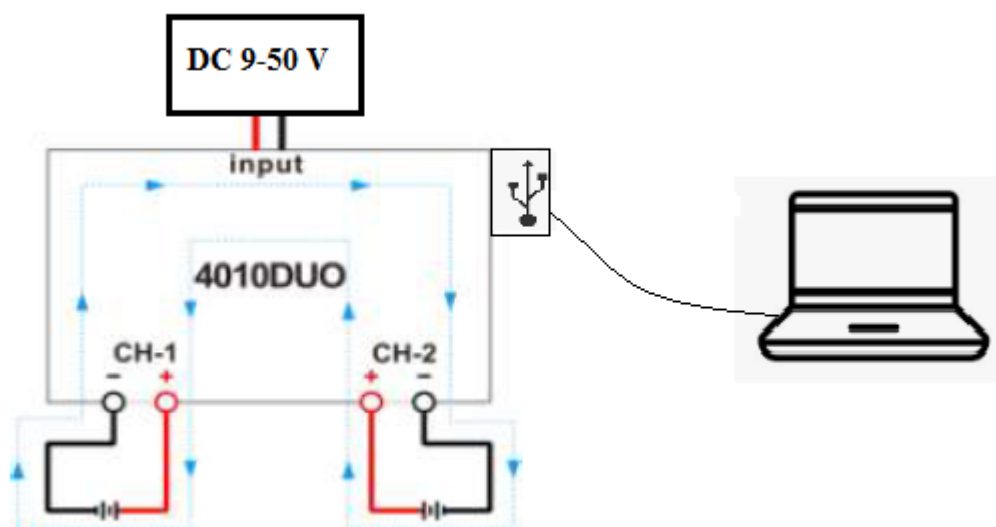
U tablici 4.3. opisane su funkcijske tipke uređaja Junsi:

Tablica 4.3. Funkcije tipki uređaja Junsi [24]

| Ime tipke | Funkcija tipke |
|------------------------|---|
| Kotačić za upravljanje | Pritisak: potvrđivanje Zakretanje u lijevo: pomicanje prema gore Zakretanje u desno: pomicanje prema dolje |
| Tipka TAB/SYS | Pritiskom se prebacuje iz jednog prozora u drugi |
| STATUS-1 | Dugi pritisak : mjeri unutarnji otpor na kanalu 1 (CH-1)(moguće kod programa balansiranja). Ako je program uključen, dugim pritiskom se otvaraju parametri sučelja Kratki pritisak: prebacuje stranice informacijskog ekrana |
| STATUS-2 | Dugi pritisak : mjeri unutarnji otpor na kanalu 2 (CH-2)(moguće kod programa balansiranja). Ako je program uključen, dugim pritiskom se otvaraju parametri |

| | |
|--------------|---|
| | <p>sučelja.</p> <p>Kratki pritisak: prebacuje stranice informacijskog ekrana</p> |
| STOP/START-1 | <p>Kratki pritisak: otvara se izbornik za odabir programa za kanal 1. Kada program radi prvi pritisak zaustavlja program, drugi pritisak vraća na početno sučelje.</p> <p>Dugi pritisak: Otvaraju se postavke zadnjeg pokretanog programa</p> |
| STOP/START-2 | <p>Kratki pritisak: otvara se izbornik za odabir programa za kanal 2. Kada program radi prvi pritisak zaustavlja program, drugi pritisak vraća na početno sučelje.</p> <p>Dugi pritisak: Otvaraju se postavke zadnjeg pokretanog programa</p> |

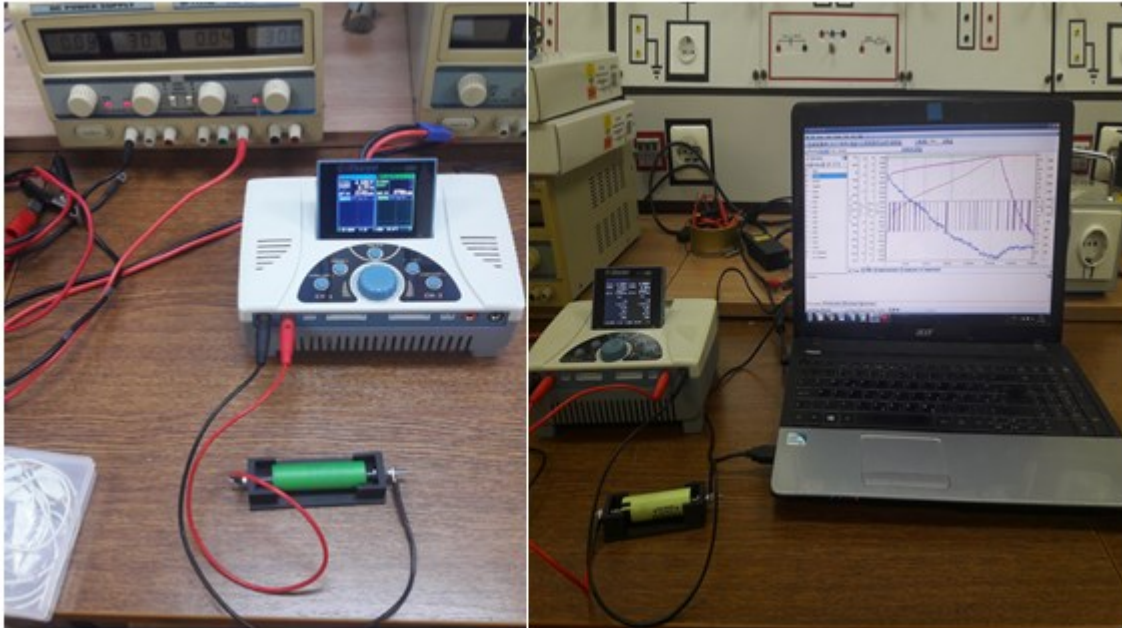
Na slikama 4.3. i 4.4. su prikazani načini spajanja s istosmjernim izvorom i s računalom:



Slika 4.3. Blokovski prikaz spajanja uređaja [24]

- Punjač/ pražnjač se spoji na istosmjerni izvor napajanja. Izvor se postavi na paralelni rad kako bi se mogla dobiti veća struja. Na izvoru se narine ulazni napon. Pri ovom testiranju je narinut napon 30 V.

- Na svaki kanal (CH-1 i CH-2, oznake 5, 6, 11, 12; Slika 4.2.; Tablica 4.2.) spoji se po jedan držač baterije. U držače se umetnu baterije pri tome pazeći na polaritete (crveno +, crno -). U slučaju da se baterija spoji na suprotne polaritete, na ekranu punjača će se prikazati obavijest i punjač se oglasi zvučnim signalom.
- Punjač se spoji na računalo USB kabelom.
- Za pojedini kanal unijeti parametre baterije.



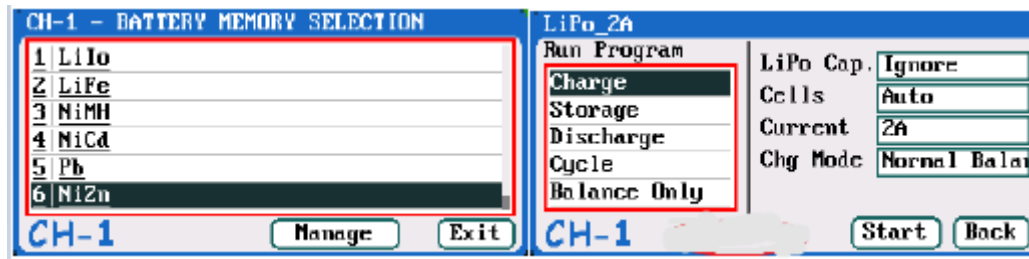
Slika 4.4. Način spajanja uređaja

4.2. Izvođenje testiranja

Punjač/ pražnjač se sastoji od ekrana, 5 funkcijskih tipki, središnjeg kotačića za upravljanje te utora za dva neovisna kanala, utora za balansiranje i utora za senzor temperature. Uređaj također ima utore za SD karticu te USB priključak za snimanje mjerenih podataka.

Unošenje parametara je jednostavno. Tipkama START/STOP-1 i START-STOP-2 (oznake 5 i 14; Tablica 4.2.; Slika 4.2.) se odabere kanal na kojemu se želi pokrenuti radnja. Na ekranu se pojavi padajući izbornik s ponuđenim tehnologijama baterija (Slika 4.5.–lijevo) Popis tehnologija dan je u tablici 4.4. Okretanjem kotačića (slika 4.2.; oznaka 15) u desno pomiče se dolje, a okretanjem u lijevo gore u izbornicima. Odabire se potrebna baterija. Otvore se dva padajuća izbornika, lijevi za

izbor programa a desni za postavljanje parametara (Slika 4.5.–desno). Programi su navedeni i objašnjeni u tablici 4.5. Iz jednog izbornika u drugi se prelazi pritiskom na tipku TAB/SYS, (Slika 4.2.–oznaka 2) te se zakretanjem kotačića pokazivač dovede na određeni parametar. Parametar se odabire pritiskom na kotačić (oznaka 15; Tablica 4.2.), podešava se rotiranjem kotačića i zatim ponovnim pritiskom potvrđuje podešavanje. Na slici 4.5. Nalaze se izbornici za objašnjene korake.



Slika 4.5. Padajući izbornici na zaslonu [24]

Tablica 4.4. Oznake tehnologija baterija na padajućem izborniku

| Oznaka u izborniku | Ime tehnologije |
|--------------------|-----------------------------|
| LiIo | Litij-ionska baterija |
| LiFe | Litij-željezo baterija |
| NiMH | Nikal-metal hidrid baterija |
| NiCd | Nikal-kadmij baterija |
| Pb | Olovna baterija |
| NiZn | Nikal-cink baterija |
| LiPo | Litij-polimer baterija |

Tehnologija baterije se odabire ovisno o tome koja baterija se testira. U ovom radu su testirane samo Li-ion baterije.

Tablica 4.5. Programi uređaja Jungsi

| Program | Opis |
|--------------|-----------------------|
| Charge | Punjenje baterija |
| Discharge | Pražnjenje baterija |
| Cycle | Ciklički način rada |
| Balance only | Balansiranje baterija |
| Storage | Skladištenje baterija |

Pražnjenje (*Discharge*)

Proces pražnjenja baterija je objašnjen u poglavlju 3.3. U programu pražnjenja uređaj Jungsi se ponaša kao trošilo. Baterija se prazni i kapacitet joj se smanjuje.

Kod pražnjenja se nakon odabira *Lilo* baterije, odabere *Discharge* i unose sljedeći parametri:

- *Lilo Cap.* je kapacitet baterije, najjednostavnije je ostaviti ovaj parametar na automatskim postavkama.
- *Cells* je broj ćelija. Ako je samo jedna ćelija, ovaj parametar se ostavi na automatskim postavkama. Punjač prepoznaje broj ćelija.
- *Current* je struja pražnjenja. Može se podešavati u rasponu od 0,05 A–40 A.
- *Dchg Volt* je skraćeno od Discharge voltage što znači napon pražnjenja. To je parametar minimalnog napona pražnjenja (cutoff voltage) pri kojem će se pražnjenje prekinuti.
- Nakon unosa parametara pokazivač se kotačićem za upravljanje (Slika 4.2.–oznaka 15) dovede do *Start* (slika 4.5.–desno) i pokrene se pražnjenje.

Punjenje (*Charge*)

Proces punjenja baterija je objašnjen u poglavlju 3.3. Punjenjem baterije se povećava kapacitet baterije. Odabirom programa *Charge* mogu se unijeti sljedeći parametri:

- Parametri *Lilo Cap.* i *Cells* se podešavaju kao pri postupku pražnjenja.
- *Chg Mode* je način punjenja. Može se odabrati pet načina: *Slow Balance*–sporo balansiranje, *Normal Balance*–Normalno balansiranje(zadana postavka), *Fast Balance*–brzo balansiranje,

User Balance—korisničko balansiranje, i *Not Balance*—bez balansiranja. Preporuka je ostaviti ovaj parametar na zadanom.

- *Current* je struja punjenja. Može se podesiti od 0,05 A–40 A
- Nakon unosa parametara pokazivač se kotačićem za upravljanje (Slika 4.2.–oznaka 15) dovede do *Start* (slika 4.5.–desno) i pokrene se punjenje.

Ciklički način rada (*Cycle*)

Ciklički način rada predstavlja konstantno punjenje i pražnjenje baterije u više ciklusa. Jedan ciklus se sastoji od tri dijela: Punjenje (*Charge*), Čekanje (*Delay*)—to je vremenska odgoda između dva dijela programa u kojem baterija miruje, i Pražnjenje (*Discharge*). Parametri koji se unose su:

- Parametri *LiIo Cap. i Cells* se podešavaju kao pri postupku pražnjenja.
- *Cycle mode* je način odvijanja ciklusa, postavlja se kojim redoslijedom će ciklus ići. Postoji šest načina ciklusa:

CHG→*DCHG* – ciklus Punjenje→Pražnjenje (*Charge–Discharge*),

DCHG→*CHG* – pražnjenje→punjenje,

DCHG→*CHG*→*DCHG* – Pražnjenje→Punjenje→Pražnjenje,

CHG→*DCHG*→*CHG* – Punjenje→Pražnjenje→Punjenje,

CHG→*DCHG*→*STO* – Punjenje→Pražnjenje→Skladištenje,

DCHG→*CHG*→*STO* – Pražnjenje → punjenje → Skladištenje

- *Cycle Count* je broj ciklusa, može biti od 1 do 99.
- *Delay Time* je vrijeme odgode između programa. Može se postaviti od 0 minuta do 9999 minuta
- Nakon unosa parametara pokazivač se kotačićem za upravljanje (Slika 4.2.–oznaka 15) dovede do *Start* (slika 4.5.–desno) i pokrene se punjenje.

Skladištenje (*Storage*)

Skladištenje je držanje neopterećene baterije na punjaču. Postupak skladištenja je opisan u poglavlju 3.3. U ovom programu se unose dva parametra:

- *Storage Cell Voltage* je napon skladištenja ćelije. Može se podesiti od 3,7 V/ćeliji do 3.9 V/ćeliji.
- *Storage Compensation* je skladišna kompenzacija odnosno pad napona nakon kojeg se vrši kompenzacija. Može se podesiti od 0 V/ćeliji do 0,2 V/ćeliji

Balansiranje (*Balance only*)

Balansiranje služi za izjednačavanje razlike napona između ćelija. Kada se u niz spoje baterije različitih napona i kapaciteta moraju se balansirati kako se ne bi preopteretila baterija koja ima najmanji napon. Kod balansiranja se usporava punjenje baterije s najvećim naponom, a ubrzava punjenje baterija s manjim naponom. Balansiranje se samo obavlja prilikom punjenja više ćelija jer je tako podešeno u postavkama. *Balance only* program služi samo za izjednačavanje napona pojedinih ćelija smanjivanjem razlike napona među ćelijama.

Kada se program pokrene, na ekranu se može pratiti tijek rada programa. Slika 4.6. prikazuje izgled LCD ekrana prilikom rada programa.



Slika 4.6. Izgled ekrana tijekom rada

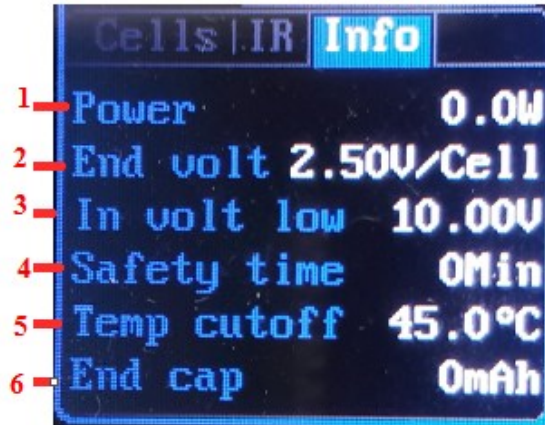
U tablici 4.6. su opisane prikazane oznake sa slike 4.6.

Tablica 4.6. Informacije prikazane na ekranu [24]

| Oznaka | Naziv | Opis |
|--------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 | Running program name | Program koji se obavlja |
| 2 | Battery type | Tip baterije |
| 3 | Running channel status | Status kanala |
| 4 | Running program time | Trajanje programa |
| 5 | Multipage information | Višestranični zaslon |
| 6 | Charging voltage | Napon punjenja/praznjenja |
| 7 | Charging current | Struja punjenja/praznjenja |
| 8 | Charging capacity | Kapacitet punjenja/praznjenja |
| 9 | Input power source type | Tip ulazne struje |
| 10 | Input voltage | Ulazni napon |
| 11 | Input current | Ulazna struja |
| 12 | Input capacity | Ulazni kapacitet |
| 13 | Internal temperature | Unutarnja temperatura |
| 14 | Fan status | Status hladnjaka |
| 15 | SD card status | Status sd kartice |
| 16 | USB status | USB status |

Pod oznakom 5 u tablici 4.6. je zaslon više stranica (engl. Multipage information displays). Stranice se mijenjaju pritiskom na tipku *STATUS* (Tablica 4.3.). Postoje 4 stranice koje se mogu mijenjati pomoću tipke *STATUS*: Stranica informacije o unutarnjem otporu koja prikazuje unutarnje otpore ćelija ako ih je spojeno više na punjač, stranica informacija o naponu ćelija ako ih je spojeno više, stranica statusa cikličkog načina rada koja prikazuje broj ciklusa i informacijska stranica.

Informacijska stranica je prikazana je na slici 4.7. Oznake su objašnjene u tablici 4.7.

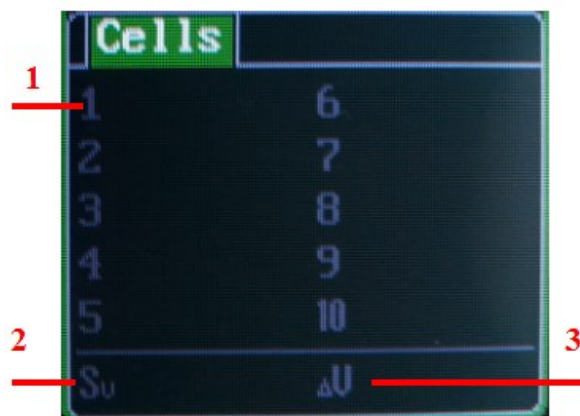


Slika 4.7. Informacijska stranica

Tablica 4.7. Oznake slike 4.7. [24]

| Oznaka | Ime | Opis |
|--------|-------------|------------------------|
| 1 | Power | Snaga |
| 2 | End voltage | Krajnji napon |
| 3 | In volt low | Minimalni ulazni napon |
| 4 | Safety time | Vrijeme sigurnosti |
| 5 | Temp cutoff | Temperatura prekida |
| 6 | End cap | Krajnji kapacitet |

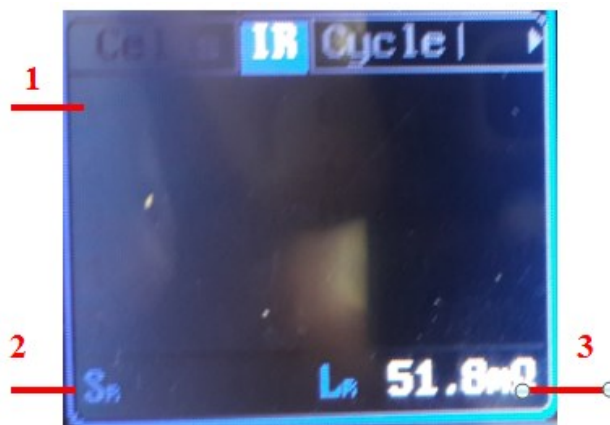
Stranica informacija o naponu ćelija (*Cells voltage information*) je prikazana na slici 4.8.



Slika 4.8. Stranica informacija o naponu

Broj 1 označava napon ćelija (*Cells voltage*), broj 2 označava sumu napona ćelija (*cells voltage sum*), broj 3 označava maksimalnu razliku napona ćelija.

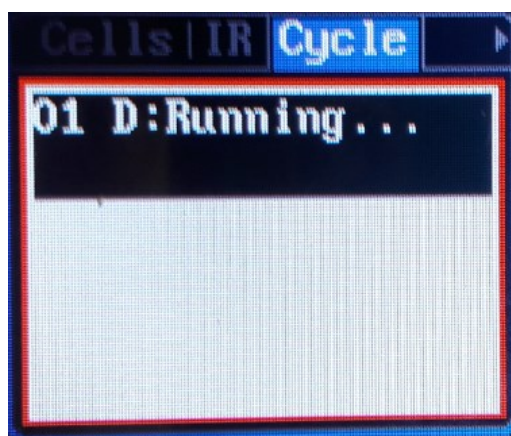
Stranica informacije o unutarnjem otporu (*IR information*) prikazana je na slici 4.9.



Slika 4.9. Stranica informacija o unutarnjem otporu

Broj 1 označava unutarnji otpor ćelije (*cell internal resistance*), broj 2 unutarnji otpor paketa (*pack internal resistance*) i broj 3 označava linijski otpor (*line resistance*).

Stranica statusa cikličkog načina rada (*Cycle charge status*) je prikazana na slici 4.10. i prikazuje status cikličkog načina rada.



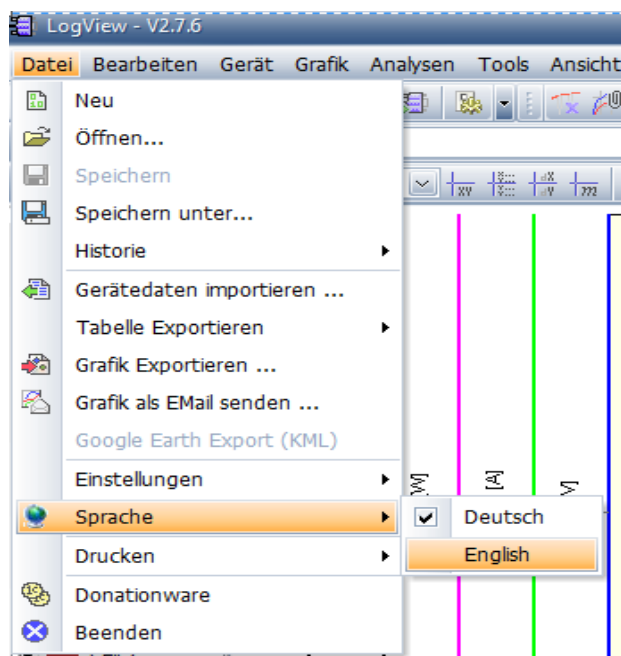
Slika 4.10. Status cikličkog načina rada

4.3. Programsko sučelje LogView

U ovom poglavlju su dane upute za korištenje sučelja LogView. Na početku je ukratko objašnjeno kako pokrenuti snimanje, odabrati koje veličine će biti prikazane i kako se sprema mjerenje. Nakon toga su detaljnije objašnjene mogućnosti sučelja.

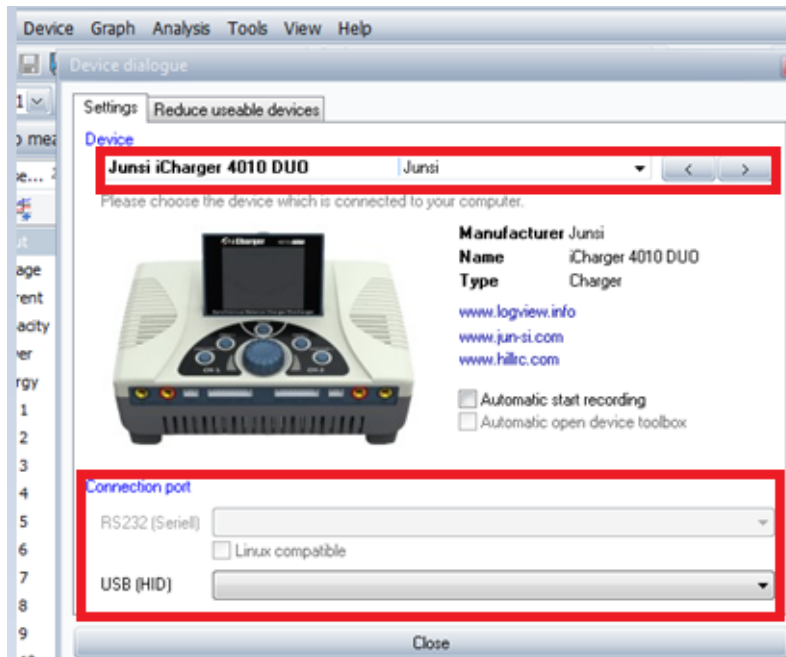
Da bi se snimale karakteristike i podaci pri punjenju i pražnjenju, prije pokretanja programa punjenja/pražnjenja na punjaču/pražnjaču potrebno je u programu LogView pokrenuti snimanje.

Najprije je potrebno podesiti jezik i povezati se s punjačem. Na slici 4.11. prikazan je izgled dijela alatne trake programa i kako se odabire jezik. Početni jezik je njemački. Kako bi se postavio engleski jezik odabere se *Datei > Sprache > English*.



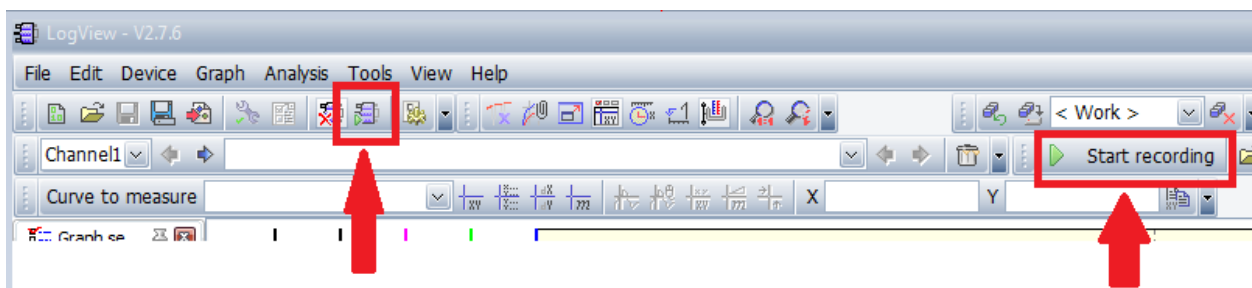
Slika 4.11. Odabiranje jezika

Kako bi *LogView* uopće znao koji je uređaj povezan s računalom, potrebno je odabrati postojeći uređaj. Na slici 4.12. je prikazano kako se odabire uređaj. Potrebno je kliknuti na *Device > Choose device and port*, zatim treba pronaći *Junsi iCharger 4010 DUO* i odabrati odgovarajući USB ulaz.



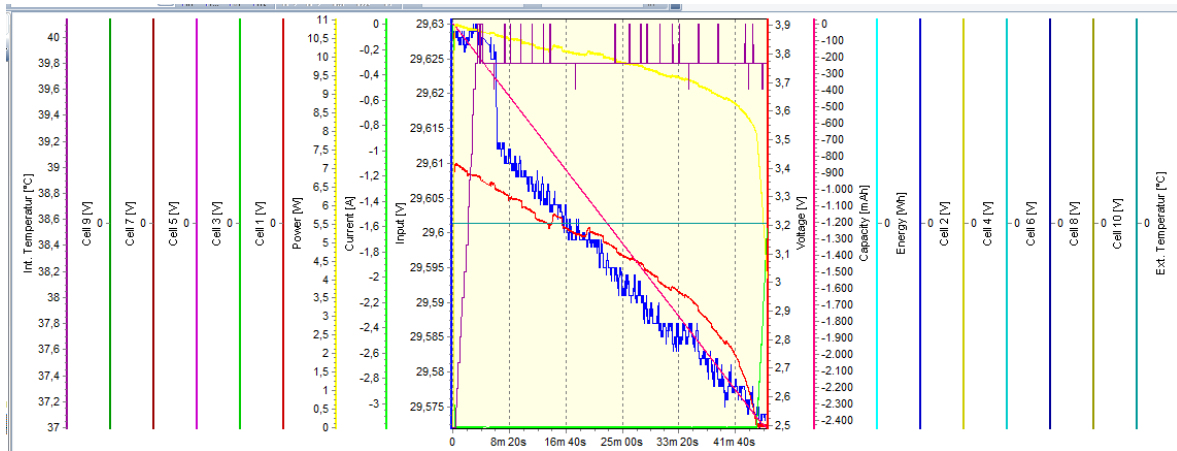
Slika 4.12. Odabiranje uređaja

Nakon odabira uređaja, sljedeći korak je otvaranje priključka. Istodobno se započinje snimanje podataka. Potrebno je kliknuti na *Open port and start recording* ili na *Start recording* (oba gumba rade istu stvar) i zatim na uređaju Jungsi pokrenuti radnju. Na slici 4.13. je prikazano gdje se otvara priključak i počinje snimanje podataka.



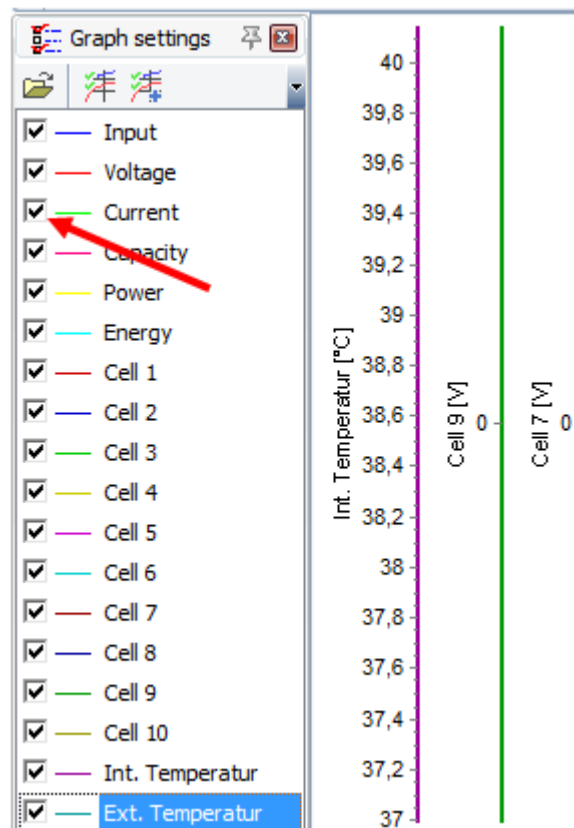
Slika 4.13. Otvaranje priključka i početak snimanja

Kada je program na Jungsi uređaju pokrenut i snimanje započeto, uređaj šalje podatke na računalo i oni se prikazuju u *LogView*-u. *LogView* prikazuje više mjerenih veličina pa je potrebno prilagoditi grafiku vlastitim potrebama. Izgled grafa kada snimanje započne prikazan je na slici 4.14.



Slika 4.14. Izgled grafa na početku snimanja

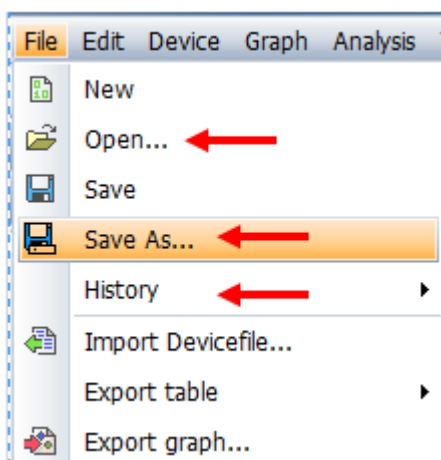
Graf se može prilagoditi potrebama u postavkama krivulja. Postavke krivulja (*Graph settings*) smještene su s lijeve strane grafa. Na slici 4.15. prikazane su postavke krivulja.



Slika 4.15. Postavke krivulja (*Graph settings*)

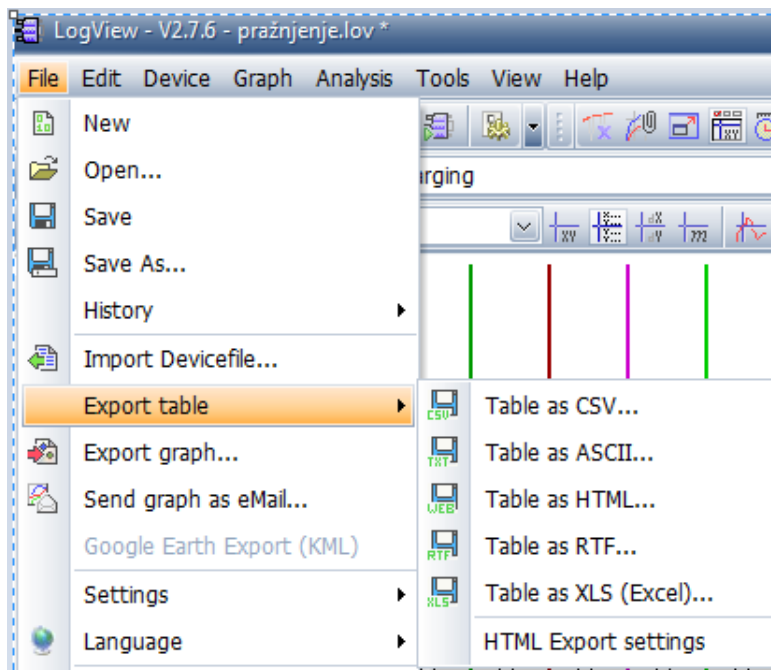
Krivulje se mogu uključiti ili isključiti pomoću kvačica krajnje lijevo. Sve krivulje koje nisu relevantne treba isključiti. Za dodatnu prilagodbu krivulje u pogledu boje, debljine crte i slično, koristi se kontekstni izbornik. Kontekstni izbornik se otvara desnim klikom miša na ime krivulje u postavkama krivulja. To će biti objašnjeno kasnije u poglavlju.

Kada mjerenje završi, može ga se sačuvati u obliku datoteke formata *.lov (LogView Datei)*. Datoteka se sprema tako da se na alatnoj traci odabere: *File>Save as*, i zatim se odabere mjesto na računalu gdje se želi spremiti datoteka. Datoteka se otvara odabirom *File>Open*, te se pronađe datoteka koju se želi otvoriti. Otvorena datoteka daje isti pogled kao u vrijeme kad je spremljena. U datoteku se mogu dodati novi zapisi (mjerenja). Funkcijom povijesti (*History*) se može vidjeti i otvoriti posljednjih 10 uređivanih datoteka. Funkcije spremanja, otvaranja i povijesti su prikazane na slici 4.16.



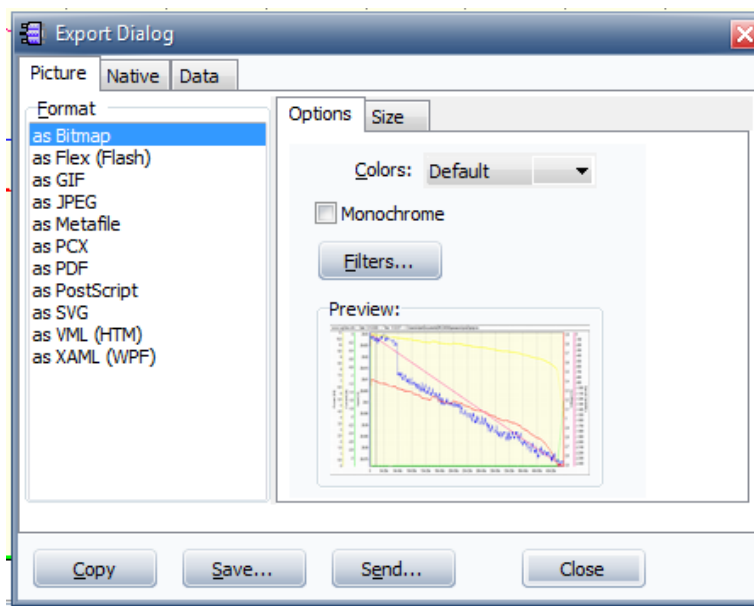
Slika 4.16. Funkcije povijesti, spremanja i otvaranja datoteka

Podaci mjerenja se mogu izvesti grafički i tablično. Izvoz tablice se može pronaći pod: *File>Export table*. Zatim se odabire format tablice u koji se podaci žele izvesti i mjesto na koje se tablica želi spremiti. Izvoz tablice je prikazan na slici 4.17.



Slika 4.17. Izvoz tablice

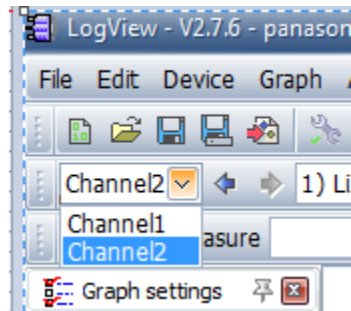
Grafički izvoz nudi više mogućnosti. Ovisno o formatu, postoje funkcije kojima se mogu odrediti veličina, boja i postaviti razni filteri. Podaci se grafički izvoze na način: *File>Export graph...* Na slici 4.18 prikazan je prozor izvoza (*Export-Dialog*) u kojem se odabire format i uređuje graf.



Slika 4.18. Grafički izvoz podataka

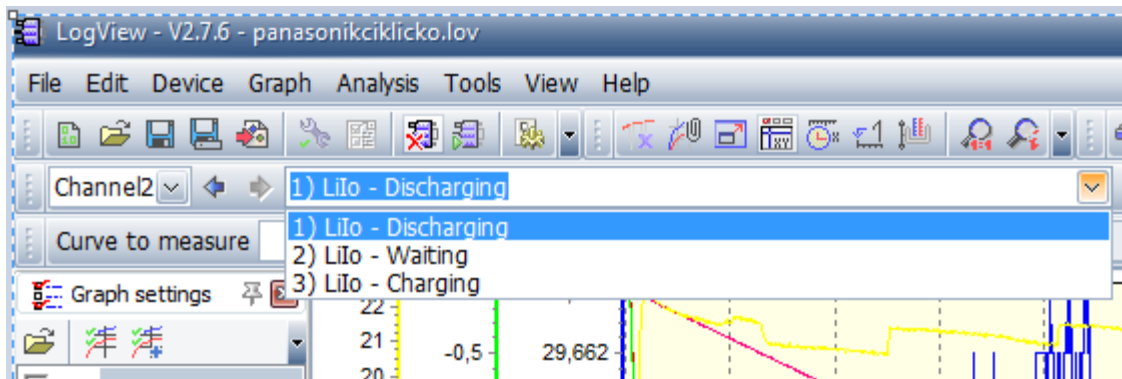
U nastavku će biti detaljnije objašnjene mogućnosti *LogView*-a.

U *LogView*-u se mogu snimati procesi za oba kanala uređaja Junsu. Prilikom izvođenja punjenja/pražnjenja ili nekog od programa može se prebacivati s kanala 1 na kanal 2 bez gubitka podataka i pratiti što se događa na pojedinom kanalu. Kada se datoteke spremaju, program će podatke sa svakog kanala spremiti u zasebnu datoteku. Broj kanala je prikazan na alatnoj traci i tu se može promijeniti. Izbor kanala prikazan je na slici 4.19.



Slika 4.19. Izbor kanala za pregled

Na alatnoj traci se nalazi i prozor koji govori koji program je prikazan na ekranu. U jednoj datoteci se može snimiti više programa. Kada program završi, ostaje u memoriji te se u svakom trenutku može prebaciti na završene programe i obaviti potrebne promjene ili pregled. Na slici 4.20. prikazan je odabir pregleda programa.



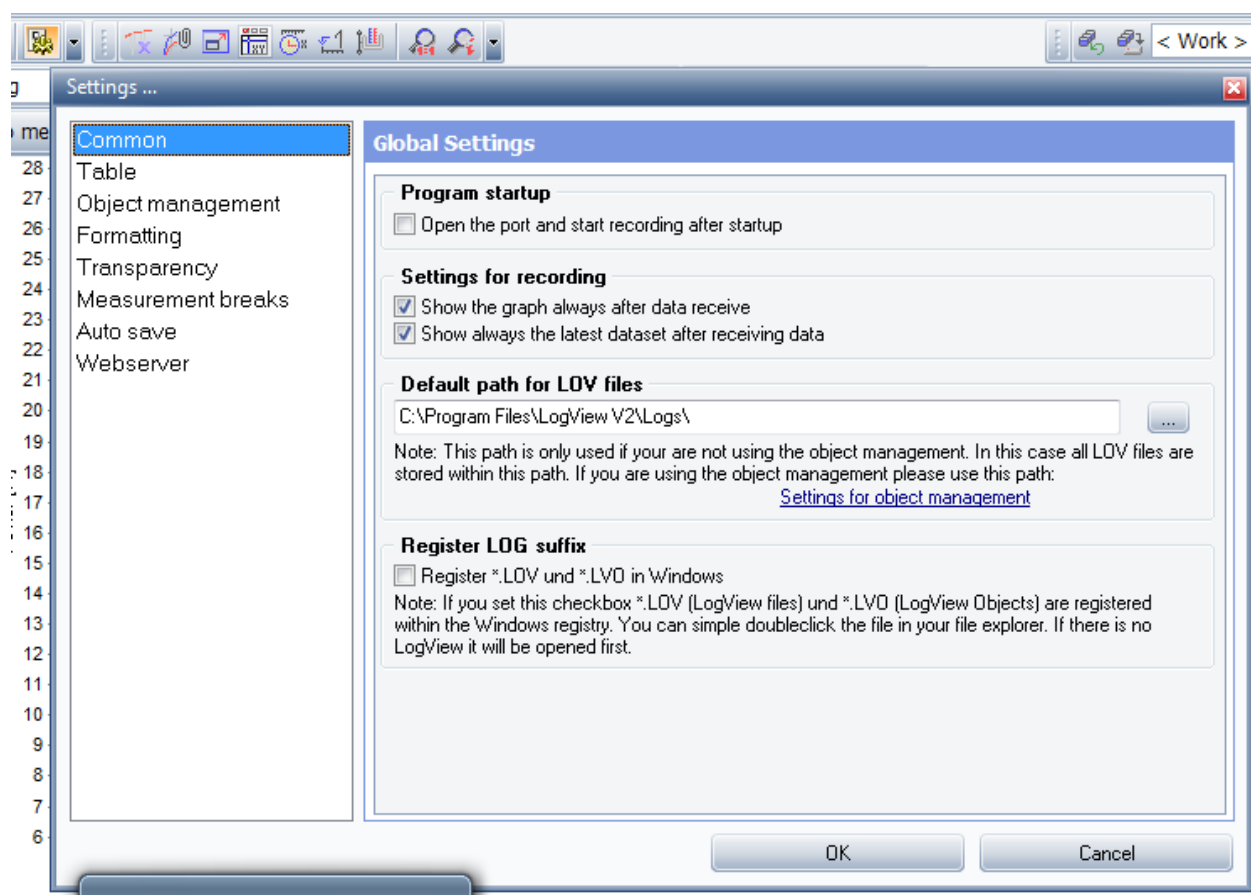
Slika 4.20. Odabir programa za prikaz

Snimljeni programi se mogu obrisati ako je došlo do greške prilikom izvođenja programa ili mjerenja. Potrebno je kliknuti na gumb *obriši snimanje (delete record)* koji se nalazi pored prozora snimljenog programa. Gumb za brisanje je prikazan na slici 4.21. i označen brojem 1



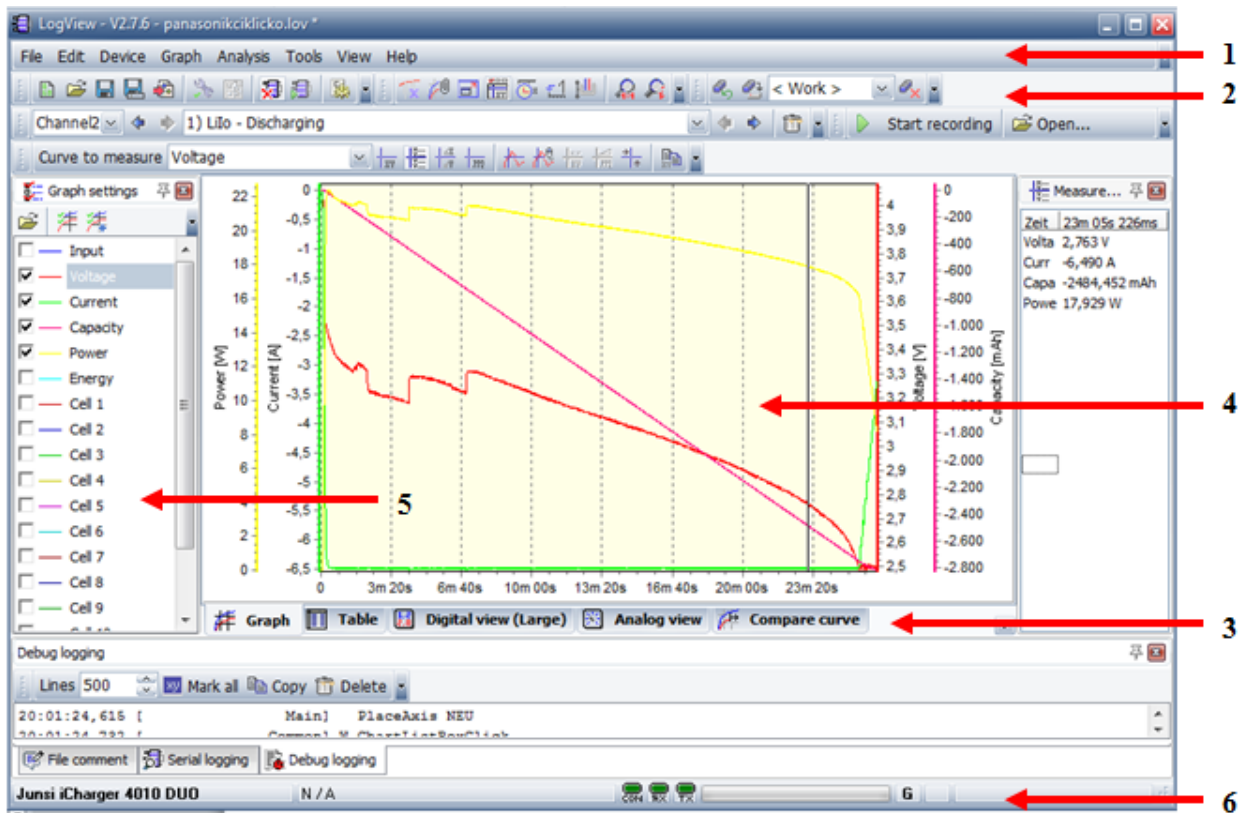
Slika 4.21. Gumb za brisanje snimanja

Osnovne postavke sučelja postavljaju se odabirom gumba *Program settings*. Gumb je označen brojem 2 na slici 4.21. Prozor gumba *Program settings* prikazan je na slici 4.22.



Slika 4.22. Osnovne postavke programa

Korisničko sučelje se može prilagoditi potrebama korisnika. Izgled sučelja je prikazan na slici 4.23.



Slika 4.23. Izgled sučelja LogView

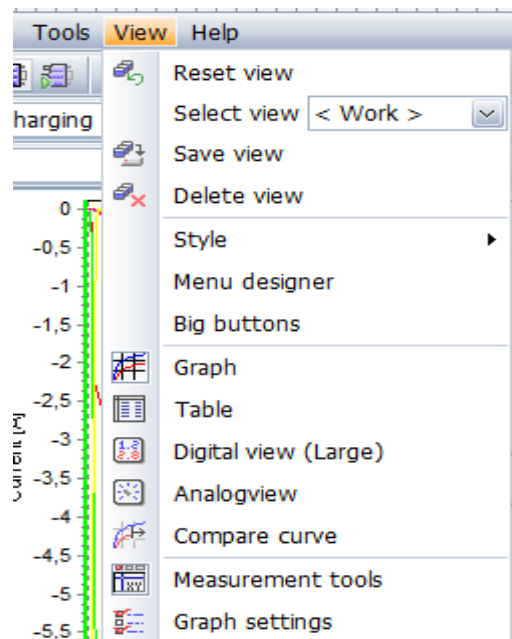
U osnovnoj konfiguraciji površina LogView-a ima šest osnovnih komponenta koje su označene brojevima na slici 4.23.:

1. izbornik,
2. alatne trake,
3. izbor za oblik prezentacije podataka,
4. područje prikaza,
5. postavke krivulja,
6. statusna traka.

Područje prikaza je fiksno i ne može se micati, ali se može mijenjati njegova veličina, a sve ostale komponente osim statusne trake mogu se slobodno konfigurirati i postaviti. Pomoću izbornika (oznaka 1) se upravlja programom LogView. Alatne trake (oznaka 2) služe za baratanje mjernim podacima i određivanje izgleda sučelja. Izborom za oblik prezentacije podataka (oznaka 3) se

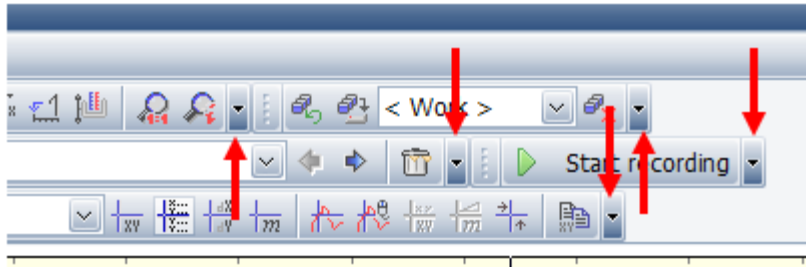
odabire prikaz mjerenih podataka. Može biti grafički (*Graph*), tablični (*Table*), digitalni (*Digital view*) i analogni (*Analog view*). Odabrani prikaz se prikazuje na području prikaza (oznaka 4). Postavke krivulja (oznaka 5) služe za uređivanje grafova. Statusna traka (oznaka 6) pokazuje status sučelja.

Potrebne funkcije za rad sa sučeljem nalaze se u izborniku pod gumbom *View*. Klikom na funkciju ona se uklanja ili postavlja na sučelje. Prikaz izbornika *View* i dio mogućih funkcija dan je na slici 4.24. Većina funkcija je samorazumljiva ako se poznaje engleski jezik.



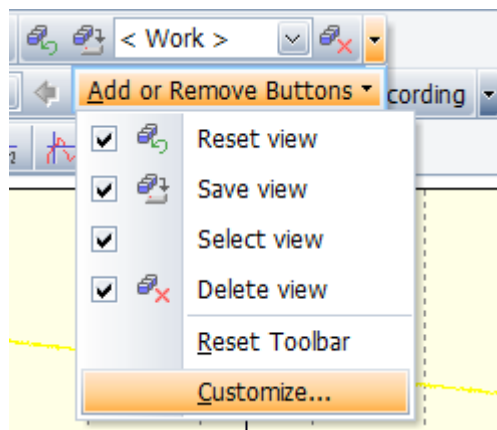
Slika 4.24. Funkcije sučelja *LogView*

Prozori funkcija alatne trake mogu se uključivati i isključivati te pomicati bilo gdje na sučelju. Ako se prozori žele pomaknuti, potrebno je držati pritisnutu lijevu tipku miša na prozoru i pomaknuti ga na željeno mjesto. Veličina prozora se podešava dovođenjem miša na lijeve ili desne rubove prozora i zatim se držanjem pritisnute lijeve tipke miša pomiče na željenu veličinu. Prozori funkcija imaju svoje izbornike koji se otvaraju klikom na crnu strelicu na kraju prozora. Mjesta izbornika prikazana su na slici 4.25. i označena su crvenim strelicama.



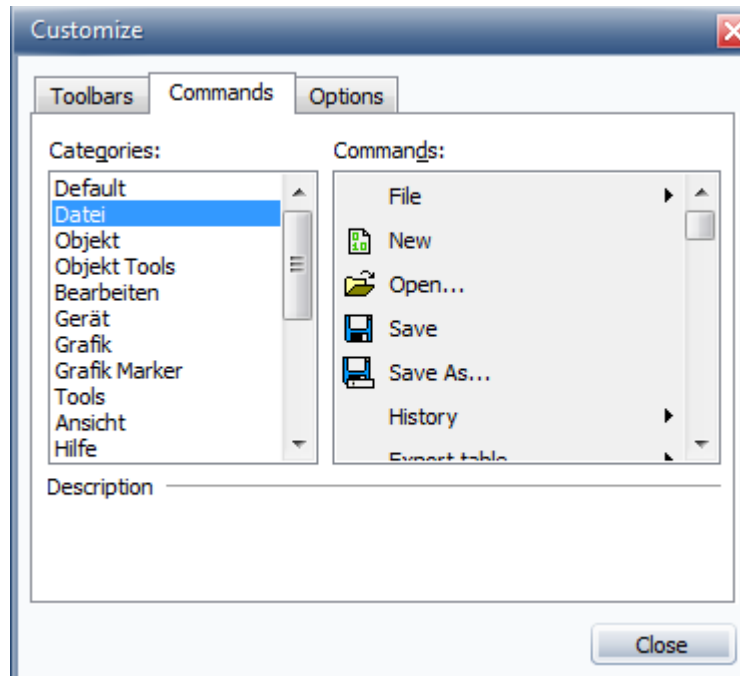
Slika 4.25. Izbornici prozora alatnih traka

Nakon klika na strelicu pojavi se izbornik na kojem se isključuju/uključuju pojedini gumbi. Na slici 4.26. prikazan je izbornik prozora.



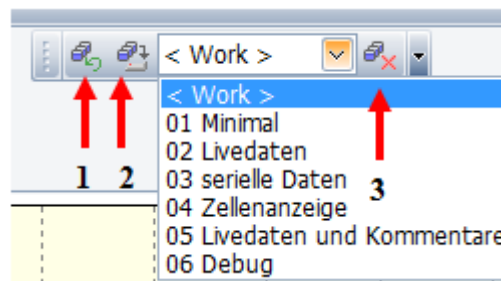
Slika 4.26. Izbornik prozora alatne trake

Novi gumbi se u prozor mogu dodati klikom na gumb *Customize* kao što je označeno na slici 4.26. Klikom na taj gumb se otvori prozor gdje su u izborniku za naredbe *Commands* sadržani svi gumbi koje *Logview* nudi. Gumbi se mogu povući i spustiti izravno u izbornik. Izbornik gumba *Customize* prikazan je na slici 4.27.



Slika 4.27. Izgled izbornika *Customize*

Pomoću prozora alatne trake za izgled sučelja, prikazanog na slici 4.28. se mijenja izgled radne površine.

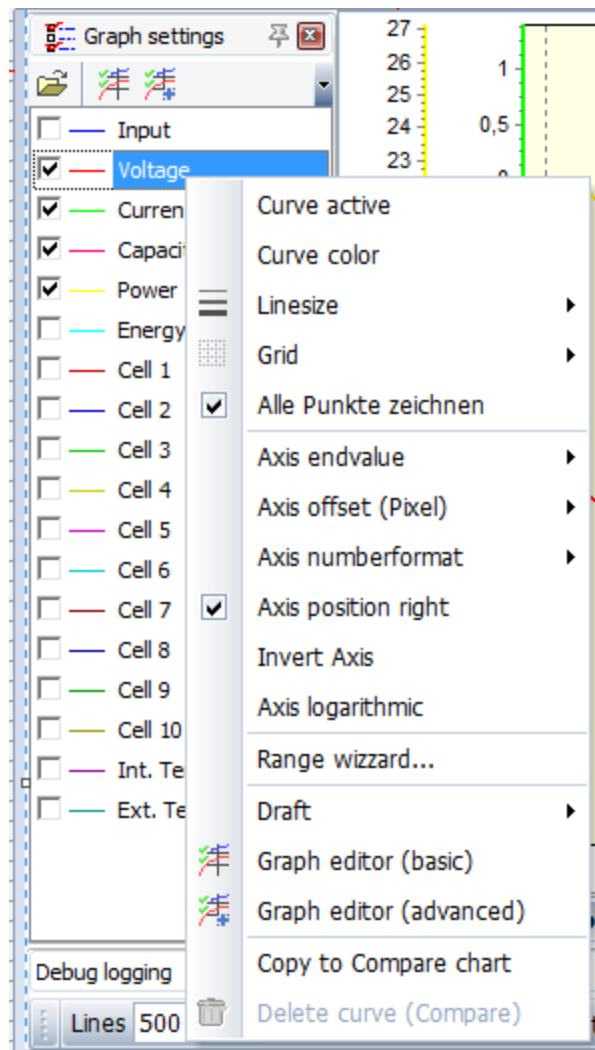


Slika 4.28. Prozor za izgled radne površine

Gumb označen brojem 1 služi za vraćanje prikaza na prethodno stanje. Gumb označen brojem 2 služi za spremanje prikaza. Gumb označen brojem 3 služi za uklanjanje prikaza. U sredini se nalazi prozor za odabir prikaza. *LogView* ima 7 predložaka sa zadanim prikazom.

U *LogView*-u svaka veličina prikazana na grafu ima svoju os. Postavke grafa se mijenjaju odabiranjem željene radnje klikom na gumb *Graph* glavnog izbornika ili pomoću kontekstnog

izbornika u postavkama krivulja. Kontekstni izbornik se otvara desnim klikom miša na ime krivulje u postavkama krivulja. Kontekstni izbornik prikazan je na slici 4.29.



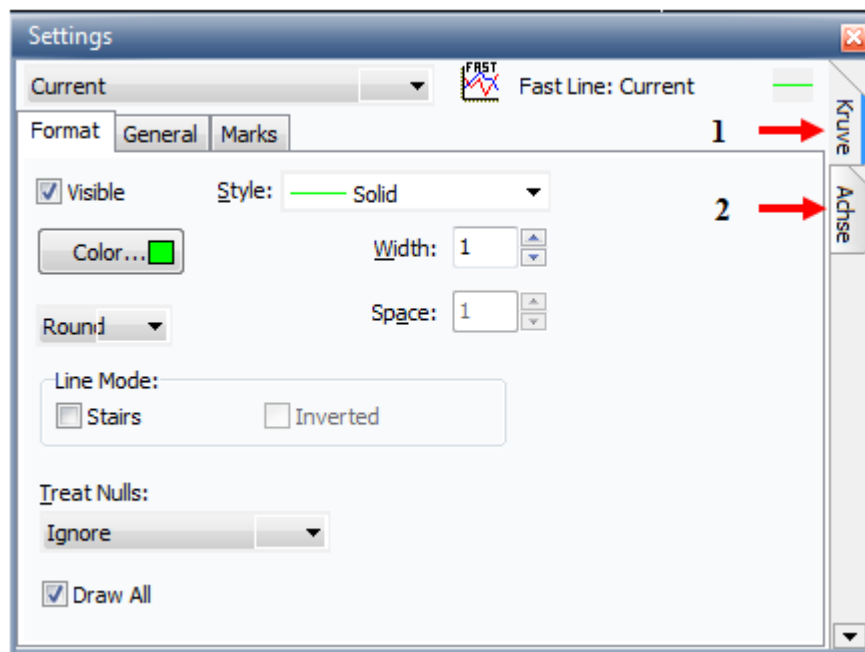
Slika 4.29. Kontekstni izbornik postavki krivulja

Izbornik sadrži brojne funkcije:

- *Curve aktive* služi za uključivanje i isključivanje krivulja.
- *Curve color* je funkcija kojom se mijenja boja krivulje.
- *Line Size* je funkcija za mijenjanje debljine krivulje.
- *Grid* je funkcija pomoću koje se može postaviti mreža za svaku krivulju za X i Y os.
- *Alle Punkte zeichnen* služi za crtanje svih točaka, ako ova funkcija nije uključena, bit će onoliko točaka koliko monitor ima piksela.

- *Axis endvalue* služi za postavljanje krajnjih vrijednosti osi.
- *Axis offset* služi za postavljanje pomaka osi.
- *Axis numberformat* služi za postavljanje formata iznosa na Y osi. Odnosi se na broj decimalnih mjesta.
- *Axis position right* služi za postavljanje Y osi s desne strane grafa
- *Invert axis* je funkcija kojom se Y os okrene za 180° u odnosu na nulu.
- *Axis logarithmic* je funkcija kojom se vrijednosti na Y osima prikazuju logaritamski
- *Range wizard* otvara dijaloški okvir u kojemu se može odabrati skup krivulja kojima će se poravnati osi.
- *Draft* je funkcija gdje se učitavaju i spremaju grafički predlošci. Kada se namjeste sve željene postavke krivulja, mogu se spremirati kao predložak i koristiti u budućim mjerenjima.
- *Graph editor (basic)* i *Graph editor (advanced)* su funkcije kojima se uređuju krivulje.

Graph editor (basic) je funkcija koja služi za osnovno uređivanje krivulja. Slika 4.30. prikazuje izbornik koji se pojavi klikom na funkciju.

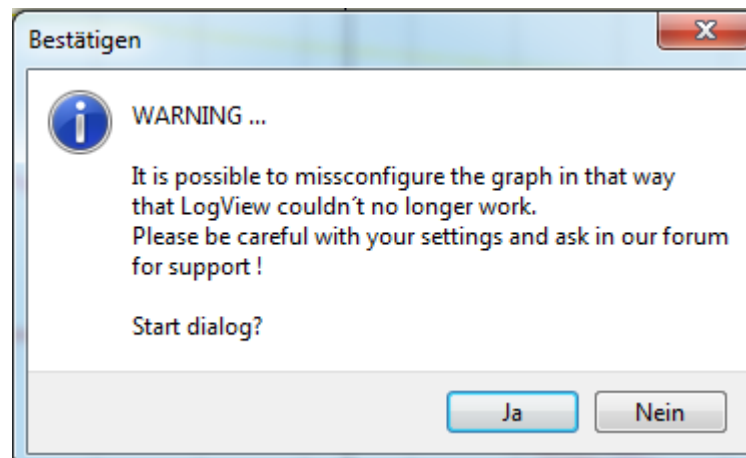


Slika 4.30. Prozor za uređivanje krivulja

U ovom izborniku se klikom na gumb *Kurve* (oznaka 1) uređuje izgled krivulje po želji. Može se promijeniti boja, debljina, sjenčanje, mogu se postaviti ograničenja i slično. Klikom na gumb *Achse*

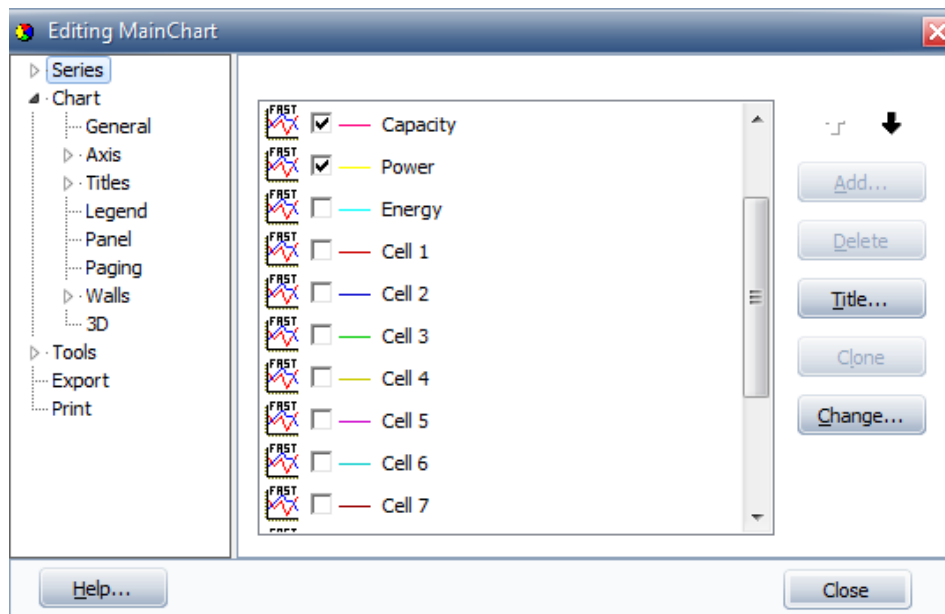
(oznaka 2) se pristupa postavkama Y osi krivulje. Mogu se postaviti ime osi, veličina fonta, skaliranje, boja osi i slično.

Graph editor (advanced) je funkcija za napredno uređivanje krivulja i osi. Kada se klikne na gumb ove funkcije pojavi se upozorenje prikazano na slici 4.31.



Slika 4.31. Upozorenje za napredno uređivanje

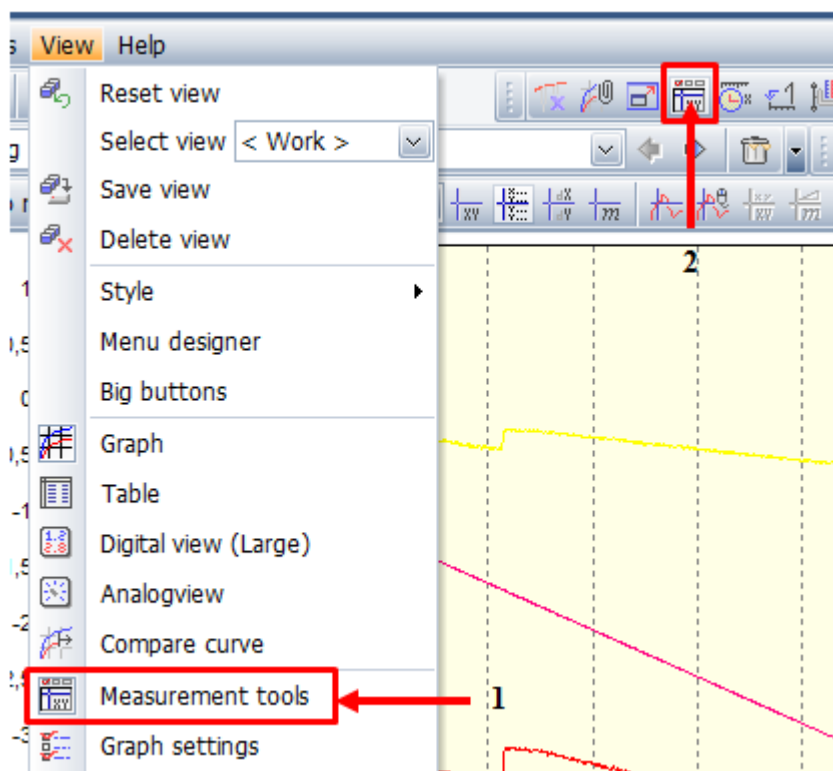
Upozorenje govori kako može doći do pogrešne konfiguracije grafa i da se mogu napraviti greške zbog kojih *LogView* može prestati raditi. Izgled prozora je prikazan na slici 4.32.



Slika 4.32. Prozor za napredno uređivanje krivulja i osi

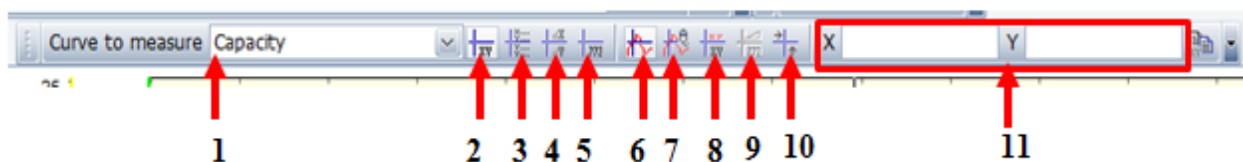
U ovome prozoru se mogu promijeniti, uključiti i isključiti važna svojstva sučelja. Ovu funkciju bi se trebalo koristiti samo ako nema drugog načina. Preporuka je potražiti pomoć na forumu internet stranice *LogView* programa. Forum se može otvoriti klikom na *Help>LogView Supportforum*.

Kako bi se bolje ispitala pojedina područja krivulja, koriste se alatne trake s gumbima za mjerenja. Alatna traka se aktivira klikom miša na *View>Measurement tools* ili klikom na gumb *Measurements*. Oba načina su prikazana na slici 4.33.



Slika 4.33. Aktiviranje alatne trake za mjerenja

Oznakom 1 na slici je prikazano aktiviranje alatne trake putem izbornika *View*, a oznakom 2 aktiviranje alatne trake direktno putem gumba. Izgled alatne trake prikazan je na slici 4.34.



Slika 4.34. Izgled alatne trake za ispitivanje mjerenja

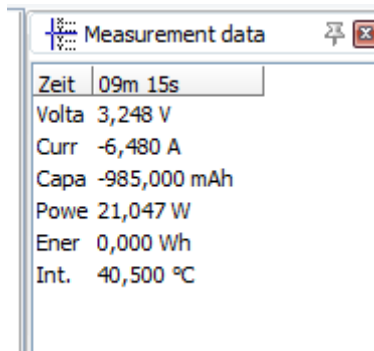
Oznakama 1-11 na slici 4.34. su označeni gumbi alatne trake za pregled mjerenja. Gumb označen brojem 1 služi za odabir krivulje čije mjerenje se promatra. Gumbi označeni brojevima 2-5 su funkcije mjerenja, a gumbi označeni 6-10 su dodatne opcije. Kada se odabere funkcija mjerenja, na grafu se pojavljuju kursori u obliku pravca koji se mogu pomicati. Gumb označen brojem 11 je prikaz vrijednosti X i Y osi na mjestu kursora. Vrijednosti ostalih krivulja prikazuju se u pomoćnom prozoru (*Measurement data*) koji se otvori kada se odabere funkcija.

- Funkcija *a curve measured* označena brojem 2 služi za pregled samo jedne odabrane krivulje pomicanjem kursora prate se snimljene vrijednosti. Vrijednosti su prikazane u prozoru označenom brojem 11.
- Funkcija *all the curves measured* označena brojem 3 mjeri podatke svih krivulja pomicanjem kursora. Vrijednosti su prikazane u pomoćnom prozoru.
- Funkcija *Difference measurement* označena brojem 4 pokazuje razliku X i Y pomicanjem kursora. Kod ove funkcije se prikazuju kursori. Vrijednosti razlike su prikazane u prozoru označenom brojem 11.
- Funkcija *Measure slope* označena brojem 5 služi za mjerenje nagiba krivulje. Nagib se određuje uz pomoć dvije mjerne točke i odabrane krivulje.

Dodatne opcije (oznake 6-10) se aktiviraju ovisno o mjernoj funkciji.

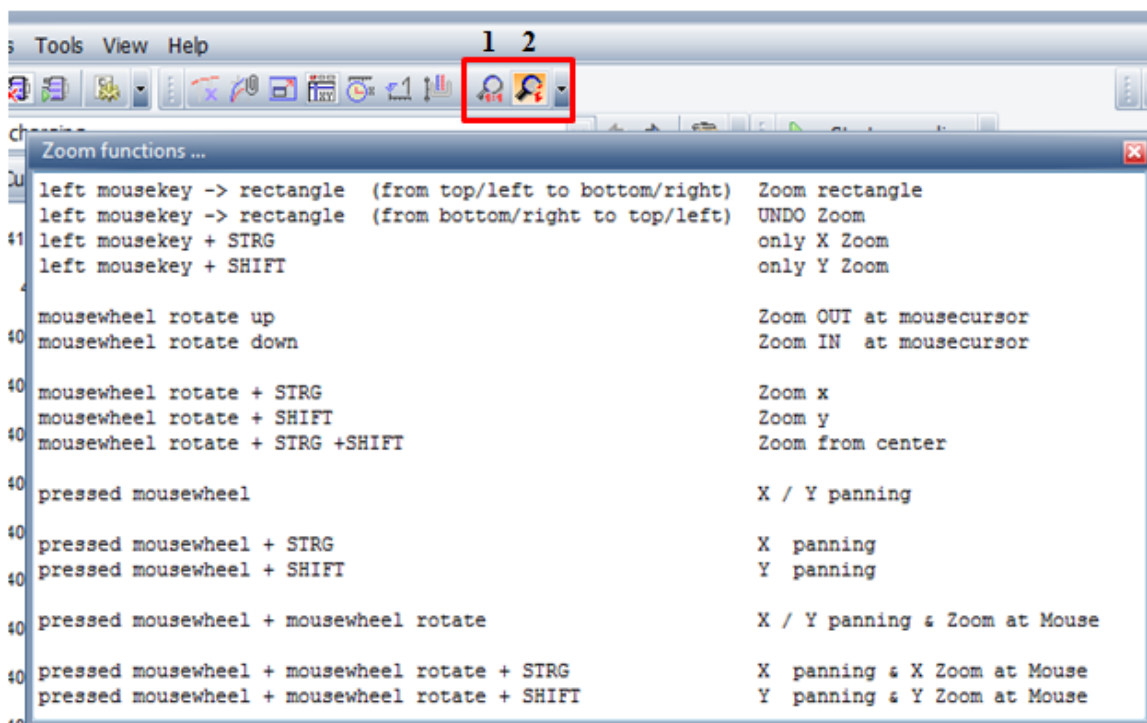
- Opcija *click on the curve* (oznaka 6) – ako je ova opcija uključena, pokazivač mjerenja se pomiče samo duž odabrane krivulje. Time se mogu saznati točni podaci u svakom trenutku mjerenja.
- Opcija *follow mouse with measurement cursor* (oznaka 7) služi za pomicanje kursora kako se pokazivač miša pomiče. Nije potrebno držati pritisnutu lijevu tipku miša.
- Opcija *Value at the cursor position* – (oznaka 8) kada je ova opcija uključena na kursoru su prikazane vrijednosti X i Y osi.
- Opcija *show ascent line* (oznaka 9) se može koristiti samo s funkcijom *Measure slope*. Ovom opcijom je dio linije između mjernih točaka istaknut.
- Opcija *Measurement cursor re-center* služi za vraćanje kursora na sredinu grafa kako bi bio vidljiv.

Pomoćni prozor u kojemu se prikazuju vrijednosti svih krivulja na mjestu kursora prikazan je na slici 4.35.



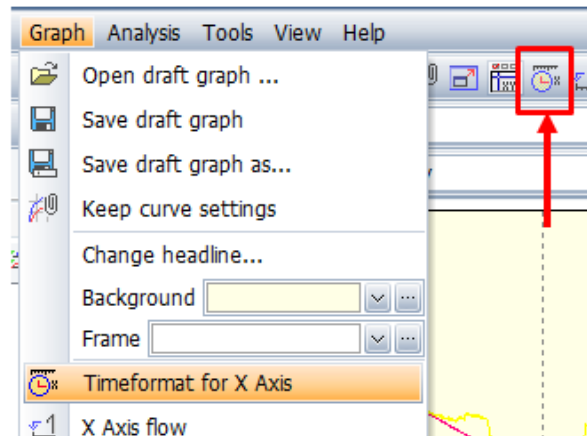
Slika 4.35. Pomoćni prozor s mjernim podacima

Za još preciznije ispitivanje mjerenja koriste se funkcije povećavanja/zumiranja (*Zoom*). Sve funkcije se koriste uz pomoć miša i funkcijskih tipki SHIFT i CTRL. Funkcije zumiranja otvaraju se klikom na gumb *Zoom info* na alatnoj traci. Nakon zumiranja se izgled grafa vraća u prijašnji izgled klikom na gumb *Reset Zoom*. Gumbi funkcije zumiranja i prikaz prozora gumba *Zoom info* su prikazani na slici 4.36. Oznakom 1 je označen gumb *Reset Zoom*, a oznakom 2 gumb *Zoom info*.



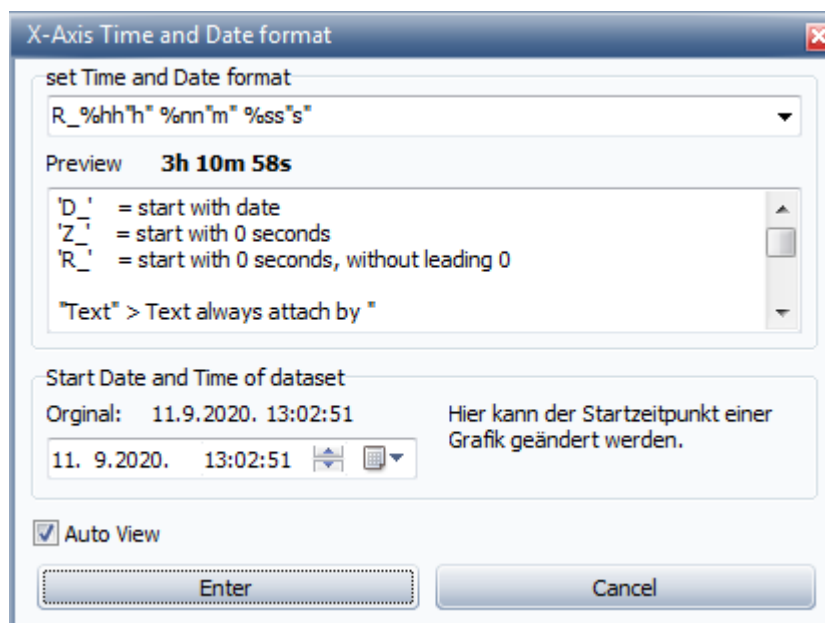
Slika 4.36. Zoom funkcije

Ranije u ovom poglavlju je objašnjeno da se krivulje i y os grafa mogu mijenjati po volji. X os prikazuje vrijeme i moguće je promijeniti samo format vremena. Format vremena se mijenja pomoću funkcije *Timeformat for X axis*. Funkcija se aktivira klikom na gumb ili klikom na *Graph>Timeformat for X axis*. Oba izbora prikazana su na slici 4.37.



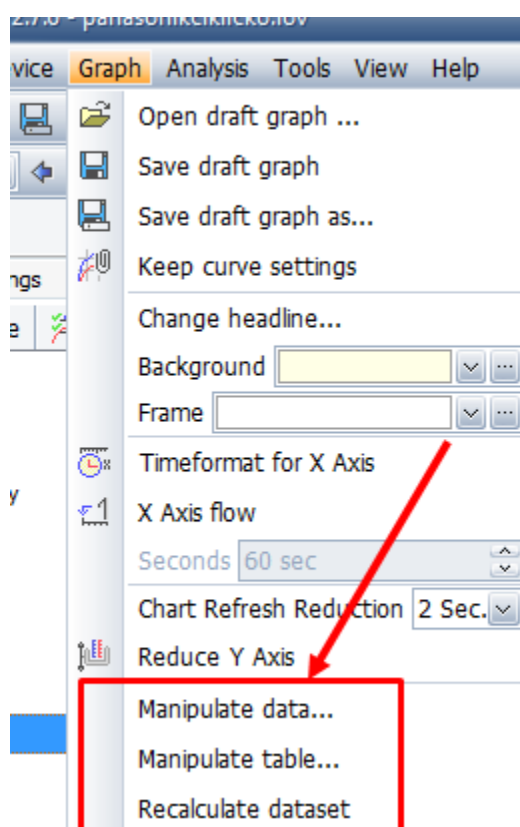
Slika 4.37. Funkcija *Timeformat for X axis*

Aktiviranjem ove funkcije otvara se prozor u kojem se unosi format vremenske osi. Upute za promjenu formata dane su unutar prozora. Za svaku varijablu vremenske osi i za format vremena potrebno je unijeti odgovarajuće znakove u opisanom poretku. Prozor je prikazan na slici 4.38.



Slika 4.38. Prozor postavljanja vremenske osi

LogView nudi puno mogućnosti za manipuliranje podacima. One su prikazane u izborniku *Graph*. Izbornik *Graph* je prikazan na slici 4.39. Označene su mogućnosti za manipuliranje.



Slika 4.39. Funkcije za manipuliranje podacima

Funkcija *Manipulate data* sadrži tri podfunkcije koje su prikazane na slici 4.40.



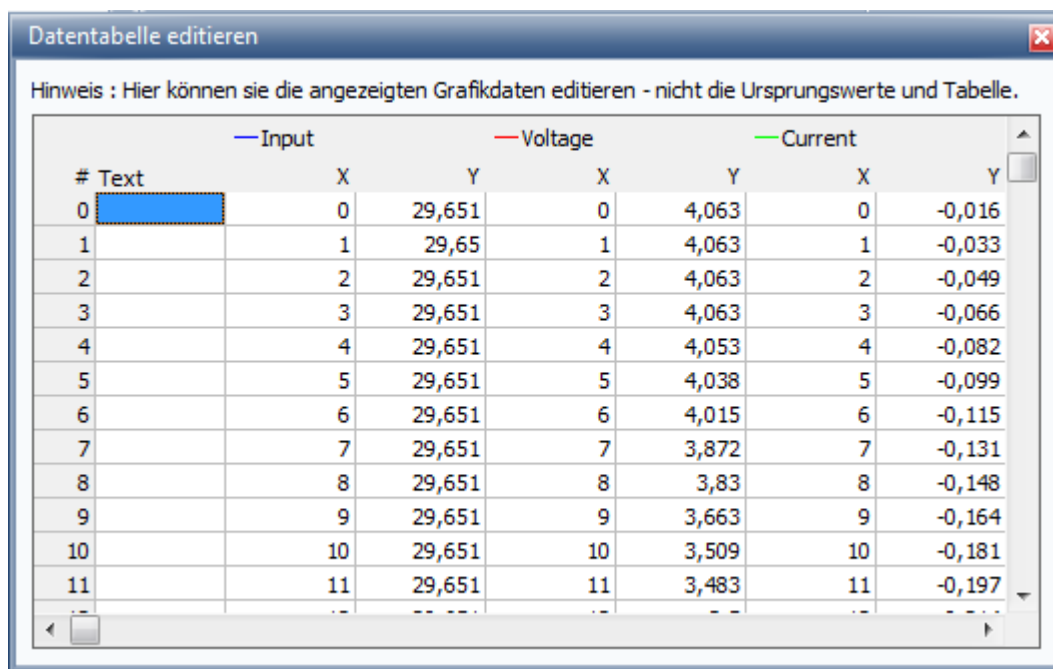
Slika 4.40. Funkcija *Manipulate data*

Funkcijom *Daten löschen* se briše odabrano mjereno područje. Na taj se način neiskorištena područja mogu ukloniti s grafa.

Funkcijom *Min/Max Begrenzer* se ograničava područje grafa. Odabirom željene minimalne i maksimalne vrijednosti krivulje će se ograničiti graf i sve što je izvan ograničenih vrijednosti će biti uklonjeno.

Funkcija *Peak Filter* služi za izravnavanje krivulja. Odabire se krivulja i područje koje se želi izravnati.

Funkcija *Manipulate table* (Slika 4.39) služi za prilagođavanje vrijednosti u tablici podataka. Vrijednosti se mogu ručno mijenjati unosom s tipkovnice. Promjene su odmah vidljive na grafu. Slika 4.41. Prikazuje izgled prozora koji se otvori odabirom ove funkcije.

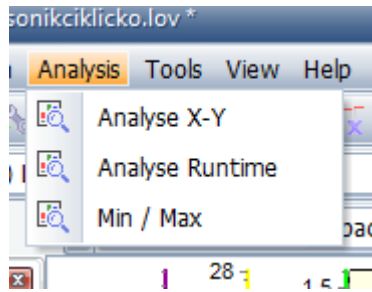


| # | Text | Input X | Input Y | Voltage X | Voltage Y | Current X | Current Y |
|----|------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | | 0 | 29,651 | 0 | 4,063 | 0 | -0,016 |
| 1 | | 1 | 29,65 | 1 | 4,063 | 1 | -0,033 |
| 2 | | 2 | 29,651 | 2 | 4,063 | 2 | -0,049 |
| 3 | | 3 | 29,651 | 3 | 4,063 | 3 | -0,066 |
| 4 | | 4 | 29,651 | 4 | 4,053 | 4 | -0,082 |
| 5 | | 5 | 29,651 | 5 | 4,038 | 5 | -0,099 |
| 6 | | 6 | 29,651 | 6 | 4,015 | 6 | -0,115 |
| 7 | | 7 | 29,651 | 7 | 3,872 | 7 | -0,131 |
| 8 | | 8 | 29,651 | 8 | 3,83 | 8 | -0,148 |
| 9 | | 9 | 29,651 | 9 | 3,663 | 9 | -0,164 |
| 10 | | 10 | 29,651 | 10 | 3,509 | 10 | -0,181 |
| 11 | | 11 | 29,651 | 11 | 3,483 | 11 | -0,197 |

Slika 4.41. Funkcija *Manipulate table*

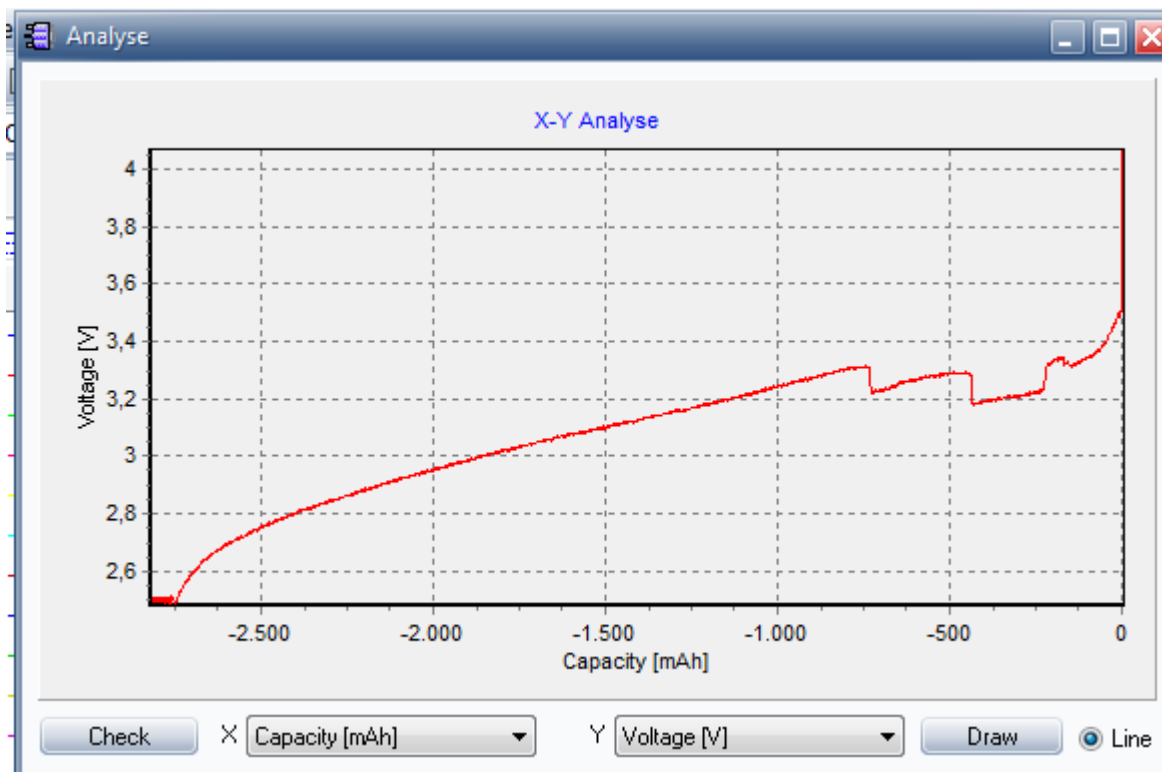
Funkcijom *Recalculate dataset* se poništavaju postavke manipulacije i podaci se vraćaju na početne izmjerene vrijednosti.

Izmjereni podaci se mogu analizirati i uspoređivati u *LabView*-u. Funkcije za analizu nalaze se u izborniku *Analysis* prikazanom na slici 4.42.



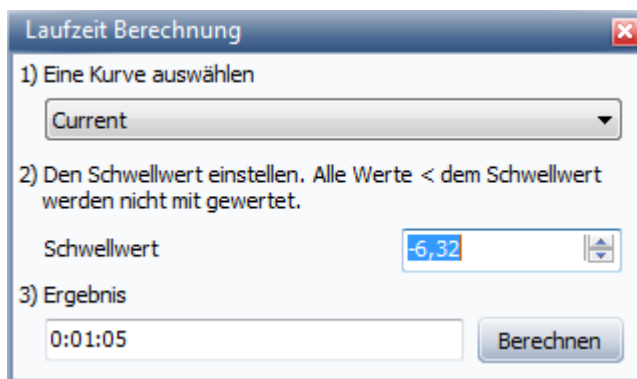
Slika 4.42. Izbornik *Analysis*

Funkcija *Analyse X-Y* služi za promatranje međuovisnosti mjerenih veličina. Odabiru se veličine za X i Y os i prikazuje se njihova ovisnost. Funkcija *Analyse X-Y* prikazana je na slici 4.43.



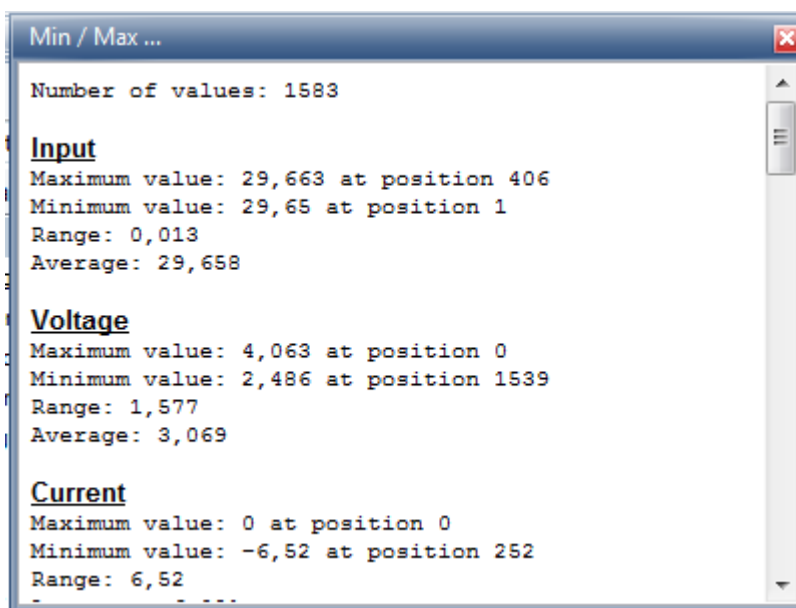
Slika 4.43. Funkcija *Analyse X-Y*

Funkcija *Analyse runtime* (slika 4.42) pokazuje vrijeme snimanja odabrane veličine i njenu vrijednost u podešenom trenutku. Izgled funkcije je prikazan na slici 4.44.



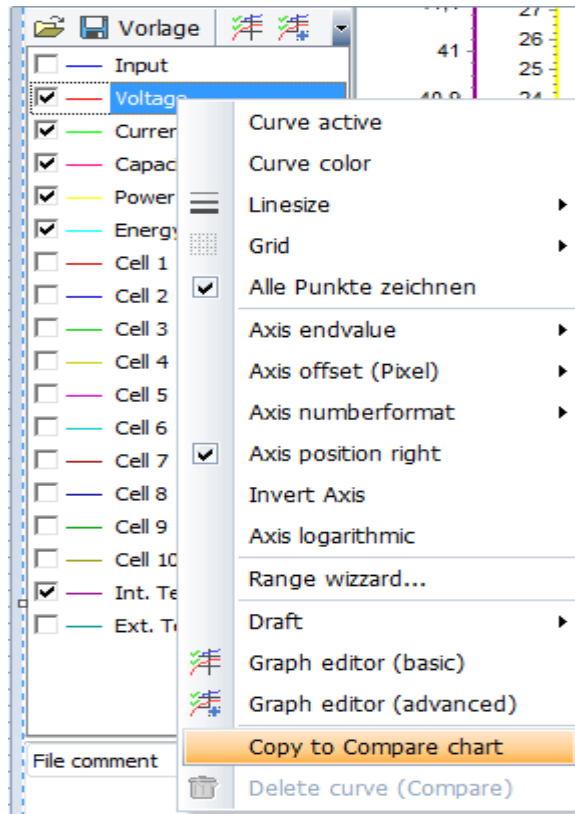
Slika 4.44. Funkcija *Analyse runtime*

Funkcija *Min/Max* daje popis minimalnih i maksimalnih izmjerenih vrijednosti za svaku mjerenu veličinu te u kojem su trenutku izmjerene. Funkcija je prikazana na slici 4.45.



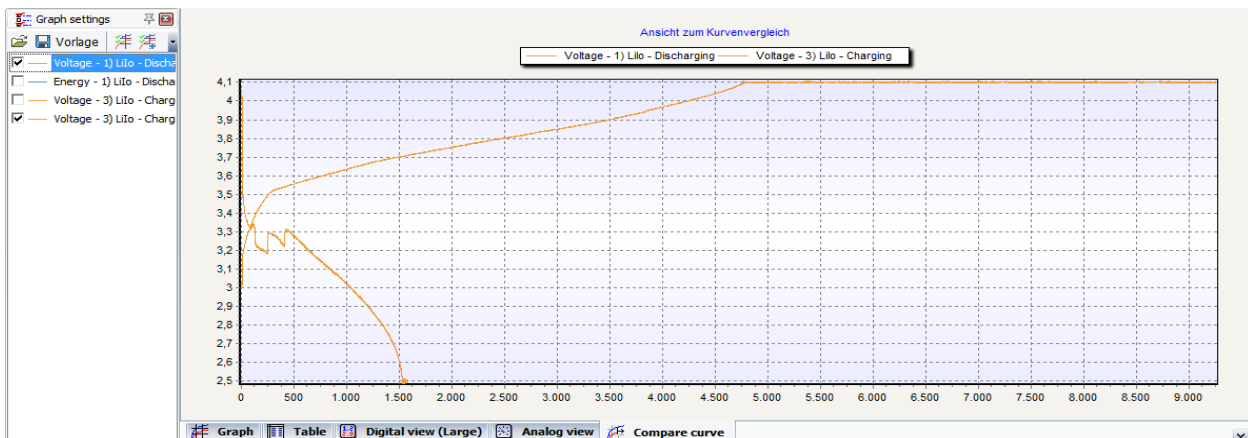
Slika 4.45. Funkcija *Min/Max*

Izmjerene krivulje mogu se međusobno uspoređivati. Za to služi funkcija *Compare curve*. Funkcija se uključuje klikom na: *View>Compare curve*. Ova funkcija omogućuje usporedbu krivulja s različitih kanala i različitih programa. Krivulje koje se žele prikazati u funkciji *Compare curve* odabiru se tako da se u postavkama krivulja (*Graph settings*) na željenu krivulju klikne desnom tipkom miša i odabere se *Copy to compare chart*. Izbor krivulje prikazan je na slici 4.46.



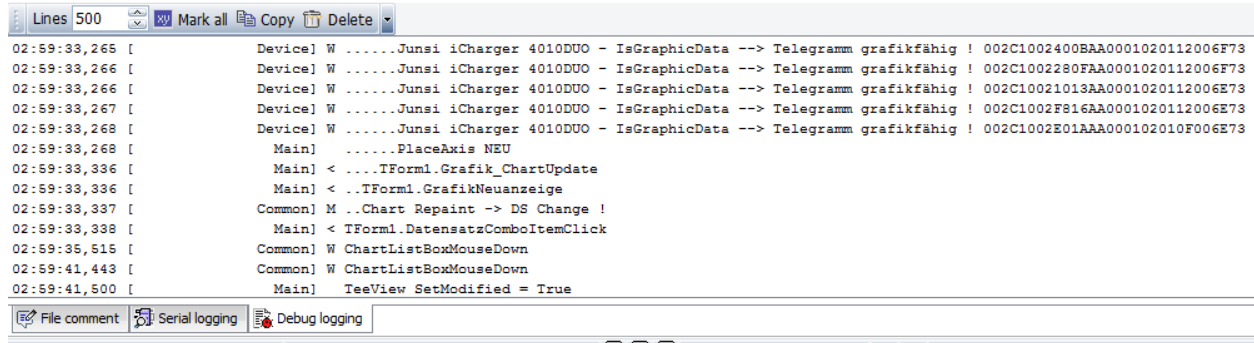
Slika 4.46. Odabir krivulje za usporedbu

Odabrane krivulje su prikazane u prozoru funkcije *Compare curve*. Izgled prozora prikazan je na slici 4.47.



Slika 4.47. Funkcija *Compare curve*

Sve što se u programu događalo od početka mjerenja do njegovog spremanja u datoteku je prikazano u prozoru *Debug Logging*. U tom prozoru se može provjeriti sve što se radilo i mijenjalo u spremljenoj datoteci. Izgled prozora *Debug Logging* prikazan je na slici 4.48.



```
Lines 500 Mark all Copy Delete
02:59:33,265 [ Device] W .....Junsi iCharger 4010DUO - IsGraphicData --> Telegramm grafikfähig ! 002C1002400BAA0001020112006F73
02:59:33,266 [ Device] W .....Junsi iCharger 4010DUO - IsGraphicData --> Telegramm grafikfähig ! 002C1002280FAA0001020112006F73
02:59:33,266 [ Device] W .....Junsi iCharger 4010DUO - IsGraphicData --> Telegramm grafikfähig ! 002C10021013AA0001020112006E73
02:59:33,267 [ Device] W .....Junsi iCharger 4010DUO - IsGraphicData --> Telegramm grafikfähig ! 002C1002F816AA0001020112006E73
02:59:33,268 [ Device] W .....Junsi iCharger 4010DUO - IsGraphicData --> Telegramm grafikfähig ! 002C1002E01AAA000102010F006E73
02:59:33,268 [ Main] .....PlaceAxis NEU
02:59:33,336 [ Main] < ....TForm1.Grafik_ChartUpdate
02:59:33,336 [ Main] < ..TForm1.GrafikNeuanzeige
02:59:33,337 [ Common] M ..Chart Repaint -> DS Change !
02:59:33,338 [ Main] < TForm1.DatensatzComboItemClick
02:59:35,515 [ Common] W ChartListBoxMouseDown
02:59:41,443 [ Common] W ChartListBoxMouseDown
02:59:41,500 [ Main] TeeView SetModified = True
File comment Serial logging Debug logging
```

Slika 4.48. Prozor *Debug Logging*

5. REZULTATI TESTIRANJA

U poglavlju su opisani rezultati testiranja karakteristika Li-ion baterija. Sastoji se od četiri podpoglavlja. U prva tri podpoglavlja su prikazani rezultati mjerenja za svaku bateriju posebno. Za svaku bateriju je obavljeno punjenje, pražnjenje i jedan ciklus punjenje–pražnjenje. Za svaki program tablično su dane vrijednosti važnih parametara. Rezultati mjerenja su prikazani grafički. U četvrtom podpoglavlju su uspoređeni dobiveni rezultati.

5.1. Panasonic NCR18650B

Dani su rezultati mjerenja za bateriju Panasonic. Podpoglavlje je podijeljeno na tri dijela: pražnjenje, punjenje i ciklički način rada. Navedene su postavke parametara punjača i prikazane karakteristike izmjerene u programu LogView. Za svaki program su opisane karakteristične točke koje se vide na grafu.

5.1.1. Pražnjenje

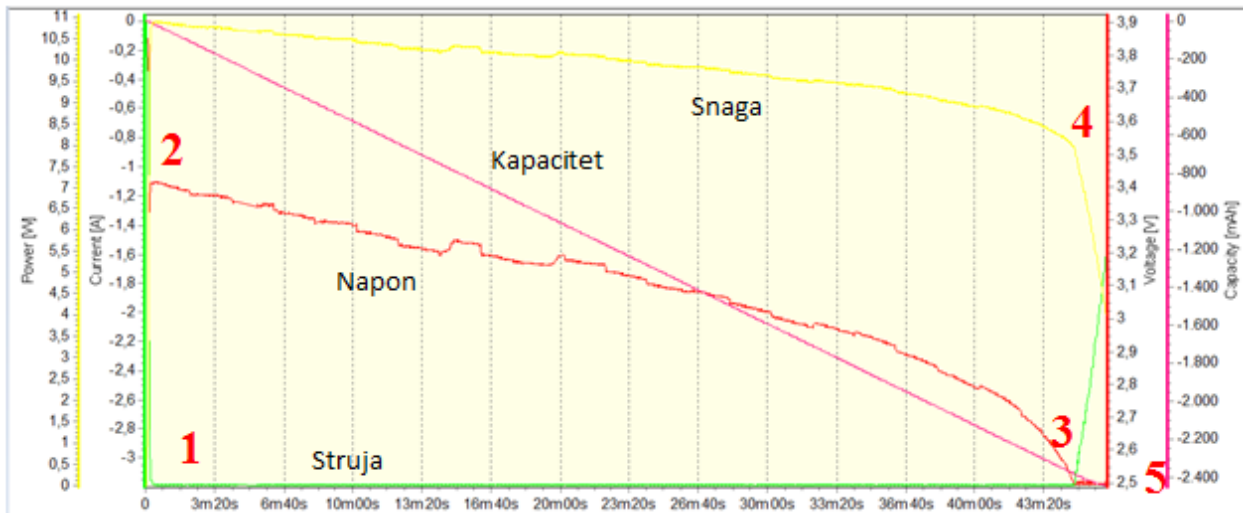
U tablici 5.1. su dani početni parametri pražnjenja Panasonic baterije.

Tablica 5.1. Parametri pražnjenja Panasonic baterije

| Parametar | Iznos |
|------------------------|--------------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Struja pražnjenja | 3,2 A |
| Kapacitet | 3250 mAh |
| Napon kraja pražnjenja | 2,5 V |
| <i>C-faktor</i> | 1C |

U poglavlju 4.2. su objašnjeni parametri pražnjenja koje je potrebno unijeti na Junsu uređaj. Parametri se unose na isti način za svaku testiranu bateriju. S obzirom na to da faktore *Lilo Cap.* i *Cells* uređaj određuje sam, potrebno je unijeti samo dva parametra: Struju pražnjenja (*Current*) i napon kraja pražnjenja (*Dchg Vol*) (Tablica 5.1.). Gledajući *C* faktor, struja pražnjenja treba biti postavljena na 3,25 A. Punjač je baždaren tako da se mogu unijeti vrijednosti s jednom decimalom pa je struja pražnjenja postavljena na 3,2 A. Napon kraja pražnjenja je postavljen na 2,5 V. Rezultati

mjerenja prikazani su na slici 5.1. Graf snage je prikazan žutom bojom, napona crvenom bojom, struje zelenom i kapaciteta roza bojom. Iznad svakog grafa je označeno o kojoj se veličini radi. Brojevima na grafu su označene specifična područja karakteristika.



Slika 5.1. Karakteristike pražnjenja Panasonic baterije

Pražnjenje baterije trajalo je 46 minuta i 21 sekundu. Struja je negativna jer je smjer struje suprotan zbog pražnjenja. Kapacitet je također prikazan kao negativan jer se baterija prazni. U prvih 30 sekundi struja pražnjenja (graf zelene boje) se poveća na zadanu vrijednost te ostaje konstantna do zadnjih 90 sekundi pražnjenja. Povećanje struje je do zadane vrijednosti na grafu označeno brojem 1. Zadnjih 90 sekundi struja se linearno smanjuje sve do prekida pražnjenja. Napon (graf crvene boje) u prvih 10ak sekundi padne sa 3,9 V na 3,4 V zbog povećanja struje. Pad napona označen je brojem 2. Nakon toga se napon postupno smanjuje s manjim oscilacijama sve dok ne dosegne napon kraja pražnjenja koji iznosi 2,5 V. U tom trenutku se struja počinje smanjivati. Trenutak doseganja minimalnog napona označen je brojem 3. oscilira oko vrijednosti 2,5 V do prekida pražnjenja. Pražnjenje se ne prekida odmah kad napon dosegne minimalnu vrijednost jer je u bateriji ostalo još kapaciteta. Snaga (graf žute boje) se povećanjem struje u prvim sekundama povećava do iznosa 10.55 W, a zatim proporcionalno prati napon i postupno se smanjuje smanjenjem napona. Pri kraju snaga padne (označeno brojem 4) jer napon padne na konačnu vrijednost, struja se smanjuje, a snaga je proporcionalna sa strujom i naponom. Kapacitet (graf roza boje) gotovo linearno pada cijelo vrijeme. Kada se kapacitet isprazni iz baterije, nastupa prekid pražnjenja (označeno brojem 5). Vrijednost ispražnjenog kapaciteta na kraju pražnjenja iznosila je $C=2444$ mAh. Razlika u odnosu na nominalnu vrijednost je velika. Izračunom prema izrazu (3-4) dobije se SoC :

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2444}{3250} \cdot 100 \% = 75,2 \%$$

SoC od 75,2 % znači da je prije pražnjenja u bateriji bilo 75,2 % kapaciteta. Prema izrazu (3-5) *DoD* baterije je:

$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 75,2 = 24,8 \%$$

Dubina ispražnjenosti baterije je 24,8 %. Osim degradacije kapaciteta zbog samopražnjenja i broja ciklusa (starenja), razlog manjeg *SoC*-a može biti da baterija nije bila napunjena do maksimalnog kapaciteta.

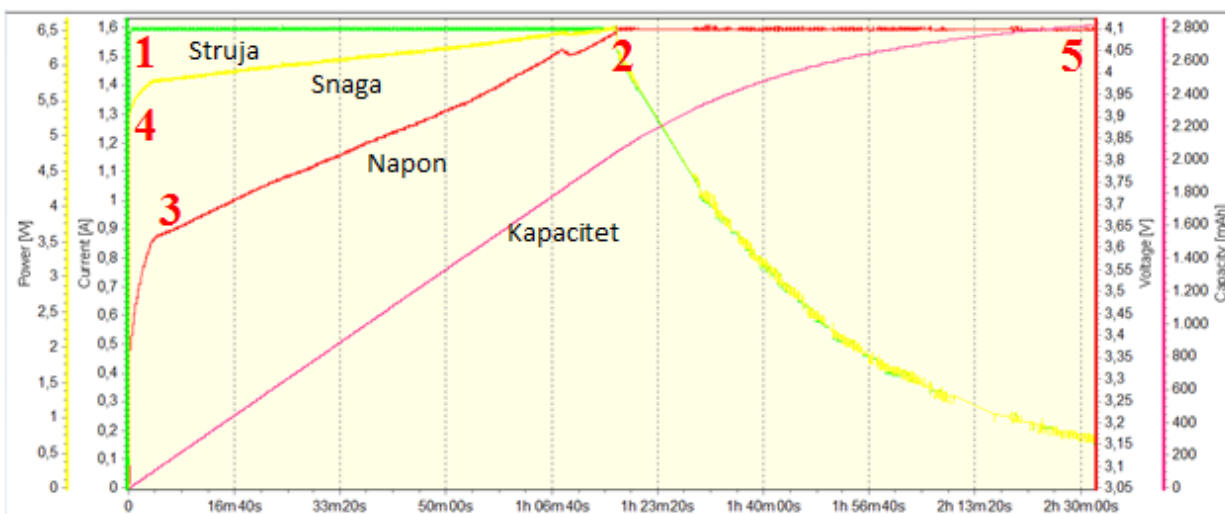
5.1.2. Punjenje

U tablici 5.2. su dani početni parametri punjenja Panasonic baterije.

Tablica 5.2. Parametri punjenja Panasonic baterije

| Parametar | Iznos |
|---------------------------|----------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Maksimalni napon punjenja | 4,1 V |
| Struja punjenja | 1,6 A |
| C-faktor | 0,5C |
| Kapacitet | 3250 mAh |

U uređaj Jungsi je potrebno unijeti samo struju punjenja (*Current*). Parametre *LiIo Cap.*, *Cells* i *CHG Mode* uređaj Jungsi određuje automatski. Struja punjenja je postavljena na 1,6 A. Maksimalni napon punjenja je automatski na punjaču podešen na 4,1 V. Karakteristike punjenja prikazane su na slici 5.2. Brojevima su označena specifična područja na grafu.



Slika 5.2. Karakteristike punjenja Panasonic baterije

Punjenje baterije trajalo je 2 sata 32 minute i 9 sekundi. U prvoj fazi punjenja, fazi konstantne struje (CC), struja (zeleni graf) je u prvih 20 sekundi porasla od 0 do 1,6 A što je struja pražnjenja (označeno brojem 1) te ostaje konstantna do završetka faze. Faza konstantne struje završila je nakon 1 sat 16 minuta i 54 sekunde (označeno brojem 2), što znači da je trajala pola vremena punjenja. Napon punjenja (crveni graf) je u prve 4 minute skočio od 3 V do 3,6 V, (označeno brojem 3) a zatim postupno rastao do 4,1 V, odnosno do kraja faze konstantne struje. Snaga (žuti graf) je na početku imala skok kao struja i napon (označeno brojem 4). U prvih 26 sekundi porasla je do 5,4 W i zatim do kraja faze postupno rasla do 6,5 W što je točka maksimalne snage. Točka maksimalne snage je u točki prijelaza iz punjenja konstantne struje na punjenje konstantnog napona, (točka 2). Struja i napon su u toj točki maksimalni. Kapacitet (roza graf) linearno raste do kraja prve faze i dosegne 2046 mAh. Druga faza, faza konstantnog napona počinje trenutku kada napon dosegne 4,1 V. Napon je ostao konstantan sve do kraja punjenja. Struja i snaga su se postupno smanjivale sve dok struja nije dosegla 0,15 A, što je 0,09 % struje punjenja. U tom trenutku nastupa kraj punjenja (označeno točkom 5). Kapacitet je u drugoj fazi postupno u obliku parabole malog nagiba rastao do 2818 mAh. SoC iznosi:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2818}{3250} \cdot 100 \% = 86,7 \%$$

a DoD:

$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 86,7 = 13,3 \%$$

Od tih 13,3 % ispražnjenosti jedan dio je degradirani kapacitet i on se ne može povratiti. *SoC* punjenja je veći od *SoC* pražnjenja za 11,5 % što potvrđuje pretpostavku da baterija nije bila napunjena do kraja.

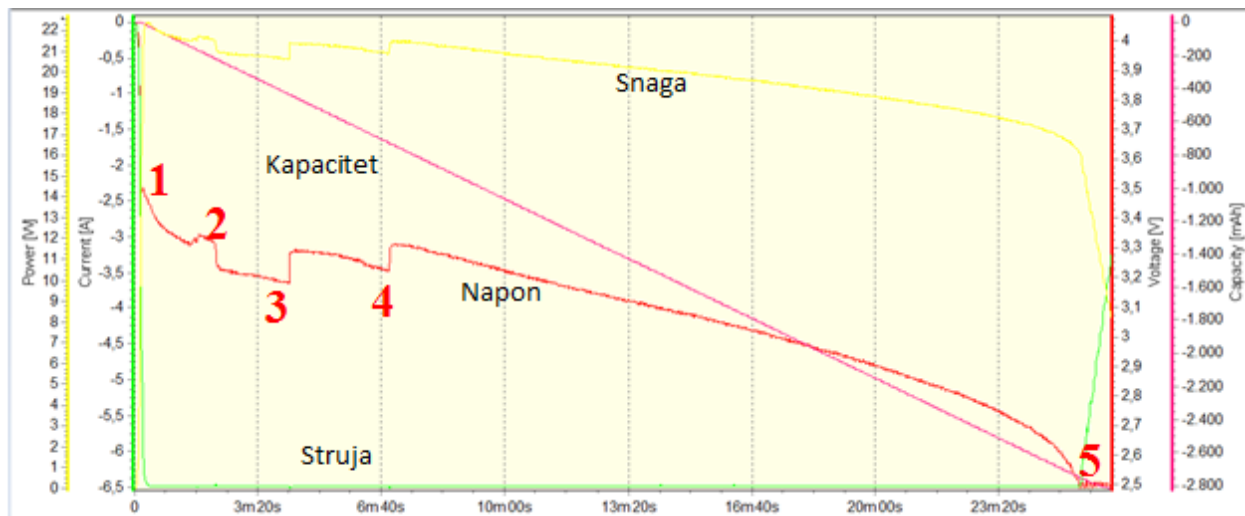
5.1.3. Ciklički način rada

Razlike između cikličkog načina rada i standardnog punjenja i pražnjenja je u tome što se kod cikličkog načina ciklusi puno brže ponavljaju pa baterija ima malo vremena za hlađenje i rekuperaciju, dok kod standardnog načina rada baterija može dulje vrijeme biti van uporabe. Ciklus se sastoji od pražnjenja, čekanja i punjenja. Parametri punjenja i pražnjenja se ne mijenjaju, osim struja punjenja i pražnjenja koje se postavljaju na maksimalne dozvoljene vrijednosti (prilozi 1-3). U tablici 5.3. dani su početni parametri pražnjenja.

Tablica 5.3. Parametri cikličkog pražnjenja Panasonic baterije

| Parametar | Iznos |
|------------------------|--------------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Struja pražnjenja | 6,5 A |
| Kapacitet | 3250 mAh |
| Napon kraja pražnjenja | 2,5 V |
| C-faktor | 2C |

Na slici 5.3. prikazane su karakteristike cikličkog pražnjenja Panasonic baterije. Grafovi su prikazani istim bojama kao kod punjenja i pražnjenja.



Slika 5.3. Karakteristike cikličkog pražnjenja Panasonic baterije

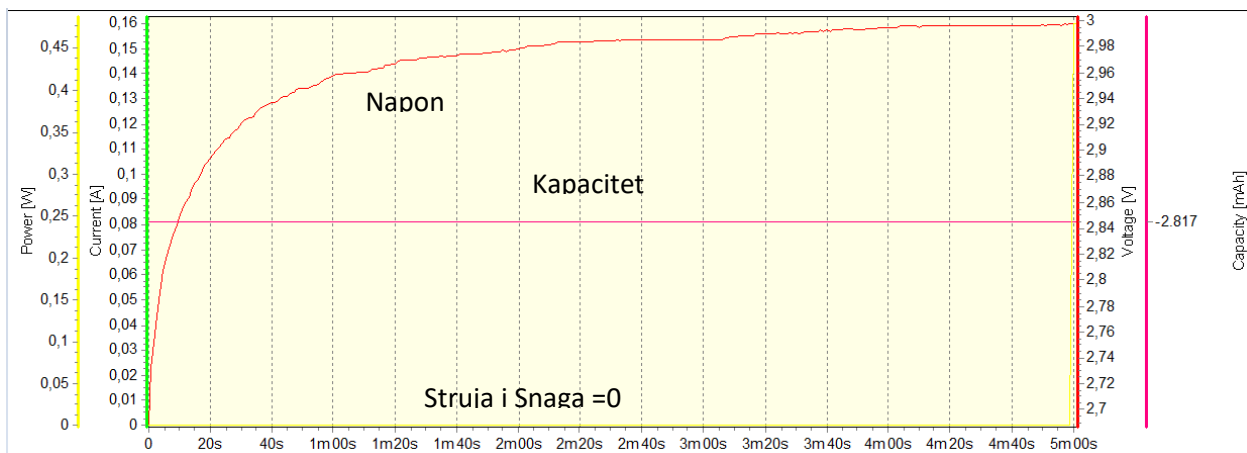
Cikličko pražnjenje trajalo je 26 minuta i 22 sekunde što je dvostruko brže nego u prethodnom slučaju. Razlog tome je što se struja pražnjenja povećala za 2 puta. Struja (zeleni graf) se ponaša isto kao kod standardnog punjenja. Razlika u odnosu na standardno pražnjenje je iznos struje pražnjenja. Napon pražnjenja (crveni graf) na početku iznosi 4,06 V. Kao i kod standardnog pražnjenja napon na početku padne. U ovome slučaju na 3,5 V (oznaka 1). Nakon toga pad napona ima manji nagib. Oznakama 2,3 i 4 označeni su skokovi napona. Uzrok skokovima je povećanje unutarnjeg otpora zbog pada temperature. Napon do kraja pražnjenja postupno pada. Snaga se ponaša kao i kod standardnog punjenja. Kada se dogode pad i skokovi napona dogode se i skokovi snage. Kapacitet se linearno prazni. U trenutku prekida (oznaka 5) kapacitet je iznosio 2816 mAh. *SoC* iznosi:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2816}{3250} \cdot 100 \% = 86,64 \%$$

DoD iznosi:

$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 86,64 \% = 13,36 \%$$

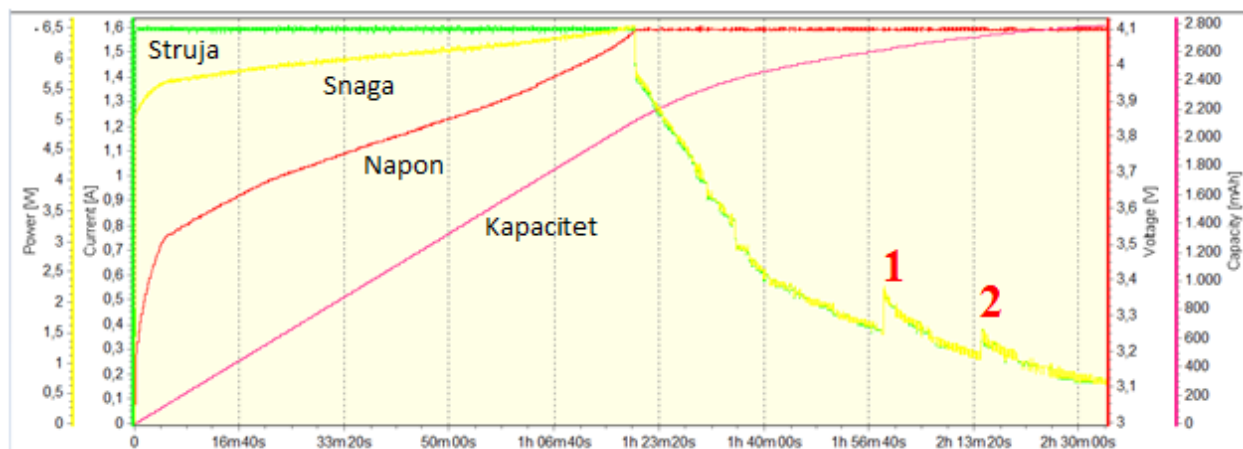
Delay je vrijeme čekanja između pražnjenja i punjenja, služi kako bi se baterija ohladila jer veće struje pražnjenja više zagrijavaju bateriju. Također služi kako bi se napon podigao s napona prekida. Na slici 5.4. prikazane su karakteristike za *Delay*.



Slika 5.4. Karakteristike vremenske odgode Panasonic baterije

U ovom načinu rada baterija se odmara. Vrijeme trajanja je 5 minuta. Struja i snaga su jednake nuli. Napon se za vrijeme prebacivanja iz jednog načina u drugi podigao sa 2,5 na 2,68 V, i zatim se postupno povećava do 2,99 V. Kapacitet se za vrijeme prebacivanja smanjio za 1 mAh i konstantno iznosi 2817 mAh.

Kada istekne 5 minuta odgode, započinje cikličko punjenje. Parametri cikličkog punjenja isti su kao kod standardnog punjenja, jer je maksimalna struja punjenja $0,5C$ (prilog 1). Prema tome, tablica parametara je tablica 5.2. Karakteristike punjenja prikazane su na slici 5.5. Graf struje prikazan je zelenom bojom, graf napona crvenom bojom, graf kapaciteta rozom, a graf snage žutom. Brojevima su označene specifičnosti postupka.



Slika 5.5. Karakteristike cikličkog punjenja Panasonic baterije

Punjenje je trajalo 2 sata 34 minute i 23 sekunde. Trajalo je za 2 minute više nego standardno. Razlog tome je sporiji rast napona u prvoj fazi punjenja i zato jer se baterija nije ohladila pa je teže nadoknaditi izgubljeni kapacitet. Karakteristike izgledaju isto kao kod standardnog punjenja. Prva faza završila je nakon 1 sat 19 minuta i 28 sekundi. Struja u drugoj fazi pada postepeno do 0,15 A. U dvije situacije je došlo do skoka struje. (oznake 1 i 2) U tim trenucima dolazi do pada otpora zbog povećanja temperature baterije. Snaga opada sa smanjenjem struje. Kada se dogode skokovi struje, dogode se i skokovi snage. Točka maksimalne snage je 6,55 W. Napon se ponaša kao kod standardnog punjenja. Početni napon iznosi 2,99 V. Kapacitet se postepeno povećava do 2786 mAh. To daje *SoC* od:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2786}{3250} \cdot 100 \% = 85,72 \%$$

DoD iznosi:

$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 85,72 \% = 14,28 \%$$

5.2. Sony US18650VTC5

U podpoglavlju su opisani rezultati mjerenja za postupke punjenja, pražnjenja i cikličkog rada za bateriju Sony. U svakom podpoglavlju dani su parametri za podešavanje Junsu uređaja i prikazane su karakteristike i karakteristična područja izmjerene u programu *LogView*.

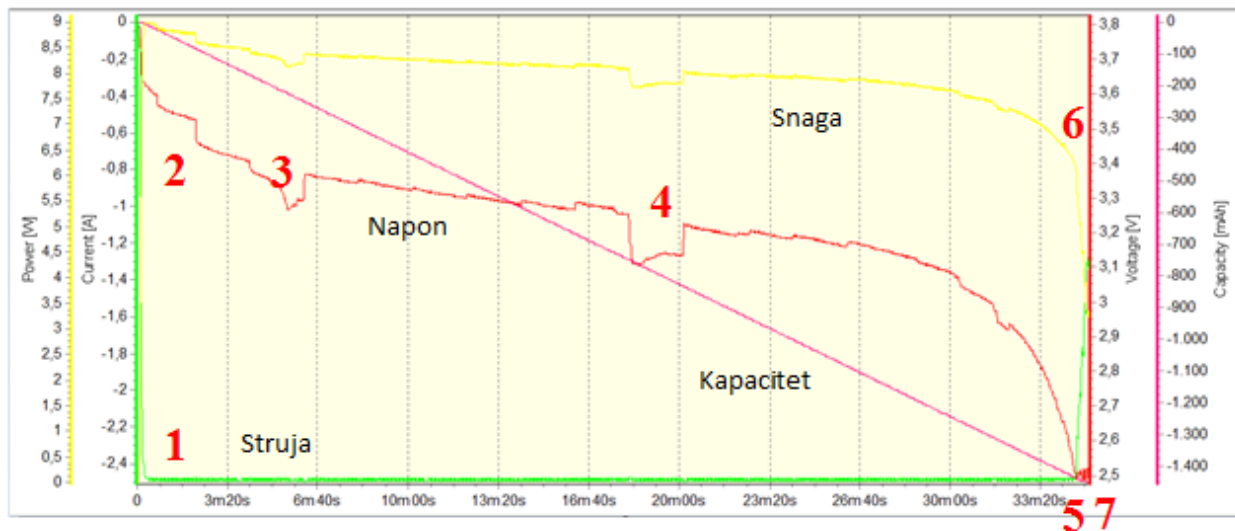
5.2.1. Pražnjenje

Početni parametri za pražnjenje Sony baterije dani su u tablici 5.4. Parametri se unose kao i za prvu bateriju.

Tablica 5.4. Parametri pražnjenja Sony baterije

| Parametar | Iznos |
|------------------------|----------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Struja pražnjenja | 2,5 A |
| Kapacitet | 2563 mAh |
| Napon kraja pražnjenja | 2,5 V |
| C-faktor | 1C |

Na slici 5.6. su prikazane izmjerene karakteristike pražnjenja baterije. Svaki mjereni parametar je imenovan na grafu. Karakteristična područja označena su brojevima.



Slika 5.6. Karakteristike pražnjenja Sony baterije

Pražnjenje baterije trajalo je 35 minuta i 8 sekundi. Karakteristike se ponašaju kao kod pražnjenja prve baterije. Povećanje struje pražnjenja (zeleno krivulja) do nazivne vrijednosti označeno je brojem 1. Struja zatim ostaje konstantna dok napon ne dosegne minimalnu vrijednost. Napon (crvena krivulja) ima strmi pad sa vrijednosti 3,8 V na 3,3 V prvih pet minuta (područje označeno brojem 2). Za dva trenutka napon ima nagli propad, kratko konstantno padanje a zatim nagli skok. Promjene napona su označene brojevima 3 i 4. U tim trenucima dolazi do promjene unutarnjeg otpora i temperature. Trenutak kada napon dosegne minimalnu vrijednost označen je brojem 5. Struja se počne smanjivati, a napon oscilira dok se ne isprazni kapacitet. Snaga (žuta krivulja) se smanjuje proporcionalno s naponom. Kada napon ima propade i snaga ima propade. Brojem 6 označeno je linearno smanjivanje snage za minimalnu vrijednost napona. Kapacitet (roza krivulja) se smanjuje linearno do 1452 mAh. U tom trenutku pražnjenje se prekida (označeno brojem 7). SoC iznosi:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{1452}{2563} \cdot 100 \% = 56,65 \%$$

a DoD:

$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 56,65 = 43,35 \%$$

Kapacitet baterije je dosta smanjen, razlog može biti da baterija nije napunjena do kraja ili je već bila ispražnjena do tog stanja. Baterije se prestaju koristiti pri 70-80 % *SoC*-a, tako da se punjenjem mora provjeriti stvarni *SoC*.

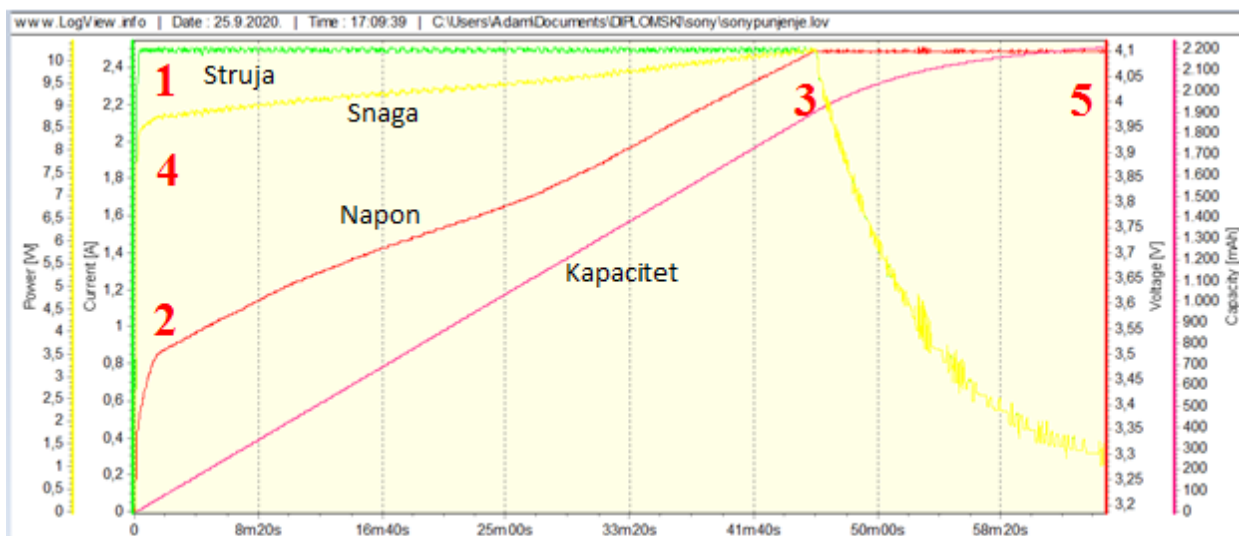
5.2.2. Punjenje

Parametri punjenja nalaze se u tablici 5.5. Punjenje se izvodi kao i kod prve baterije. Način unosa parametara punjenja je isti za svaku bateriju. Parametri punjenja se uzimaju iz priloga danog na kraju rada.

Tablica 5.5. Parametri punjenja sony baterije

| Parametar | Iznos |
|---------------------------|--------------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Maksimalni napon punjenja | 4,1 V |
| Struja punjenja | 2,5 A |
| <i>C-faktor</i> | 1C |
| Kapacitet | 2563 mAh |

Baterija ima veliku struju punjenja. Očekivanje je da punjenje traje sat vremena jer je *C-faktor* 1C. Karakteristike punjenja prikazane su na slici 5.7. Posebna područja karakteristika su označena brojevima.



Slika 5.7. Karakteristike punjenja Sony baterije

Punjenje baterije trajalo je 1 sat 5 minuta i 19 sekundi. Baterija se napunila u očekivanom vremenu. Karakteristika struje izgledom je ista kao i kod punjenja prve baterije. U fazi konstantne struje, struja (zelena krivulja) poraste do struje punjenja (označeno brojem 1) i ne mijenja se do završetka faze, (područje označeno brojem 3). Faza konstantne struje završila je nakon 45 minuta i 34 sekunde. Napon punjenja (crvena krivulja) je u početku imao skok od 3,18 V do 3,49 V (označeno brojem 2), a zatim rastao do kraja faze, gdje ima vrijednost napona punjenja (oznaka 3). Skok snage (žuta linija) prikazan je brojem 4. Točka maksimalne snage je 10,28 W i nalazi se na prijelazu između faza (oznaka 3). Kapacitet (roza krivulja) linearno raste do kraja prve faze i dosegne 1900 mAh. Faza konstantnog napona počinje trenutku kada napon dosegne 4,1 V. Struja i snaga su se postupno smanjivale sve dok struja nije dosegla 0,25 A, što je 10 % struje punjenja. Kapacitet je u drugoj fazi rastao do 2208 mAh (točka 5). *SoC* iznosi:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2208}{2563} \cdot 100 \% = 86,14 \%$$

a *DoD*:

$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 86,14 \% = 13,86 \%$$

SoC punjenja je veći od *SoC* pražnjenja za 29,73 %. Što potvrđuje pretpostavku da kod pražnjenja baterija nije bila napunjena do kraja ili je ispražnjena do kapaciteta koji je prikazan kod pražnjenja.

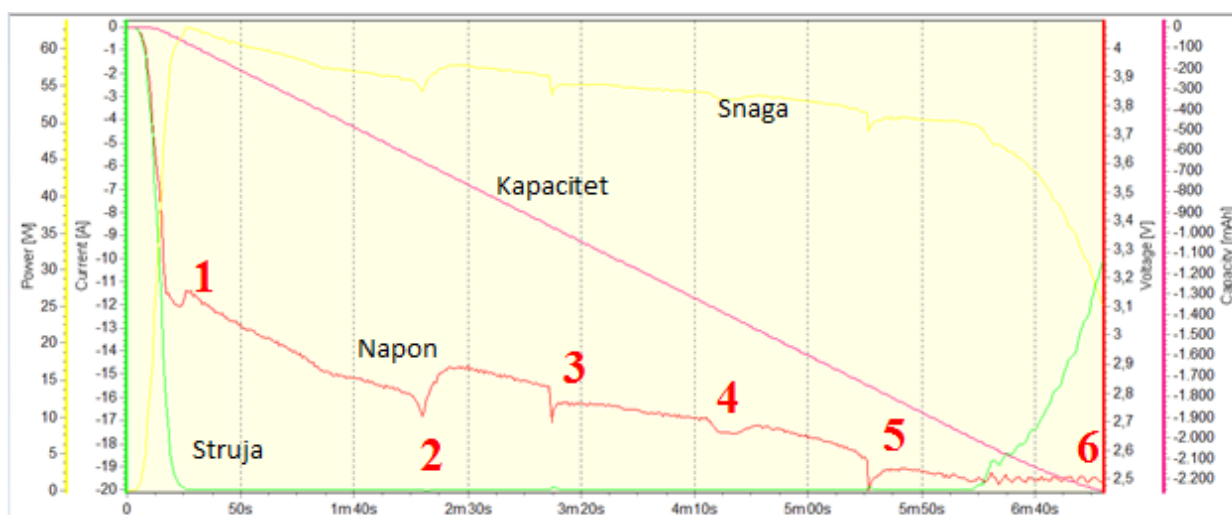
5.2.3. Ciklički način rada

Kod cikličkog pražnjenja struja pražnjenja postavljena je na 20 A. Parametri punjenja dani su u tablici 5.6. Struja pražnjenja je 8C. Očekuje se da će pražnjenje trajati jako kratko zbog velike struje pražnjenja.

Tablica 5.6. Parametri Cikličkog pražnjenja

| Parametar | Iznos |
|------------------------|----------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Struja pražnjenja | 20 A |
| Kapacitet | 2563 mAh |
| Napon kraja pražnjenja | 2,5 V |
| <i>C</i> -faktor | 8C |

Slika 5.8. prikazuje karakteristike cikličkog pražnjenja.



Slika 5.8. Karakteristike cikličkog pražnjenja Sony baterije

Pražnjenje je trajalo 7 minuta i 10 sekundi. Razlog tome je velika struja pražnjenja (prikazana žutim grafom). Karakteristike se ponašaju kao pri standardnom pražnjenju. Napon pražnjenja (crveni graf) na početku iznosi 4,07 V. Tijekom cijelog pražnjenja dolazi do propada i skokova napona. Propadi su označeni brojevima 1-5. Zbog velike struje pražnjenja baterija se zagrijala te zbog toga dolazi do promjena unutarnjeg otpora, a time i do promjena napona. Snaga (žuti graf) se ponaša

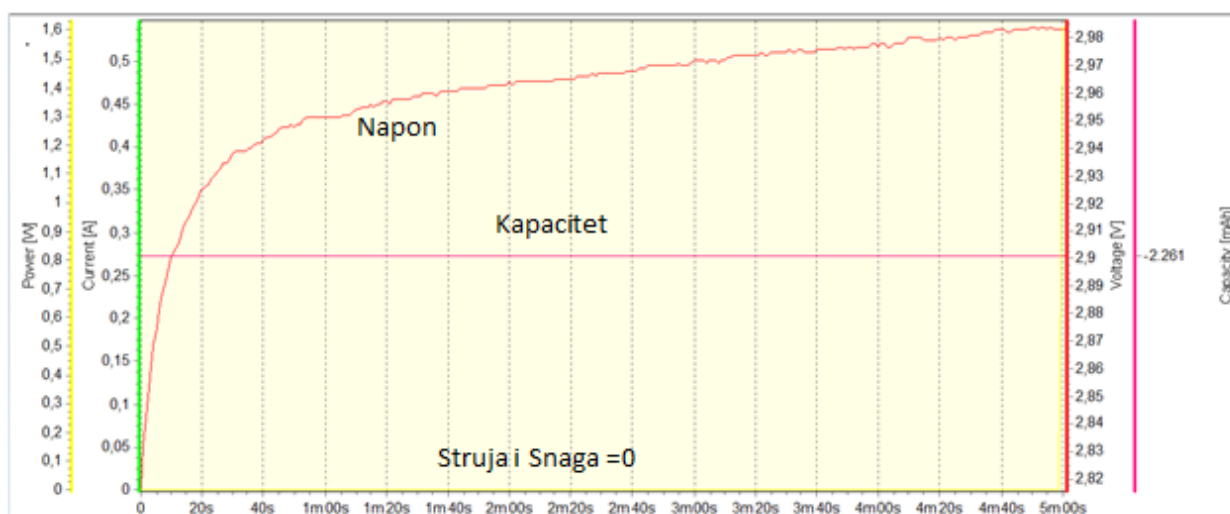
proporcionalno struji i naponu. Kapacitet se linearno prazni (rozi graf). U trenutku prekida kapacitet je iznosio 2259 mAh (oznaka 6). SoC iznosi :

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2259}{2563} \cdot 100 \% = 88,13 \%$$

A DoD :

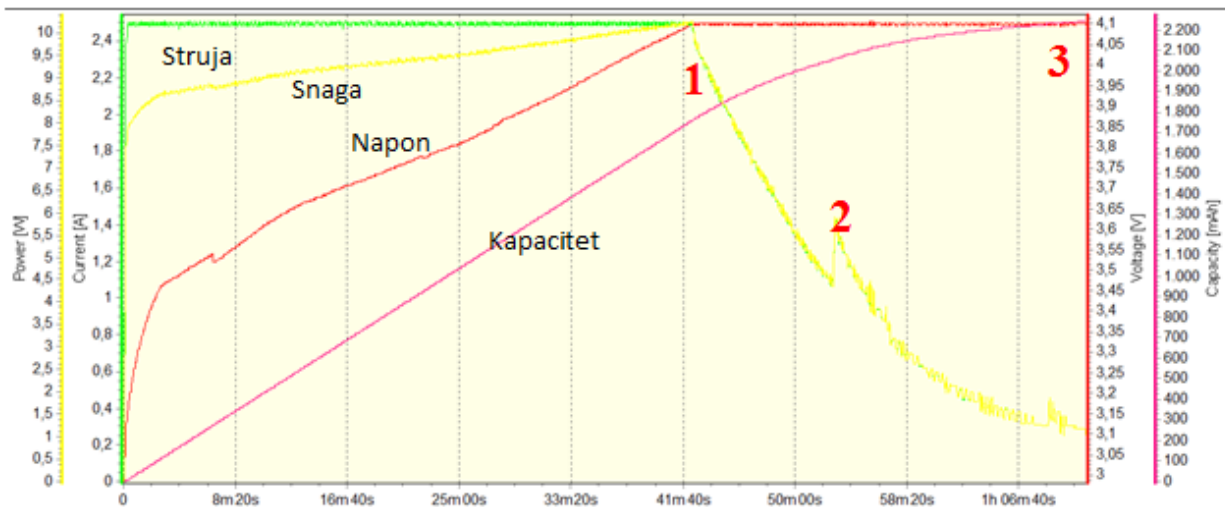
$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 88,13 \% = 11,87 \%$$

$Delay$ traje 5 minuta. Struja i snaga su jednake nuli. Napon se za vrijeme prebacivanja iz jednog načina u drugi podigao sa 2,5 na 2,81 V, i zatim se postupno povećava do 2,98 V. Kapacitet se za vrijeme prebacivanja smanjio za 2 mAh i konstantan je. Karakteristike odgođenog rada su prikazane na slici 5.9.



Slika 5.9. Karakteristike vremenske odgode Sony baterije

Parametri cikličkog punjenja isti su kao kod standardnog punjenja, jer je u prilogu preporučeno da se baterija ne puni s više od 1C. Parametri su dani u tablici 5.5. Karakteristike cikličkog punjenja su prikazane na slici 5.10.



Slika 5.10. Karakteristike cikličkog punjenja Sony baterije

Punjenje je trajalo 1 sat 11 minuta i 41 sekunde. Trajalo je za 6 minuta više nego standardno jer je baterija bila pražnjena većom snagom i više se zagrijala. Karakteristike se ponašaju kao kod standardnog punjenja. Prva faza završila je nakon 42 minute i 17 sekundi (oznaka 1). Struja (zelena linija) u drugoj fazi pada postepeno do 0,25 A. U jednom trenutku dolazi do skoka struje (oznaka 2). U tim trenucima dolazi do pada otpora zbog povećanja temperature. Snaga (žuta linija) opada sa smanjenjem struje. U točki promjene faza točka maksimalne snage je 10,26 W (oznaka 1). Napon (crvena linija) ima strmi skok od 2,99 V do 3,45 V, a zatim se postupno povećava do maksimalnog. Kapacitet (roza linija) se postepeno povećava do 2244 mAh, (oznaka 3). To daje *SoC*:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2244}{2563} \cdot 100 \% = 87,55 \%$$

a *DoD*:

$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 87,55 \% = 12,45 \%$$

5.3. LG18650HG2

Podpoglavlje prikazuje rezultate mjerenja za bateriju LG. Kao i kod prve dvije baterije, provedeni su postupci punjenja, pražnjenja i cikličog načina rada. Karakteristike mjerenih parametara su prikazane na grafovima, a početni parametri su dani u tablicama.

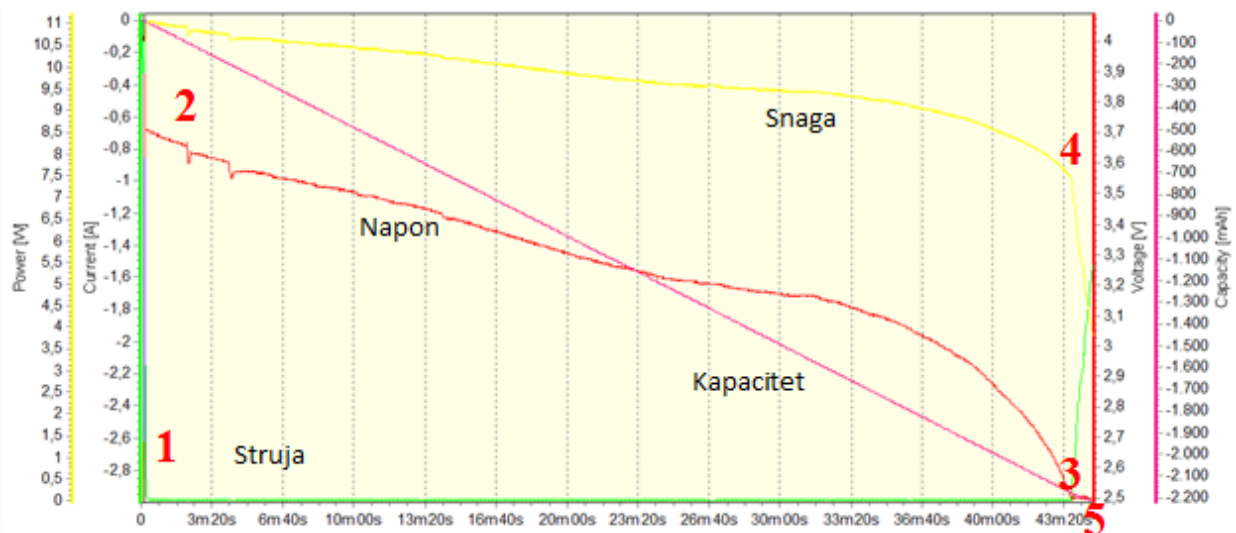
5.3.1. Pražnjenje

Postupak pražnjenja odvija se kao i kod prve dvije testirane baterije. Parametri pražnjenja dani su u tablici 5.7.

Tablica 5.7. Parametri pražnjenja LG baterije

| Parametar | Iznos |
|------------------------|----------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Struja pražnjenja | 3 |
| Kapacitet | 3000 mAh |
| Napon kraja pražnjenja | 2,5 V |
| <i>C-faktor</i> | 1C |

Karakteristike pražnjenja prikazane su na slici 5.11.



Slika 5.11. Karakteristike pražnjenja LG baterije

Karakteristike pražnjenja LG baterije ne razlikuju se mnogo izgledom od Sony i Panasonic baterije. Pražnjenje je trajalo 44 minute i 42 sekunde. Struja (zeleno linija) se povećava na vrijednost struje pražnjenja (broj 1 na slici) te ostaje konstantna do napona kraja pražnjenja. U tom trenutku se počinje smanjivati. Napon pražnjenja (crvena linija) na početku iznosi 4,06 V, ima propad do 3,7 V (područje 2), a zatim se postupno smanjuje do minimalne vrijednosti (područje 3) . Snaga (žuta linija) se smanjuje proporcionalno naponu. Pri kraju snaga padne (područje 4) jer napon padne na konačnu vrijednost, struja se smanjuje, a snaga je proporcionalna sa strujom i naponom. Kapacitet (roza linija) linearno pada cijelo vrijeme. Vrijednost ispražnjenog kapaciteta na kraju pražnjenja iznosila je 2214 mAh, (točka 5). Razlika u odnosu na nominalnu vrijednost je velika. *SoC* je

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2214}{3000} \cdot 100 \% = 73,8 \%$$

DoD baterije je:

$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 73,8 \% = 26,2 \%$$

Osim degradacije kapaciteta zbog samopražnjenja i broja ciklusa (starenja), razlog može biti da baterija nije bila napunjena do maksimalnog kapaciteta.

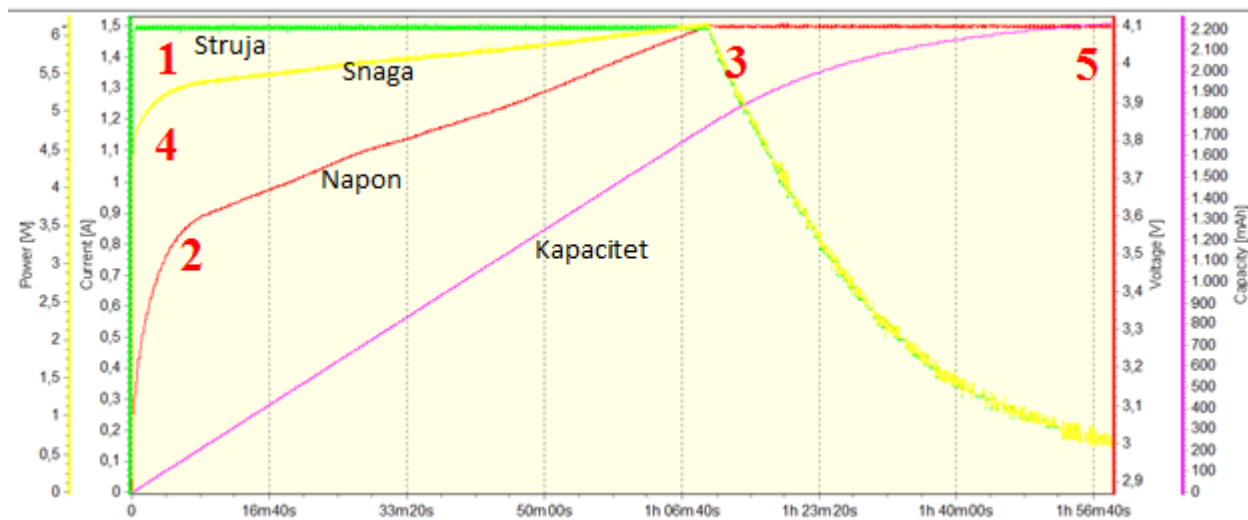
5.3.2. Punjenje

Parametri punjenja dani su u tablici 5.8.

Tablica 5.8. Parametri punjenja LG baterije

| Parametar | Iznos |
|---------------------------|----------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Maksimalni napon punjenja | 4,1 V |
| Struja punjenja | 1,5 A |
| <i>C</i> -faktor | 1C |
| Kapacitet | 3000 mAh |

Karakteristike punjenja prikazane su na slici 5.12.



Slika 5.12. Karakteristike punjenja LG baterije

Punjenje baterije trajalo je 1 sat 58 minuta i 54 sekunde. Izgled karakteristika je kao kod prethodne dvije baterije. Graf struje prikazan je zelenom bojom, graf napona crvenom bojom, graf kapaciteta rozom, a graf snage žutom. Brojevima su označena specifična područja punjenja. Oznake 1,4 i 2 na slici označavaju redom skokove struje, snage i napona. Napon je skočio od 2,87 do 3,5 V. Oznaka 3 označava područje prijelaza između faze konstantne struje i faze konstantnog napona. Struja se tada počinje smanjivati, a napon je konstantan. Oznaka 5 pokazuje kraj punjenja. Faza konstantne struje završila je nakon 1 sat 9 minuta i 44 sekunde. Točka maksimalne snage je 6,1 W. Kapacitet do kraja prve faze dosegne 1740 mAh. Struja i snaga su se postupno smanjivale sve dok struja nije dosegla 0,14 A, što je 0,09 % struje punjenja. Kapacitet je u drugoj fazi rastao do 2230 mAh. *SoC* iznosi:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2230}{3000} \cdot 100 \% = 74,33 \%$$

a *DoD*:

$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 74,33 \% = 25,67 \%$$

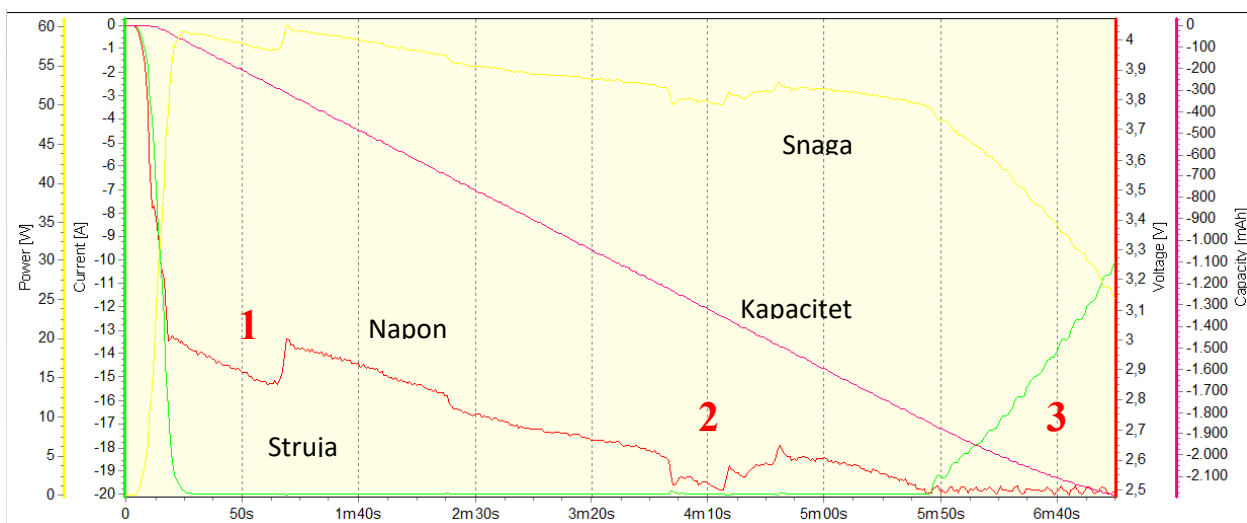
5.3.3 Ciklički način rada

U tablici 5.9. dani su parametri cikličkog pražnjenja.

Tablica 5.9. Parametri cikličkog pražnjenja LG baterije

| Parametar | Iznos |
|------------------------|----------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Struja pražnjenja | 20 A |
| Kapacitet | 3000 mAh |
| Napon kraja pražnjenja | 2,5 V |
| <i>C-faktor</i> | 6C |

Struja cikličkog pražnjenja postavljena je na 20 A. Napon kraja pražnjenja je 2,5 V. Na slici 5.13. su prikazane karakteristike pražnjenja.



Slika 5.13. Karakteristike cikličkog pražnjenja LG baterije

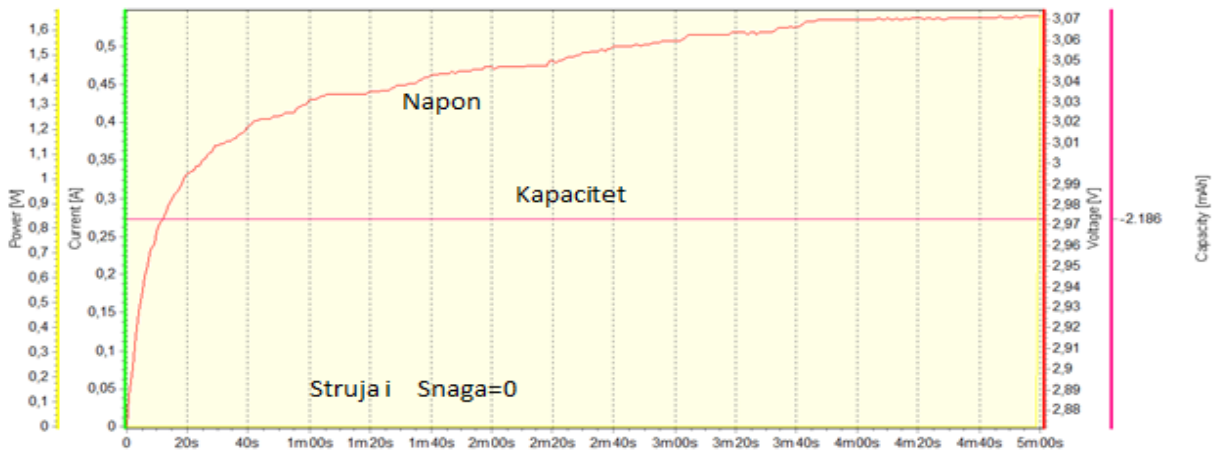
Pražnjenje je trajalo 7 minuta i 5 sekundi. Razlog tome je velika struja pražnjenja. Struja (zeleno) se u prvih 30 sekundi poveća na vrijednost struje pražnjenja te ostaje konstantna do napona kraja pražnjenja. U tom trenutku počinje padati. Napon pražnjenja (crvena linija) na početku iznosi 4,04 V. Napon na početku padne na 3 V. Tijekom cijelog pražnjenja dolazi do propada i skokova napona. (oznake 1 i 2) Zbog velike struje pražnjenja baterija se jako zagrijala te zbog toga dolazi do

različitog unutarnjeg otpora. Kapacitet (roza linija) se linearno prazni. U trenutku prekida (oznaka 3) kapacitet je iznosio 2186 mAh. SoC iznosi:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2186}{3000} \cdot 100 \% = 72,86 \%$$

DoD iznosi: $DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 72,86 \% = 27,1 \%$

$Delay$ je trajao 5 minuta. Struja i snaga su jednake nuli. Napon se za vrijeme prebacivanja iz jednog načina u drugi podigao sa 2.5 na 2.87 V, i zatim se postupno povećava do 3,07 V. Kapacitet je za vrijeme prebacivanja ostao konstantan. Karakteristike odgođenog rada su prikazane na slici 5.14.



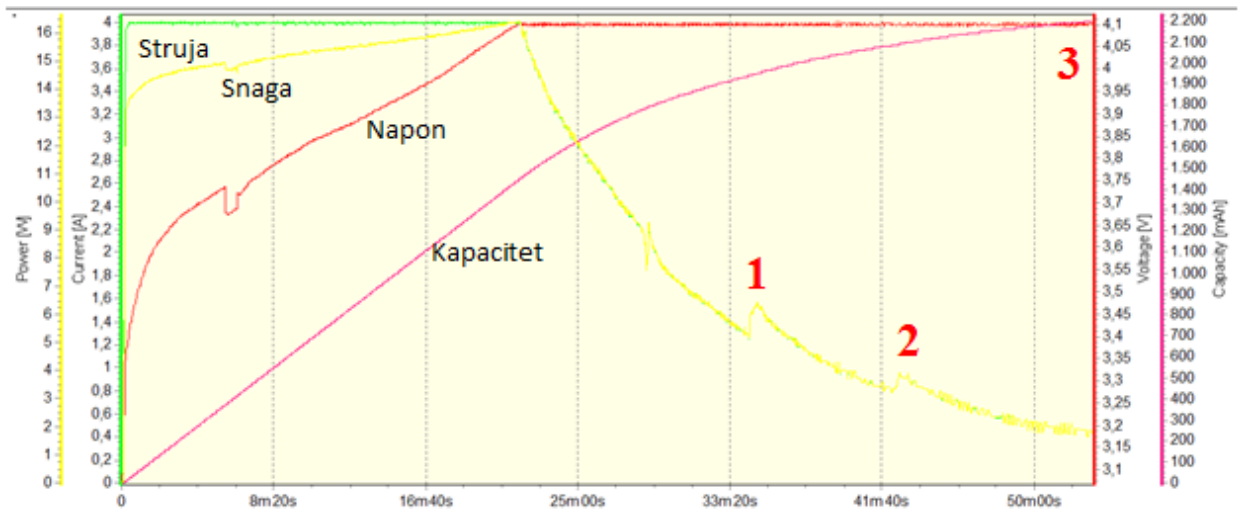
Slika 5.14. Karakteristike vremenske odgode

Kod cikličkog punjenja struja punjenja je postavljena na 4 A. Parametri punjenja su dani u tablici 5.10.

Tablica 5.10. Parametri punjenja LG baterije

| Parametar | Iznos |
|---------------------------|----------|
| Nominalni napon | 3,6 V |
| Maksimalni napon punjenja | 4,1 V |
| Struja punjenja | 4 A |
| C -faktor | 1C |
| Kapacitet | 3000 mAh |

Karakteristike cikličkog punjenja su prikazane na slici 5.15. Karakteristike su slične kao kod standardnog punjenja.



Slika 5.15. Karakteristike cikličkog punjenja

.Punjenje je trajalo 53 minute i 13 sekundi. Zbog veće struje pražnjenja se dvostruko brže napunila. Prva faza završila je nakon 21 minute i 43 sekunde. Struja (zeleni linija) u drugoj fazi pada postepeno do 0,41 A. U 2 trenutka dolazi do skoka struje (oznake 1 i 2). U tim trenutcima došlo je do pada otpora zbog povećanja temperature. Snaga (žuta linija) opada sa smanjenjem struje. Napon u prvoj minuti ima strmi skok od 3,09 V do 3,55 V, a zatim se postupno povećava do maksimalnog. Kapacitet (roza linija) se postepeno povećava do 2200 mAh oznaka 3). To daje SoC:

$$SoC = \frac{C_{bat}}{C_{max}} \cdot 100 \% = \frac{2200}{3000} \cdot 100 \% = 73,33 \%$$

DoD je:

$$DoD = 100\% - SoC = 100\% - 73,33 = 26,67\%$$

5.4. Uspoređivanje mjerenih karakteristika

U podpoglavlju su dane tablice sa usporedbom mjerenih parametara za standardne načine rada i za ciklički način rada. U tablici 5.11. prikazane su vrijednosti parametara za standardno punjenje i pražnjenje, a u tablici 5.12 su prikazane vrijednosti parametara za ciklički način rada.

Tablica 5.11. Mjereni parametri baterija pri standardnom načinu rada

| Program | Parametar | Baterija | | |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | | Panasonic | Sony | LG |
| PRAŽNJENJE | | | | |
| | Struja pražnjenja [A] | 3,2 | 2,5 | 3 |
| | <i>C-faktor</i> | 1C | 1C | 1C |
| | Početni napon [V] | 3,9 | 3,8 | 4,06 |
| | Napon kraja pražnjenja [V] | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| | Kapacitet [mAh] | 2444 | 1452 | 2214 |
| | Nominalni kapacitet [mAh] | 3250 | 2563 | 3000 |
| | SoC [%] | 75,2 | 56,65 | 73,8 |
| | Trajanje [h, min, sec] | 46 min 26 sec | 35 min 8sec | 44 min 42 sec |
| PUNJENJE | Struja punjenja [A] | 1,6 | 2,5 | 1,5 |
| | <i>C-faktor</i> | 0,5C | 1C | 0,5C |
| | Početni napon [V] | 3,05 | 3,18 | 2,87 |
| | Napon kraja punjenja [V] | 4,1 | 4,1 | 4,1 |
| | Kapacitet [mAh] | 2818 | 2208 | 2230 |
| | Maksimalna snaga [W] | 6,57 | 10,28 | 6,1 |
| | Struja prekida punjenja [A] | 0,15 | 0,25 | 0,14 |
| | SoC [%] | 86,7 | 86,14 | 74,33 |
| | Trajanje [h, min, sec] | 2 h 32 min 9 se | 1 h 5min 19 sec | 1 h 58 min 54 sec |

Tablica 5.12. Mjereni parametri baterija pri cikličkom načinu rada

| Program | Parametar | Baterija | | |
|-------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| PRAŽNJENJE | | Panasonic | Sony | LG |
| | Struja pražnjenja [A] | 6,5 | 20 | 20 |
| | <i>C-faktor</i> | 2 | 8 | 6 |
| | Početni napon [V] | 4,06 | 4,07 | 4,04 |
| | Napon kraja pražnjenja [V] | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| | Kapacitet [mAh] | 2816 | 2259 | 2186 |
| | SoC [%] | 86,64 | 88,13 | 72,86 |
| | Trajanje [h, min, sec] | 26 min 22 sec | 7 min 10 sec | 7 min 5 sec |
| PUNJENJE | Struja punjenja [A] | 1,6 | 2,5 | 4 |
| | Početni napon [V] | 2,99 | 2,98 | 3,09 |
| | Napon kraja punjenja [V] | 4,1 | 4,1 | 4,1 |
| | Kapacitet [mAh] | 2786 | 2244 | 2200 |
| | Maksimalna snaga [W] | 6,55 | 10,26 | 16,41 |
| | Struja prekida punjenja [A] | 0,15 | 0,25 | 0,41 |
| | SoC [%] | 85,72 | 87,55 | 73,33 |
| | Trajanje [h, min, sec] | 2 h 34 min 23 sec | 1 h 11 min 41 sec | 53 min 13 sec |

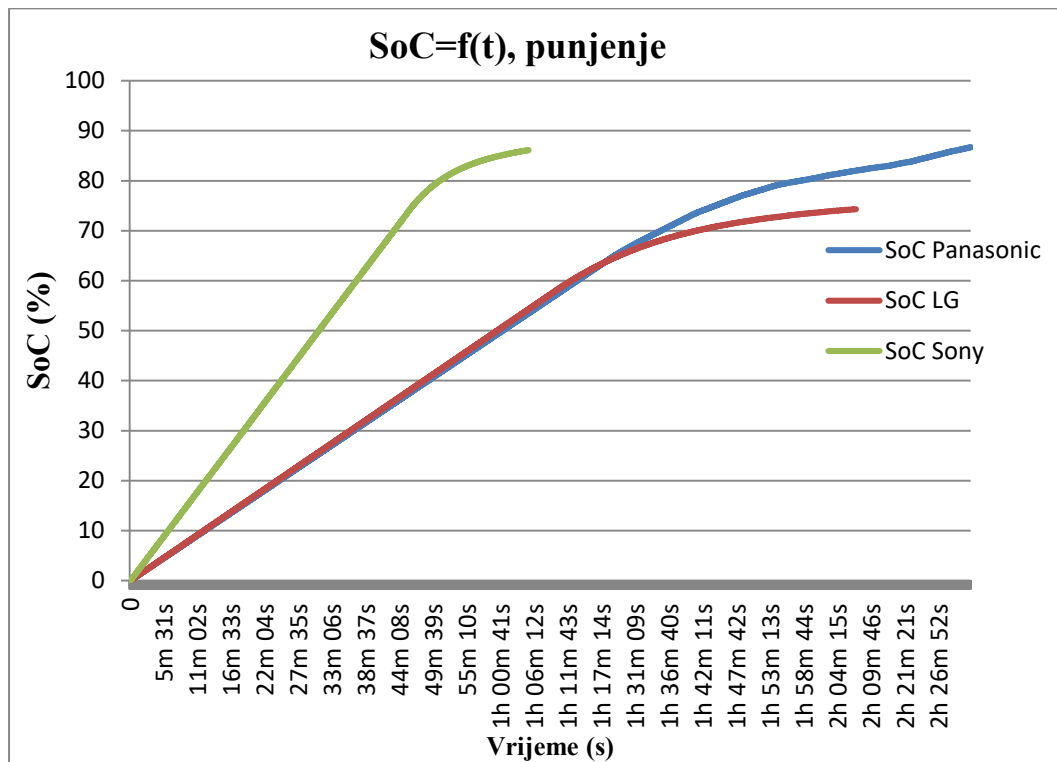
Kod standardnog pražnjenja baterije su imale isti *C-faktor* i on je iznosio $1C$. Prema tom faktoru očekivanje je bilo da se baterije isprazne kroz sat vremena bez obzira na to što imaju različitu struju pražnjenja. Sve tri baterije su se ispraznile prije predviđenog roka zbog smanjenog dostupnog kapaciteta. Panasonic je imala 75,2 % kapaciteta, Sony 56,65 %, a LG 73,8 %. Punjenjem je utvrđeno da baterije Panasonic i Sony nisu bile dovoljno napunjene, ili su bile ispražnjene do izmjerene kapaciteta. Baterija LG je imala sličan *SoC* punjenja i pražnjenja što znači da je bila puna kada se praznila. Njezin maksimalni dostupni kapacitet iznosi $SoC = 74,33\%$. Kod standardnog načina rada najbolji *SoC* ima baterija Panasonic, a iznosi 86,7%. Sony baterija ima $SoC = 86,14\%$ što

je za 0,3 % manje od Panasonic baterije pa se može reći da imaju isti *SoC*. Iako Panasonic ima veći nominalni kapacitet, nije u prednosti nad Sony baterijom. Početni napon baterija pri pražnjenju je sličan. Napon je veći od nominalnog jer baterija nije opterećena. Taj napon se zove napon otvorenog kruga (engl. OCV- open circuit voltage). Napon pražnjenja baterije je isti za sve tri baterije i iznosi 2,5 V. Kada napon padne na vrijednost 2,5 V pražnjenje se prekida. Ako se baterija odmori neko vrijeme prije punjenja, napon baterije će se sam podići do napona otvorenog kruga. Na početnom naponu kod punjenja se vidi da se polako počeo podizati na nominalne vrijednosti. Naponi se razlikuju jer su baterije imale različito vrijeme odmora, ovisno o poretku punjenja. Ovisnost vremena trajanja o *C-faktoru* i struji punjenja i pražnjenja se može vidjeti u obje tablice. U prvoj tablici najbrže je napunjena i ispražnjena Sony baterija, ali treba uzeti u obzir i da je kod pražnjenja imala najmanje kapaciteta, a kod punjenja najveću struju punjenja i također ima najmanji nominalni kapacitet. Bateriji Panasonic je bilo potrebno najduže vremena za pražnjenje i za punjenje kod oba načina rada jer može uskladištiti najviše kapaciteta i ima malu struju punjenja kod cikličkog načina rada.

Kod cikličkog načina rada su vrijednosti struje punjenja i pražnjenja su podešavane na maksimalne vrijednosti. Kod cikličkog pražnjenja baterije su opterećene velikom strujom i iscrpio se gotovo sav kapacitet koji je bio napunjen u standardnom načinu rada. Najveći *SoC* u cikličkom načinu rada imala je Sony baterija. Povećao se sa 86,14% na 88,13%. Kod Sony baterije može se primijetiti da se potrošilo više kapaciteta nego što se napunilo u standardnom načinu. Razlog tome je postojanje rezervnog kapaciteta koji baterija oslobodi kada dođe do kritičnih trenutaka. Ulogu u tome ima i punjač koji nastoji ne preopteretiti bateriju kod punjenja i pražnjenja. Punjač čuva bateriju tako da prekida punjenje i pražnjenje kada napon i struja dođu do minimalnih/maksimalnih vrijednosti iako je možda ostalo još kapaciteta za napuniti/isprazniti. U slučaju Sony baterije je opterećenje bilo veliko, a ostalo je dovoljno "skrivenog" kapaciteta koji se mogao iskoristiti. Kod cikličkog punjenja vidljivo je da se napunilo manje kapaciteta nego što je potrošeno pri pražnjenju. To se dogodilo jer baterija nije imala dovoljno vremena da se ohladi pa je zbog više temperature teže nadoknaditi izgubljeni kapacitet. Najveću točku maksimalne snage ima ona baterija koja ima najveću struju punjenja. Kod standardnog načina rada to je baterija Sony, a kod cikličkog načina rada to je baterija LG.

SoC je važan za životni vijek i sigurnost baterija. Program *LogView* ne mjeri i ne prikazuje *SoC*. Za svaku bateriju *SoC* je izračunat pomoću izraza (3-3) i izvezene Excel tablice mjerenih podataka. Ovisnost *SoC* o vremenu prikazuje ovisnosti za sve tri baterije za punjenje, pražnjenje i ciklički način rada.

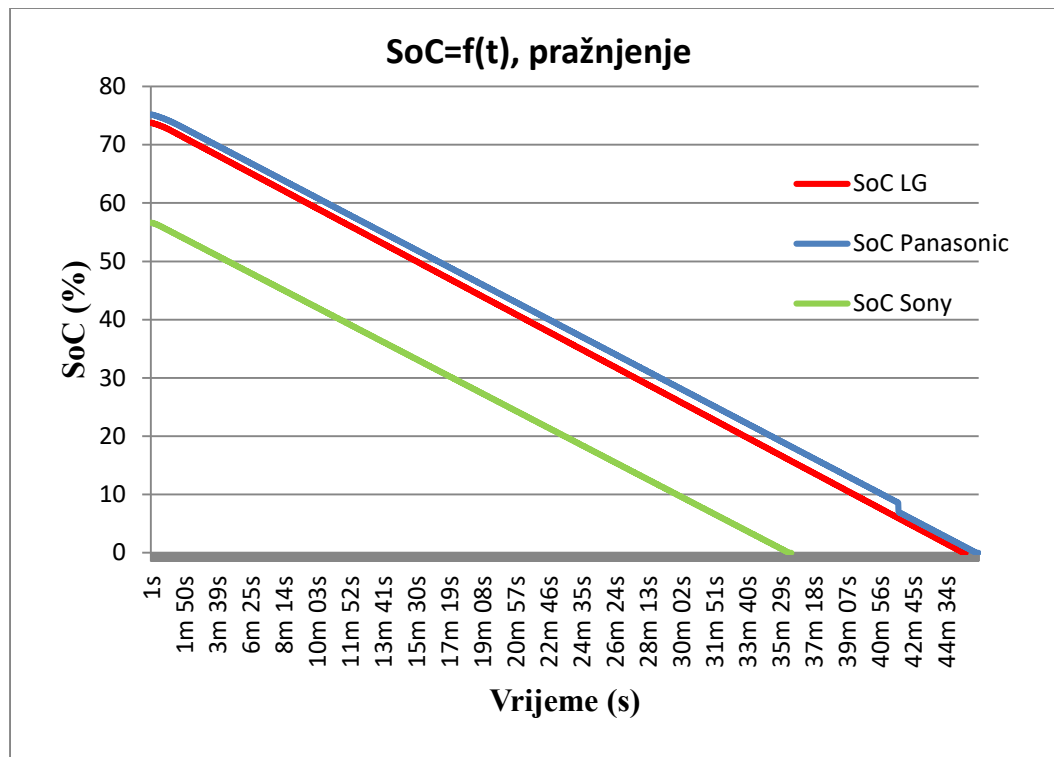
Na slici 5.16. prikazana je ovisnost *SoC*-a punjenja baterija o vremenu.



Slika 5.16. Ovisnost *SoC* o vremenu punjenja

Na grafu se vidi da kod punjenja *SoC* raste s vremenom. Sony i LG imaju sličan kapacitet, ali Sony ima veći *SoC*. Sony baterija se najbrže napunila do svog maksimalnog kapaciteta. Panasonic bateriji je trebalo najdulje vremena da se napuni. LG baterija iako nema najmanji nominalni kapacitet, ima najmanji *SoC*, odnosno najveću dubinu ispražnjenosti.

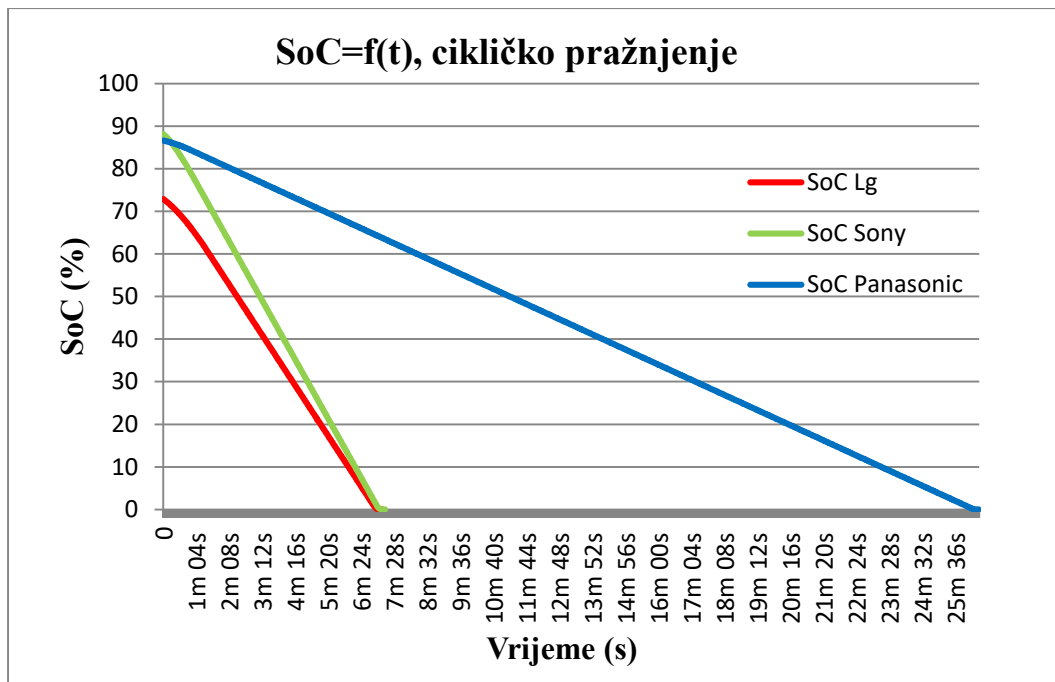
Na slici 5.17. Prikazana je ovisnost SoC -a pražnjenja o vremenu.



Slika 5.17. Ovisnost SoC o vremenu pražnjenja

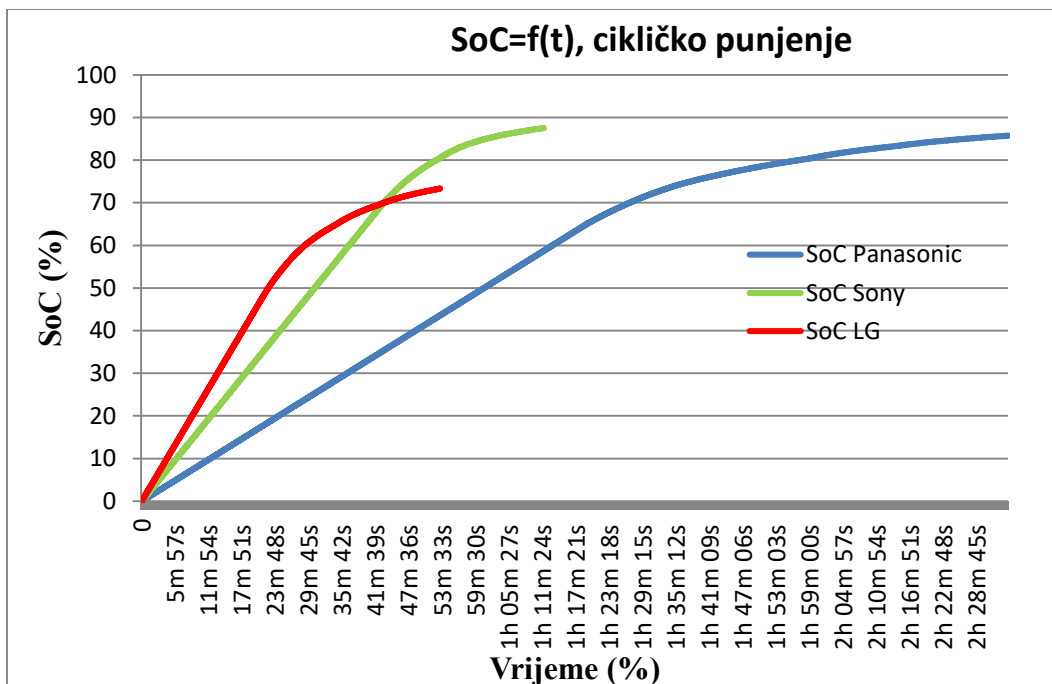
Na grafu se vidi da se SoC smanjuje pražnjenjem baterije. Najmanji početni SoC je imala Sony baterija. Razlog je taj što nije bila napunjena do kraja. Kapacitet se smanjuje linearno pa se i SoC smanjuje linearno.

Kod cikličkog pražnjenja SoC se smanjuje kao i kod standardnog pražnjenja. Zbog velikih struja pražnjenja se baterija brzo isprazni što znači da se i SoC brzo smanjuje pa je i nagib karakteristike strm. Baterija panasonic je pražnjena strujom 3 puta manjom pa zbog toga karakteristika ima manji nagib. Karakteristike su prikazane na slici 5.18.



Slika 5.18. Ovisnost SoC o vremenu, cikličko pražnjenje.

Na slici 5.19. prikazana je ovisnost SoC o vremenu za cikličko punjenje.



Slika 5.19. Ovisnost SoC o vremenu, cikličko punjenje

SoC se ponaša kao kod standardnog punjenja, s vremenom raste jer se baterija puni. *SoC* baterije LG najbrže dođe do konačne vrijednosti jer baterija LG ima najveću struju punjenja i napunila je najmanje kapaciteta. Bateriji Panasonic je potrebno najduže vremena da *SoC* postigne konačnu vrijednost jer ona ima najviše kapaciteta i najmanju struju punjenja. Najveći *SoC* ima baterija Sony koja ima veću struju punjenja od Panasonic baterije i više kapaciteta od LG baterije. U bateriji Sony se degradiralo najmanje kapaciteta.

ZAKLJUČAK

Testiranjem karakteristika Li-ion baterija pomoću punjača/praznjača Junsu i mjerenjem podataka u programu LogView olakšano je baratanje s osnovnim parametrima baterije. Prednost programa LogView je što se podaci mjerenja mogu spremiti na računalo, a zatim se obrađivati bez da su baterije i punjač spojeni. U jednu datoteku se može spremiti više programa, što je prednost jer se za svaku bateriju mogu odraditi svi programi i spremiti u jednu datoteku. Time je pojednostavljeno baratanje mjerenim podacima. Punjenje i pražnjenje baterija zahtjeva dosta vremena. Vrijeme ovisi o *C-faktoru*, odnosno jakosti struje punjenja/praznjenja i dostupnom kapacitetu baterije. Pri većim strujama baterije se brže pune i prazne, ali se i zagrijavaju, što loše utječe na kapacitet baterije. Kada se baterija prazni konstantnom strujom, dolazi do smanjenja napona pražnjenja. Minimalni napon pražnjenja pri kojem se pražnjenje prekida je za većinu baterija 2,5 V. Kapacitet se smanjuje linearno. Kod punjenja baterija napon se postepeno podiže dok ne dosegne maksimalnu vrijednost napona punjenja i ostaje konstantan dok struja ne padne ispod minimalne vrijednosti koja za sve tri baterije iznosi oko 10%. U tom trenutku je punjenje gotovo. Dio punjenja u kojem je struja konstantna naziva se punjenje konstantnom strujom a dio punjenja gdje je napon konstantan je punjenje konstantnim naponom, taj dio punjenja se zove i faza zasićenja.

Kada su baterije pražnjene i punjene maksimalnim strujama punjenja i pražnjenja kod cikličkog načina rada, primijeti se razlika u *SoC*-u, to jest dostupnom kapacitetu. Baterija se napuni do manjeg kapaciteta nego što ga je imala prije pražnjenja, kada se baterija isprazni maksimalnom strujom pražnjenja. Razlog tome je opterećenost baterije koja se nije stigla dovoljno ohladiti, pa je zbog visoke temperature teže nadoknaditi izgubljeni kapacitet. Također na malu razliku utječe i punjač koji prekida punjenje kada struja dosegne minimalnu vrijednost, iako postoji mogućnost punjenja još male količine izgubljenog kapaciteta koji se može povratiti.

Testiranjem karakteristika baterija pokazano je da su sve baterije pretrpjele degradaciju kapaciteta. Najbolji *SoC* ima baterija *SonyUS18650VTC5*, a najlošiji baterija *LG18650HG2*. Sony ima *SoC* = 88,13 %, Panasonic *SoC* = 86,7 % i LG *SoC* = 74,33 %. Kapacitet se degradirao zbog starenja baterija, velikog broja ciklusa punjenja i pražnjenja i velikih struja pražnjenja. Ovi rezultati pokazuju da veći kapacitet baterije ne znači i bolju iskoristivost baterije. Baterija s najmanjim nominalnim kapacitetom je pokazala najbolje rezultate što znači da ima bolju gustoću energije. Preporuka je nabaviti nove baterije, posebno LG jer je dostupni kapacitet pao ispod 80 %. Baterija

Panasonic ima najviše kapaciteta u bateriji što je velika prednost, ali nedostatak je dugotrajno punjenje. Zbog toga je za uporabu od testiranih baterija najbolja baterija Sony. Da su baterije bile nove, neki mjereni parametri bi se razlikovali i možda bi neka druga baterija imala bolje karakteristike.

Ovaj rad može poslužiti kao korisna smjernica za laboratorijske vježbe za kolegije na FERIT-u Primijenjenu energetsku elektroniku te Pogonske sustave i vozila. Zbog dugog trajanja izvođenja punjenja i pražnjenja, preporuka je koristiti baterije koje se mogu puniti i prazniti većom strujom kako bi se trajanje postupka smanjilo. Dodatna preporuka se odnosi na nabavljanje temperaturnog senzora koji inače ne spada u osnovnu opremu za punjač pražnjač, ali se može naknadno naručiti.

LITERATURA

[1] J. Warner, *The handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology*, Elsevier, 2015.

[2] A. M. Skundin, V. S. Bagotsky, Y. M. Volkovich, *Electrochemical Power Sources: Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2015.

[3] I. Buchmann, BU-208: Cycling performance, Battery University, Cadex Electronics Inc., dostupno na:

https://batteryuniversity.com/learn/article/battery_performance_as_a_function_of_cycling

[26.09.2020]

[4] W.Y. Chang, "The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review", *International Scholarly Research Notices*, vol. 2013, Article

ID 953792, 7 pages, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/953792> (26.09.2020.)

[5] D. Linden, T. B. Reddy, *Handbook of batteries*, McGraw-Hill, 2001.

[6] Saidani, F., Hutter, F. X., Scurtu, R.-G., Braunwarth, W., and Burghartz, J. N.: Lithium-ion battery models: a comparative study and a model-based powerline communication, *Adv. Radio Sci.*, 15, 83–91, <https://doi.org/10.5194/ars-15-83-2017>, 2017 dostupno na:

https://www.researchgate.net/publication/319983930_Lithium-ion_battery_models_A_comparative_study_and_a_model-based_powerline_communication/fulltext/59c5115ca6fdccc71914c86e/Lithium-ion-battery-models-A-comparative-study-and-a-model-based-powerline-communication.pdf

[7] C. Tallner, S. Lannetoft, Batteries or Supercapacitors as energy storage in HEVs, Dept. of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University.

https://www.iea.lth.se/publications/MS-Theses/Full%20document/5194_full_document.pdf

(24.09.2020.)

[8] Dong, B., Ahmed, K., Li, Y., Ozkan, C., & Ozkan, M. (2017). Characterization of Thermal Behavior of Commercial NCR 18650B Batteries under Varying Cycling Conditions. *MRS Advances*, 2(54), 3329-3334. doi:10.1557/adv.2017.457 dostupno na

<https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-advances/article/characterization-of-thermal-behavior-of-commercial-ncr-18650b-batteries-under-varying-cycling-conditions/285C48EE10ED5A239B1D48E1AE60C221>

- [9] Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER). M. Delimar, H. Pandžić. Spremnici energije, Četvrto predavanje – Baterijski spremnici.
- [10] I. Buchmann, BU-302: Series and Parallel Battery Configurations, Battery University, Cadex Electronics Inc., dostupno na:
https://batteryuniversity.com/learn/article/serial_and_parallel_battery_configurations [21.09.2020].
- [11] T.B. Ready, Linden's Handbook of Batteries, McGraw Hill, 4. Izdanje, 2010.
- [12] K.Uddin, A.Picarelli, C.Lyness, N.Taylor, J.Marco, An Acausal Li-Ion Battery Pack Model for Automotive Applications, Energies 2014, 7(9), 5675-5700. Dostupno na:
<https://www.mdpi.com/1996-1073/7/9/5675/htm>
- [13] I.Buchmann, Basics about batteries, training series, Battery University Cadex Electronics Inc.
- [14] Massachusetts Institute of Technology (MIT). MIT Electric Vehicle Team (2008). A guide to understanding battery specifications.
- [15] Dept. of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University
<http://www.cleanpng.com/png-battery-charger-lithium-ion-battery-electric-batte-4875357/>
[27.09.2020]
- [16] TechSci Research, Manufacturing Lithium- Ion Batteries, 2018. Dostupno na:
<https://www.techsciresearch.com/blog/manufacturing-lithium-ion-batteries/29.html> [27.09.2020]
- [17] I. Buchmann, BU-205: Types of Lithium-ion, Battery University Cadex Electronics Inc.
https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
- [18] I. Buchmann, BU-307: How does Electrolyte work, Battery University Cadex Electronics Inc.
https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_307_electrolyte [27.09.2020]
- [19] I.Buchmann, BU-501: Basics about discharging, Battery University Cadex Electronics Inc.
https://batteryuniversity.com/learn/article/discharge_methods [27.09.2020.]
- [20] Buchmann, I. (2018). Battery University, BU-501a: Discharge Characteristics of Li-ion. Cadex Electronics, https://batteryuniversity.com/learn/article/discharge_characteristics_li [27.09.2020.]
- [21] I.Buchmann, BU-409: Charging Lithium-ion, Battery University Cadex Electronics Inc.
https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries [27.09.2020.]

[22] I.Buchmann, BU-802b: What does elevated self-discharge do , Battery University Cadex Electronics Inc.

[23] B.Tomašević: Aktivni BMS za balansiranje 5 ćelija spojenih u seriju, dostupno na:
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos%3A2171> (24.09.2020.)

[24] Shenzhen New Junsu Electronic Co.,Ltd, 4010 Duo users manual download: dostupno na:
http://www.hillrc.com/UploadFiles/4010DUO_Manual_en.pdf [27.09.2020]

[25] iCharger NZ, Battery chargers, Icharger 4010 Duo, dostupno na:
<https://www.icharger.co.nz/icharger-4010-duo> [24.09.2020.]

SAŽETAK

Navedeni su i opisani osnovni parametri baterija. Opisani su dijelovi Li-ion baterija i ukratko objašnjene kemijske reakcije redukcije i oksidacije. Na pregled su dane upute za provođenje testiranja karakteristika baterija i za korištenje *Junsi iCharger 4010 Duo*. U praktičnom dijelu testirane su karakteristike baterija tri različita proizvođača: LG, Sony i Panasonic. Provođenjem testiranja i analizom rezultata mjerenja u programu *LogView* prikazane su prednosti i mane testiranih baterija.

Ključne riječi: C-faktor, Junsi pražnjač/punjač, Li-ion baterija, parametri baterija, stanje napunjenosti baterije

TITLE: Testing the characteristics of selected Li-Ion batteries with a Junsi discharger / charger

ABSTRACT:

Basic parameters of batteries are listed and described. Main parts of Li-ion batteries are described and the chemical reactions of reduction and oxidation are briefly explained. Instructions are provided for battery performance testing and for Junsi iCharger 4010 Duo use. In the practical part, the characteristics of the batteries from three different manufacturers were tested: LG, Sony and Panasonic. Advantages and disadvantages of tested batteries are shown by first testing, then analyzing the results in the LogView software.

Key words: C-factor, Junsi discharger/charger, Li-ion battery, battery parameters, battery state of charge

ŽIVOTOPIS

Adam Vukovac rođen je 5. Srpnja 1995. u Slavonskom Brodu. Živi u Sikirevcima, gdje je pohađao osnovnu školu Sikirevci koju završava 2010. godine. Iste godine upisuje „Gimnaziju Matija Mesić“ u Slavonskom Brodu, koju završava 2014. godine. Dotadašnje školovanje rezultiralo je školskim, županijskim i regionalnim natjecanjima iz matematike i tehničke kulture. Osvajanje drugog mjesta na županijskom natjecanju iz matematike i trećeg mjesta na županijskom natjecanju iz tehničke kulture potiče upis na preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu, sada Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Nakon prve godine opredjeljuje se za izborni blok Elektroenergetika. Nakon završenog preddiplomskog studija upisuje diplomski studij elektrotehnike, smjer Elektroenergetika, izborni blok DEB–Održiva elektroenergetika. Za vrijeme studiranja odrađuje praksu u tvrtki HEP, sudjeluje na Elekrijadi, STEM games-ima i na međunarodnom Smart Grid Congress-u.

PRILOZI

Prilog 1: Podatkovna tablica baterije Panasonic NCR18650 B

Panasonic Lithium Ion NCR18650B

Features & Benefits

- High energy density
- Long stable power and long run time
- Ideal for notebook PCs, boosters, portable devices, etc.

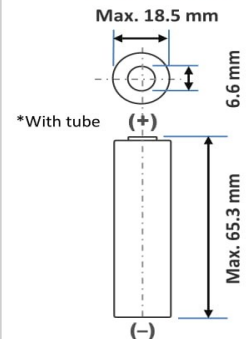
* At temperatures below 10°C, charge at a 0.25C rate.

Specifications

| | |
|-------------------------------|---|
| Rated capacity ⁽¹⁾ | Min. 3200mAh |
| Capacity ⁽²⁾ | Min. 3250mAh Typ. 3350mAh |
| Nominal voltage | 3.6V |
| Charging | CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs |
| Weight (max.) | 48.5 g |
| Temperature | Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C |
| Energy density ⁽³⁾ | Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg |

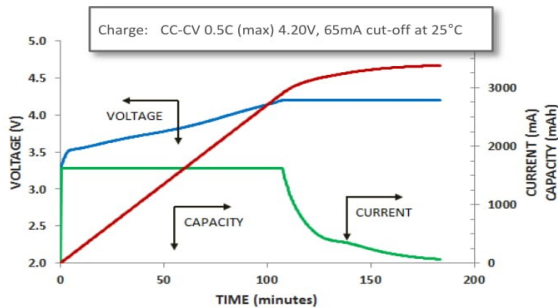
⁽¹⁾ At 20°C ⁽²⁾ At 25°C ⁽³⁾ Energy density based on bare cell dimensions

Dimensions

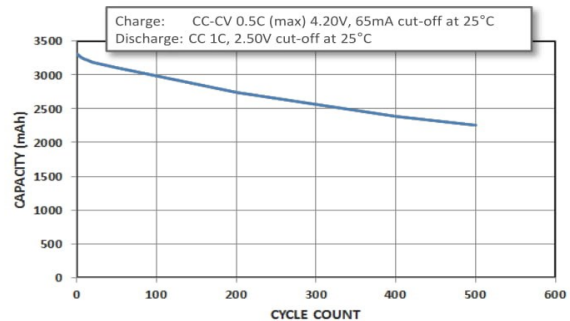


For Reference Only

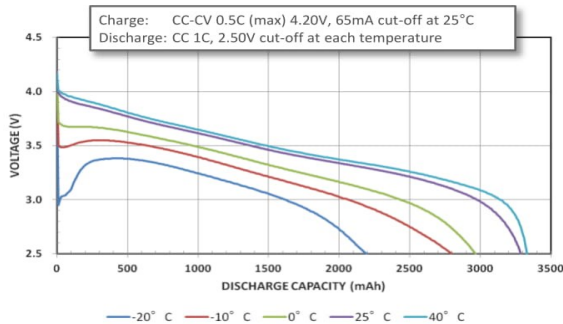
Charge Characteristics



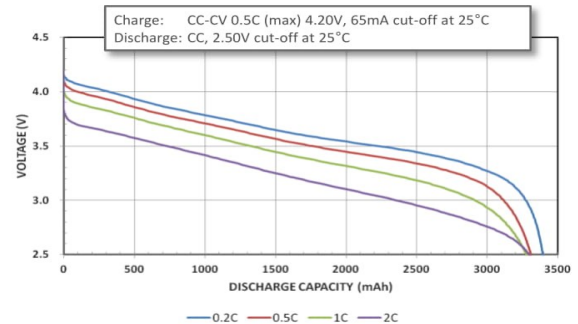
Cycle Life Characteristics



Discharge Characteristics (by temperature)



Discharge Characteristics (by rate of discharge)



The data in this document is for descriptive purposes only and is not intended to make or imply any guarantee or warranty.

For more information on how Panasonic can assist you with your battery power solution needs, visit us at www.panasonic.com/industrial/batteries-oem, e-mail secsales@us.panasonic.com, or call (469) 362-5600.

Technical Information of LG 18650HG2 (3.0Ah)

Dec. 05. 2014

High Power Cell Development Team



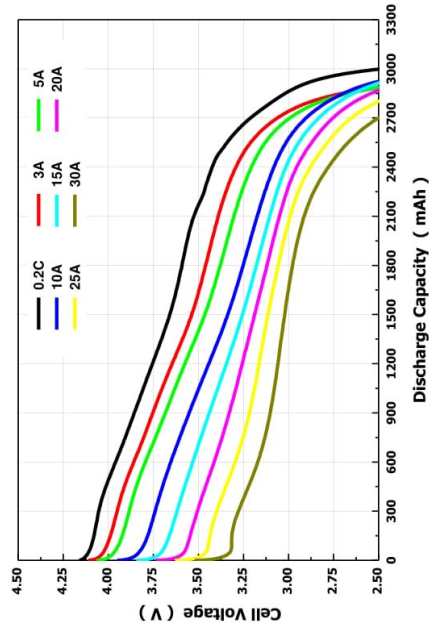
Summary

| Type | | Specification | Actual |
|-------------------------|---------------------|---|--------|
| Chemistry | | Li[NiMnCo]O ₂ (H-NMC) / Graphite + SiO | |
| Dimensions (mm) | Diameter | 18.3 +0.2 / -0.3 mm | |
| | Height | 65.00 ± 0.2 mm | |
| Weight (g) | | Max. 48 | 44~45 |
| Initial IR (mΩ AC 1kHz) | | Max. 17 | 14~16 |
| Initial IR (mΩ DC) | | Max. 30 | 24~26 |
| Nominal Voltage (V) | | 3.6 | |
| Charge Method | | Nominal : 1.5A 4.2V, 50mA End-current (CC-CV) | |
| | | Fast : 4A 4.2V, 100mA End-current (CC-CV) | |
| Charge Time | Nominal (min) | 165min | |
| | Fast (min) | 85min | |
| Charge Current | Nominal Current (A) | 1.25A | |
| | Max. Current (A) | 4A | |
| Discharge | End Voltage (A) | 2V | |
| | Max. Current (A) | 20A (Continued discharge current) | |
| 0.2C Capacity | Nominal (Ah) | 3.0 Ah | |
| Energy Density | Nominal (Wh/kg) | 240 | |

Rate Performance

• **Test Condition**

- Charge (CC/CV): 4A charge to 4.2V, 100mA cut-off
- Discharge (CC) : 0.2C-3A-5A-10A-15A-20A-25A-30A discharge, 2.5V cut-off (no temperature. cut off)



| | 0.2C | 3A | 5A | 10A | 5A | 20A | 25A | 30A |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Capacity (mAh) | 2998 | 2886 | 2884 | 2925 | 2913 | 2873 | 2802 | 2702 |
| % C _N | 100 | 96 | 96 | 98 | 97 | 96 | 93 | 90 |
| Energy (Wh) | 11.0 | 10.3 | 10.1 | 9.8 | 9.5 | 9.2 | 8.7 | 8.2 |
| % W _N | 102 | 95 | 94 | 91 | 88 | 85 | 81 | 76 |

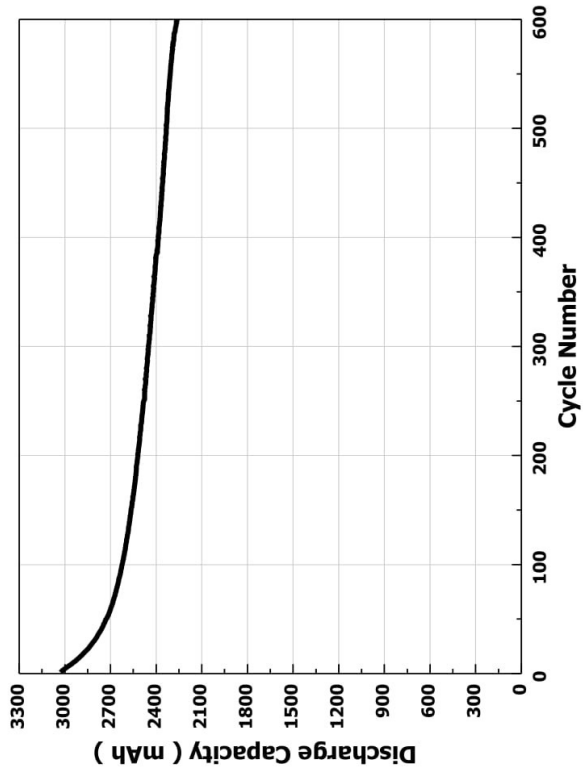
Cycle life (10A and 15A)

Confidential

- Test Condition

- Charge (CC/CV): 4A charge to 4.2V, 0.1A cut-off
- Discharge (CC) : 10A discharge, 2.0V cut-off

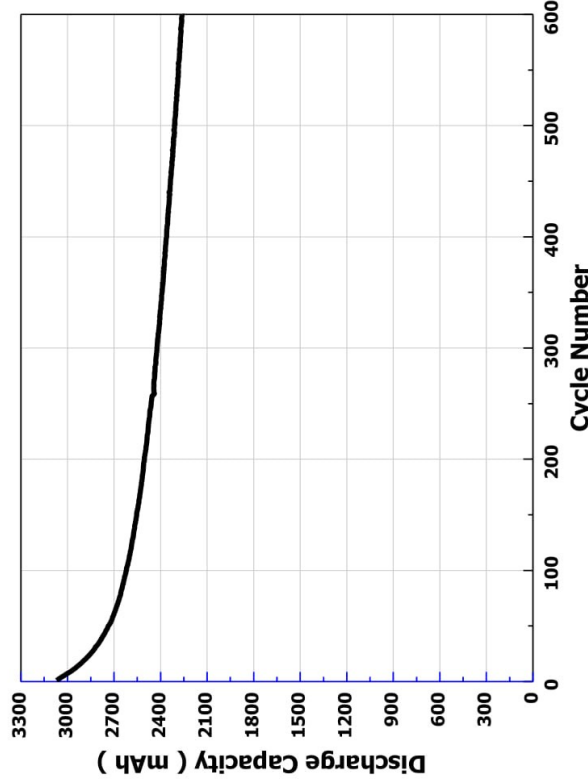
[10A Cycle]



- Test Condition

- Charge (CC/CV): 4A charge to 4.2V, 0.1A cut-off
- Discharge (CC) : 15A discharge, 2.0V cut-off

[15A Cycle]



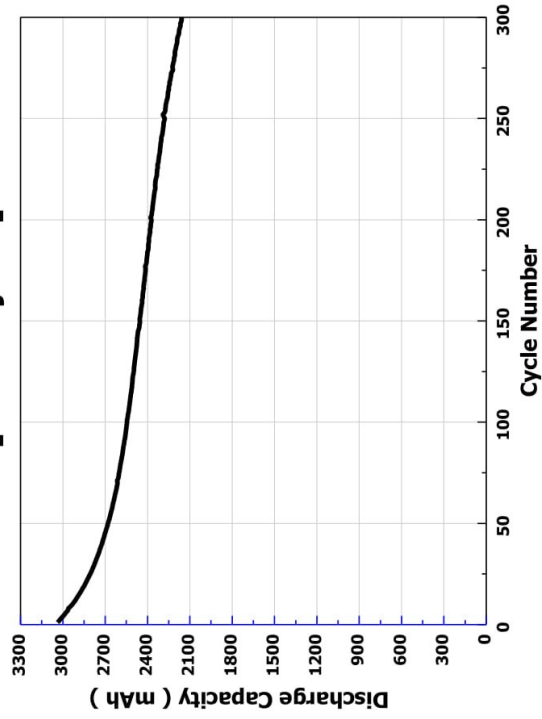
Cycle life (20A and High Current Pulse)

Confidential

• Test Condition

- Charge (CC/CV): 4A charge to 4.2V, 0.1A cut-off
- Discharge (CC) : 20A discharge, 2.0V cut-off

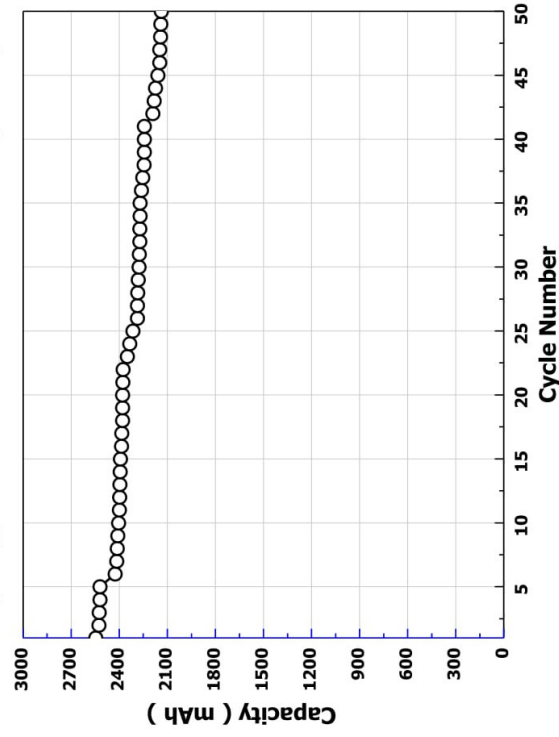
[20A Cycle]



• Test Conditions

- Charge : 4A to 4.2V, 100mA Cut-off at 23 °C
- Discharge : 95A (0.5sec) → 80A (0.5sec) → 45A (0.5sec) → 30A (6sec) → rest (12sec), 1.5V cut-off at 23 °C

[High Current Pulse Cycle]

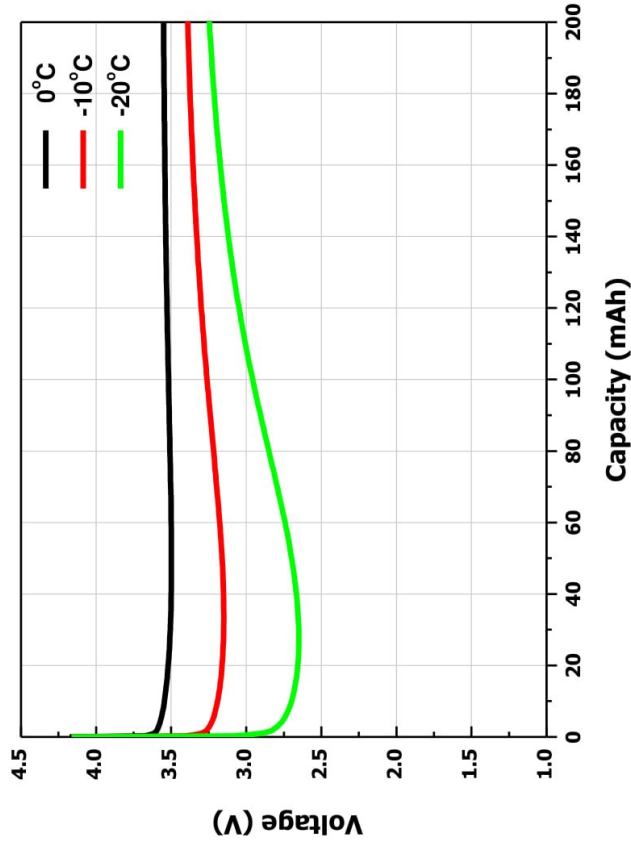


Low Temperature Discharge Profiles (10A)

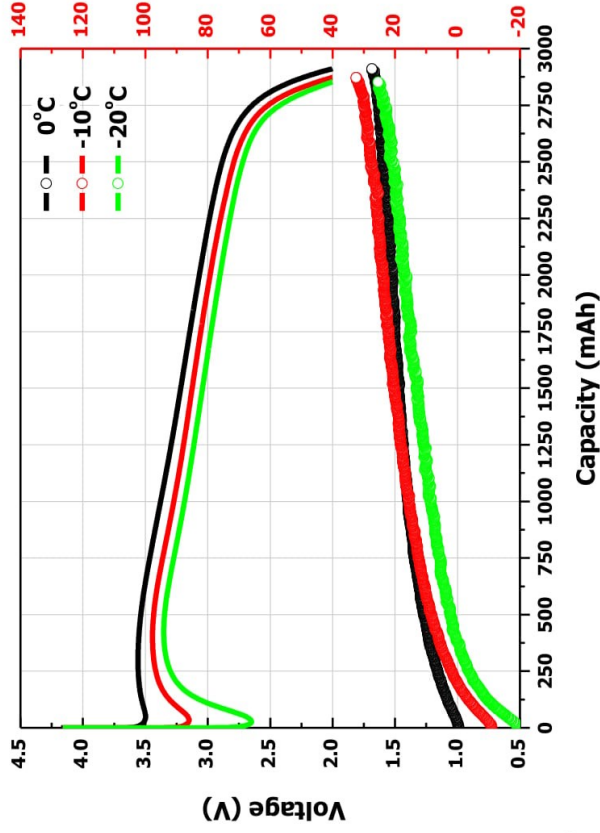
Test Condition

- Charge (CC/CV): 4A charge to 4.2V, 100mA cut-off at RT
- Discharge (CC) : 10A, at 0, -10, -20°C, 1.5V cut-off

Discharge vs. Temp.



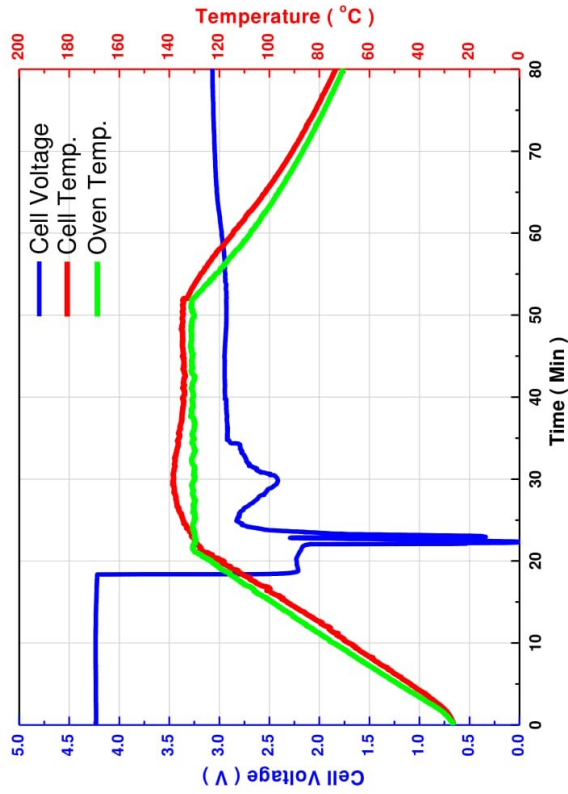
Discharge vs. Temp.



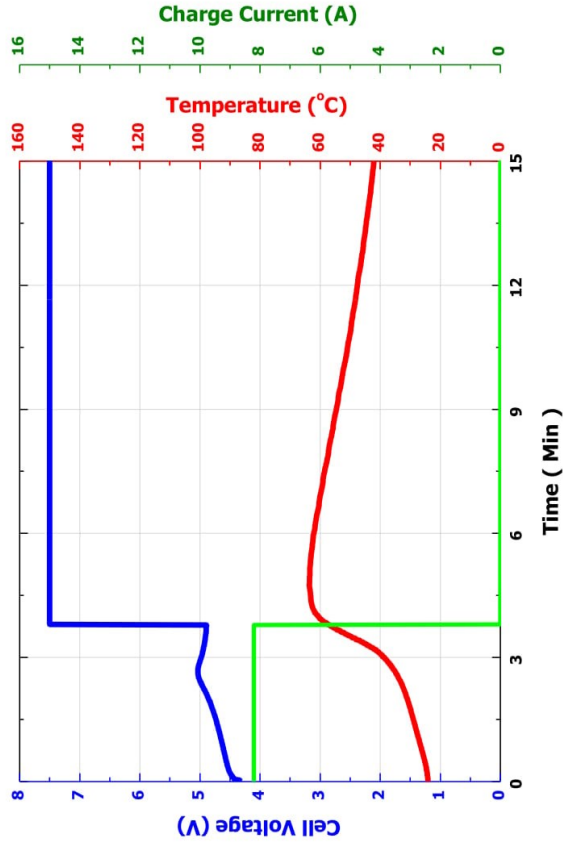
Safety Test (Hot box and Overcharging)

Confidential

[Hot box, 130°C, 1h]



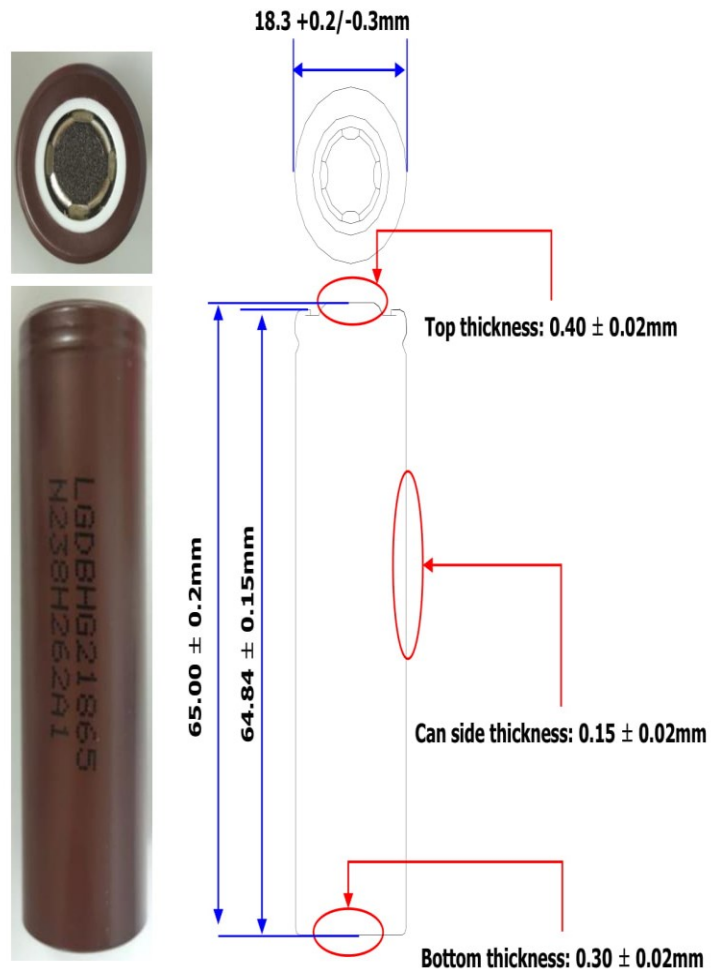
[Overcharging, 8.2A]



Dimension of HG2

Confidential

Can material: Steel (Nickel-plated)
Tube material: Colored PET ($t=0.08 \pm 0.02$ mm)



Lithium Ion Rechargeable Battery Technical Information

Revision 0.2
26th August 2013

| | |
|---------------------|--------------------|
| Model Number | US18650VTC5 |
| Cell Type | Cylindrical |
| Cell Name | US18650VTC5 |
| Sony Code | 49928190 |

**Sony Energy Devices Corporation
Device Solutions Business Group / Sony Corporation**

1. General

1.1 Name and Code

1.1.1 Model Number : US18650VTC5
1.1.2 Cell Name : US18650VTC5
1.1.3 Sony Code : 49928190

1.2 Cell Shape and Weight

1.2.1 Cell Shape : Cylindrical
1.2.2 Size (with plastic tube) : Diameter 18.35mm max
Length 65.20mm max
1.2.3 Weight : 44.3g Average

1.3 Safety Regulation

Sony will acquire UL1642.

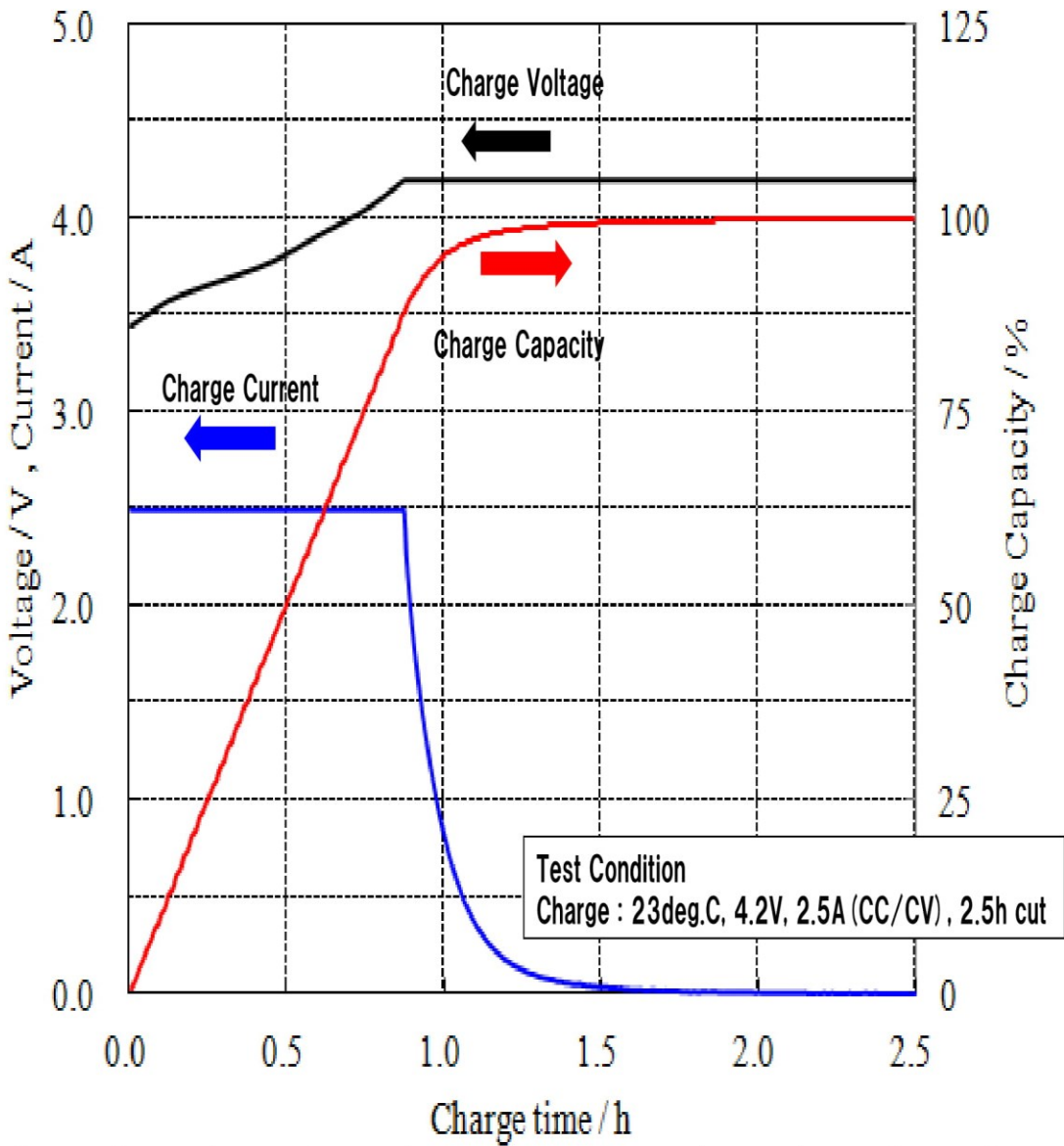
2. Performance

| | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Nominal Capacity (0.2C discharge) | 2600mAh 9.36Wh | average capacity 3.60V (average discharge voltage) at room temperature,2.0V cut off |
| Rated Capacity (0.2C discharge) | 2500mAh 9.00Wh | minimum capacity at room temperature,2.0V cut off |
| Capacity at 1C | 2563mAh 9.23Wh | average capacity at room temperature,2.5V cut off |
| Capacity at 10A | 2577mAh 8.80Wh | average capacity at room temperature,2.5V cut off |
| Nominal Voltage | 3.6V | |
| Internal Impedance | 13.0mΩ Typ. | measured by AC1kHz |
| Cycle Performance | 70% Min. of Initial capacity at 300 cycles | 10A discharge at room temperature,2.5V cut off |

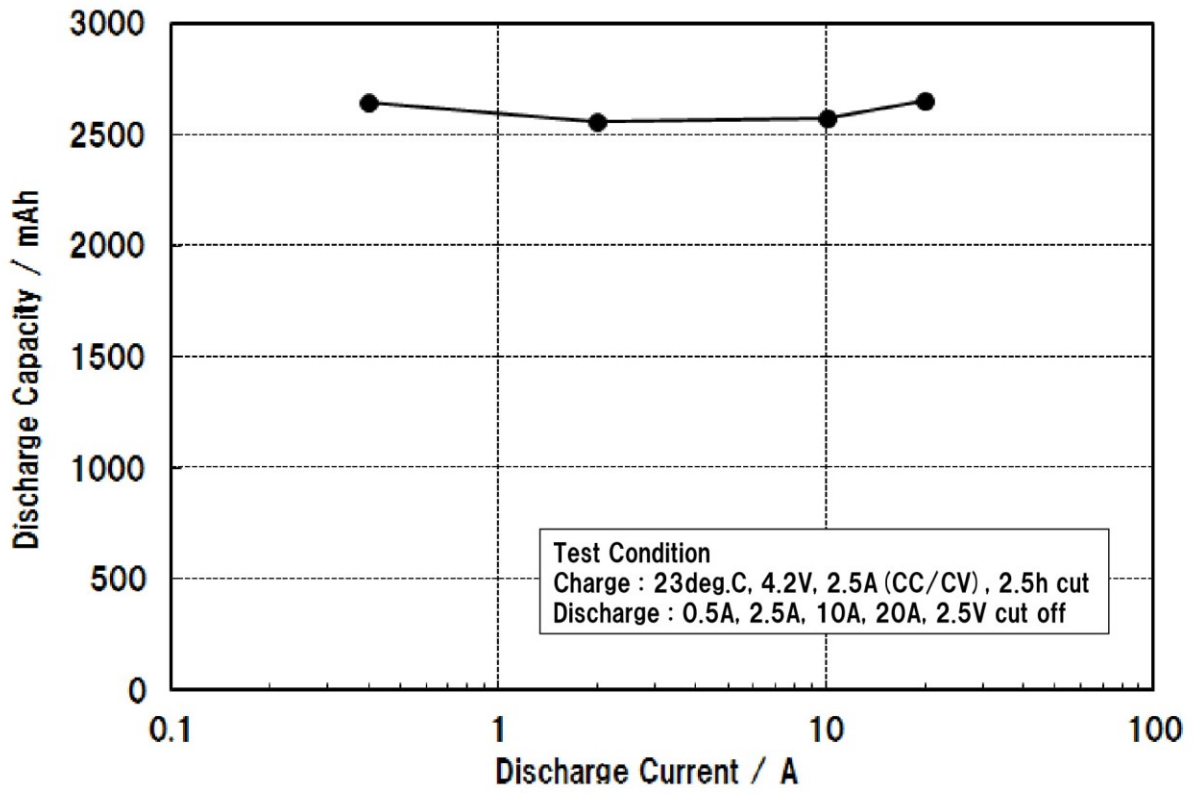
* Standard Charge Condition

Charge Method : constant current constant voltage
Charge Up Voltage : 4.2± 0.05V
Charge Current : 2.5A
Charge Time : 2.5h
Ambient Temperature : 23°C

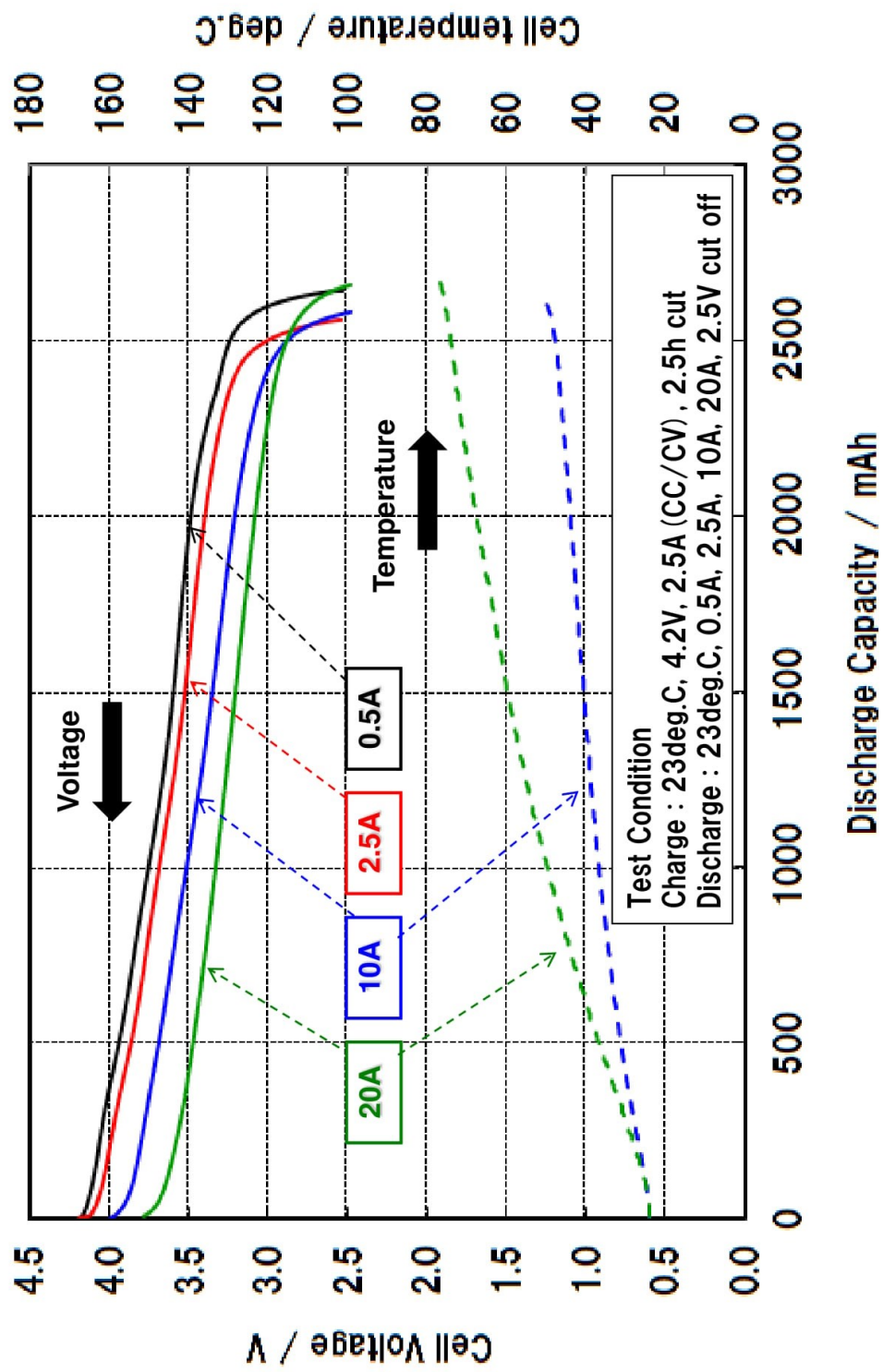
Charge Characteristics (US18650VTC5)



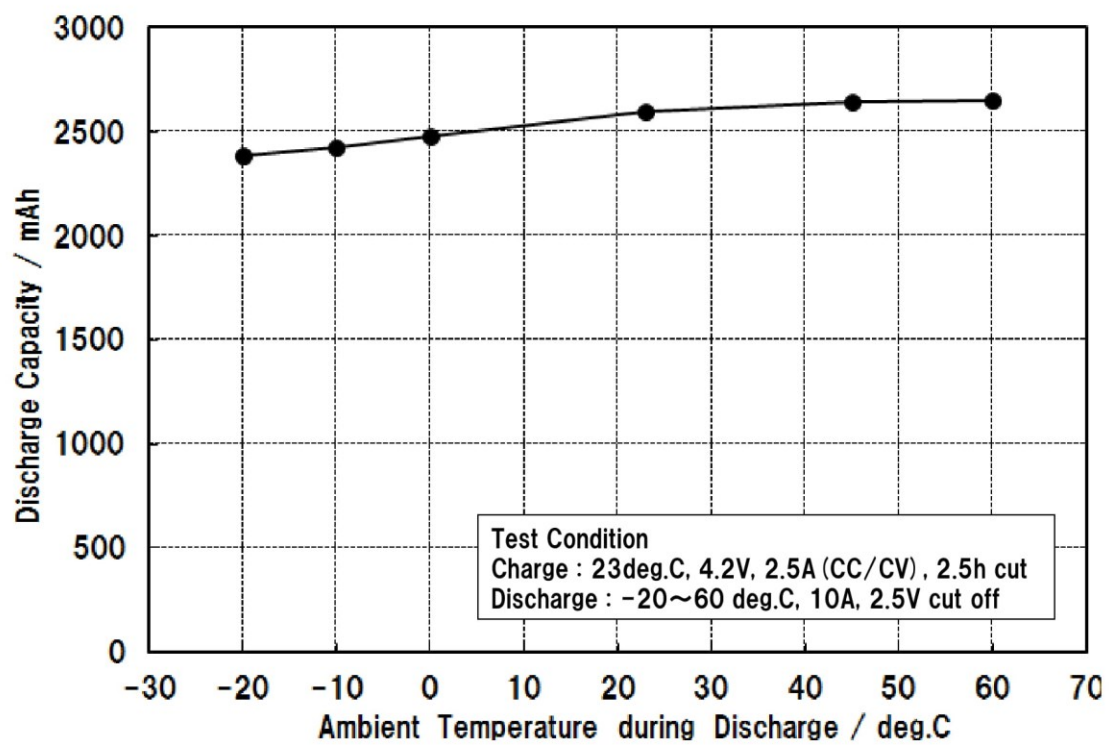
Discharge Load Characteristics (US18650VTC5)



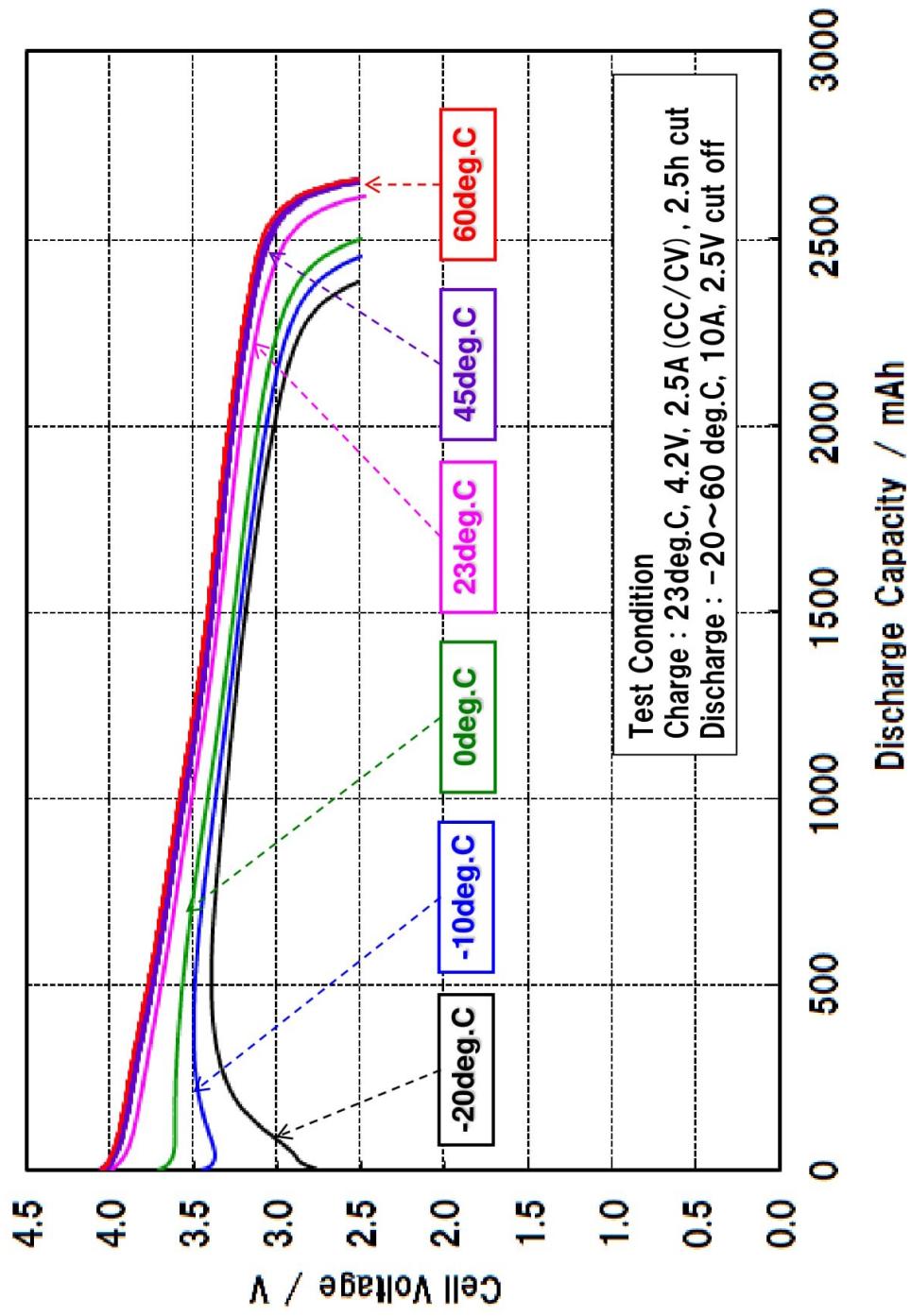
Discharge Load Characteristics (US18650VTC5)



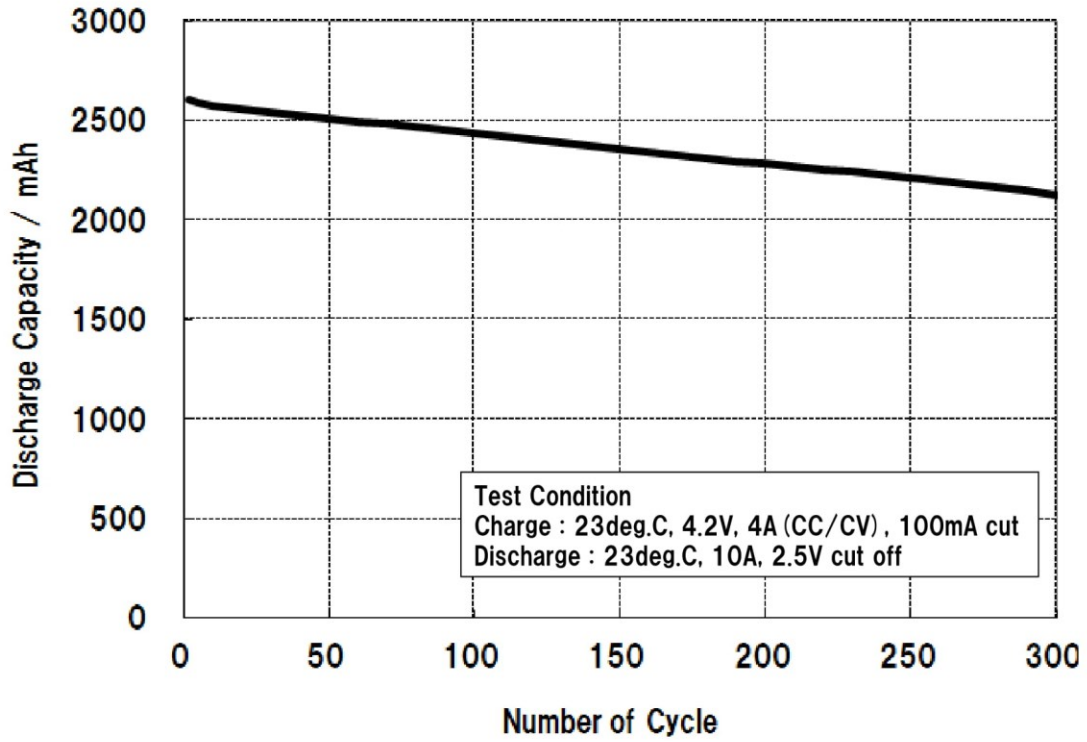
Temperature Dependence of Discharge Capacity (US18650VTC5)



Temperature Dependence of Discharge Curves (US18650VTC5)



Cycle Life Performance (US18650VTC5)
10A discharge



Dimension with Plastic Tube: US18650VTC5

