

# **Testiranje karakteristika odabranih Li-Ion baterija s JUNSI 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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:125249>*

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

*Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-20***

*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 diplomske ispite**

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 odabralih Li-Ion baterija s Junci praznjaca/punjačem
Znanstvena grana rada:	<b>Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)</b>
Zadatak diplomskog rada:	Testirati različite baterije s punjačem/praznjaca Junci 410 DUO. Napraviti upute za korištenje uređaja te opisati sve opcije s obzirom na parametre punjenja/praznjenja kao i cikličkog rada. Rezultate obradivati u programu Junci LogView pri čemu treba napraviti upute za korištenje programa. Na osnovu rezultata mjeranja 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.
<hr/>	
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSJEK

## 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 Junci 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 navedenjem 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 mjerениh 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 čelija. 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 ( $\text{LiCoO}_2$ ) i litij mangan oksid ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ).

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 podpoglavlju ukratko su navedeni osnovni parametri baterija, u drugom podpoglavlju 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 ispraznjenosti 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 struci 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 ispraznjena 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:

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

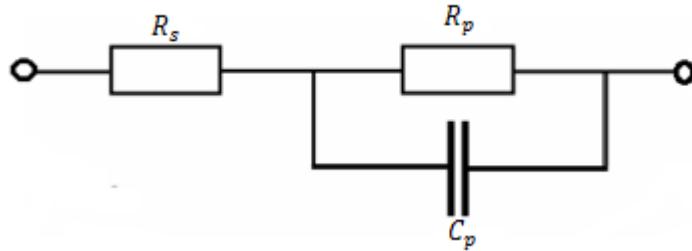
gdje je  $I$  struja pražnjenja, a  $C$  je kapacitet baterije. Iz ovog izraza se može izračunati i maksimalna struja pražnjenja.

**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 čeliju. Sastoji se od otpora komponenti čelije ( elektrode, elektrolit, separator) [11]. Što je unutarnji otpor manji, to je struja iz baterije veća. Na slici 3.1. prikazan je ekvivalentni strujni krug čelije.



**Slika 3.1.** Ekvivalentni strujni krug čelije [6]

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

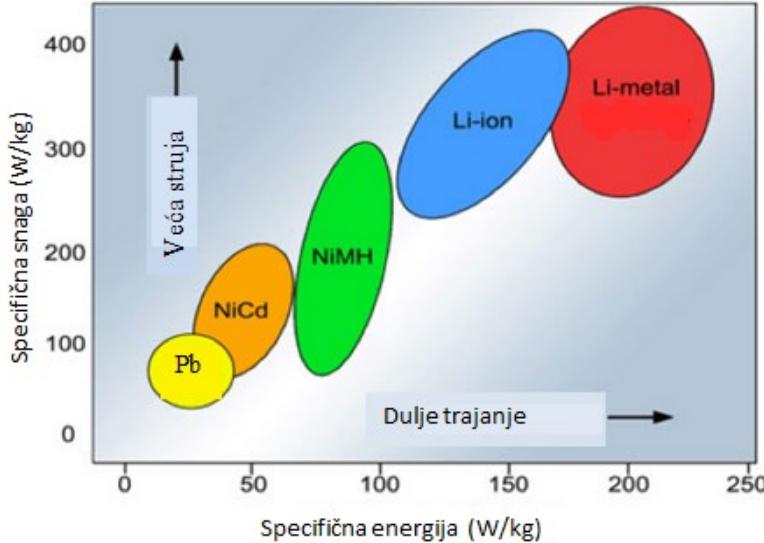
**Specifična energija :** Odnos izlazne energije čelije ili baterije prema njezinoj težini (Wh/kg) [11].

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

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

**Specifična snaga:** Odnos snage čelije 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 napunjenoosti 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 napunjenoosti 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 mjerena, 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]:

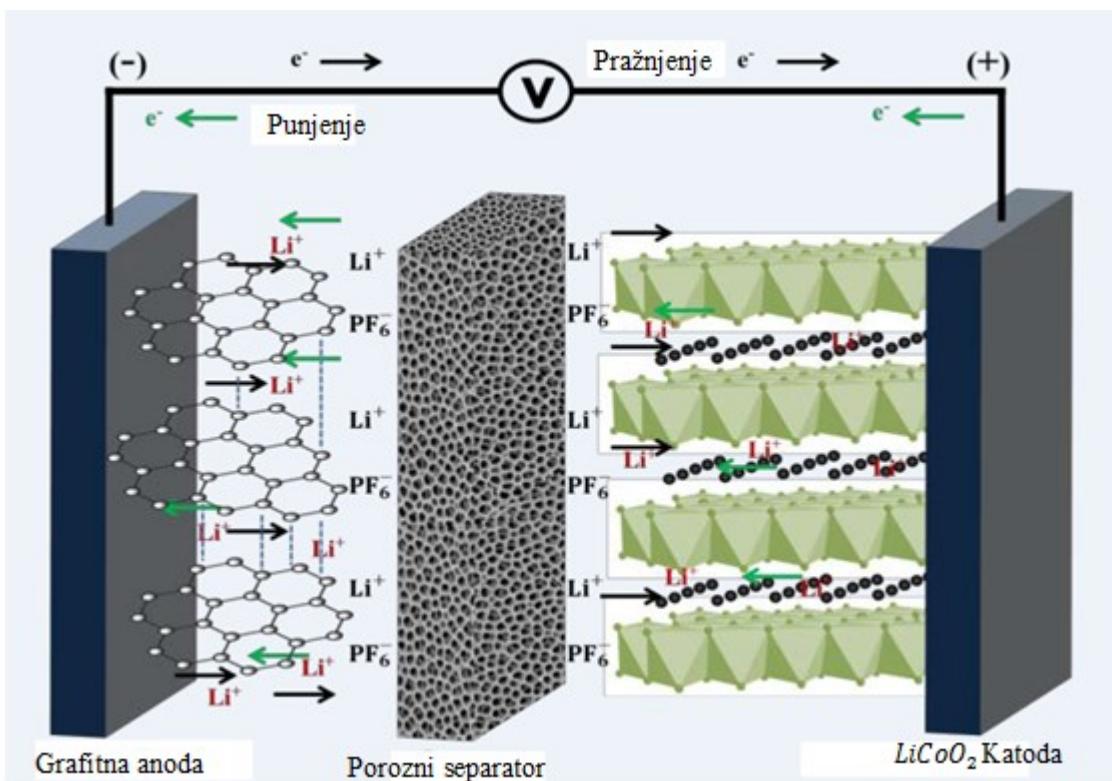
$$SoC = 100 \% - DoD \quad (3-4)$$

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 aluminijска 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 aluminija [17].

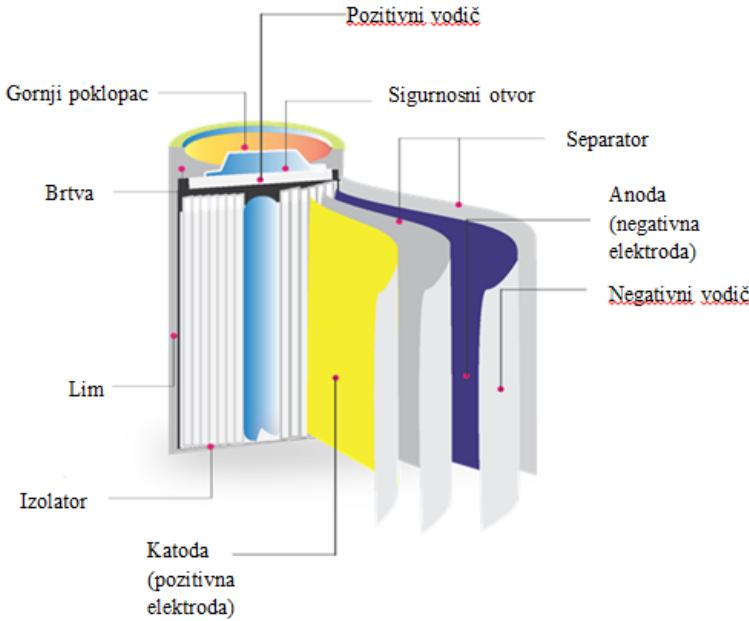
Negativna elektroda – anoda je presvučena aktivnim materijalom, vodljivim aditivom i vezivom. Aktivni materijal omogućuje protjecanje električne struje kroz vanjski strujni krug, dok također omogućava reverzibilnu apsorpciju ili emisiju iona litija otpuštenih s katode. Kada se baterija puni, na katodi 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,  $\text{LiPF}_6$ , 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 ( $\text{Li}^+$ ) 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 ( $\text{LiCoO}_2$ ). Litijevi ioni koji su smješteni na negativnoj elektrodi se oslobođaju 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].

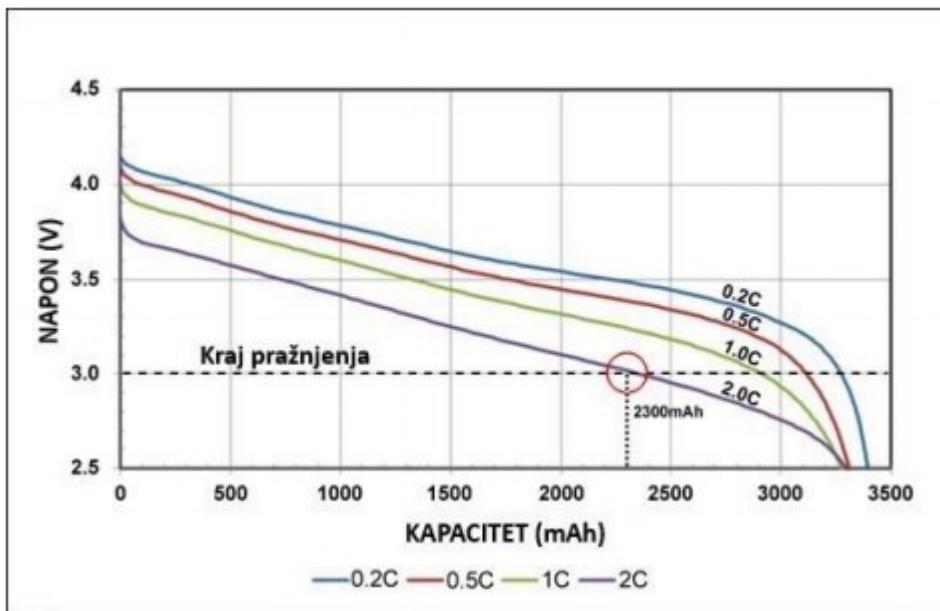
Reakcije punjenja i pražnjenja te smjer protjecanja elektrona i pozitivnih iona su prikazani na slici 3.3. Reakcija je povratna i može se zapisati na sljedeći način [7]:



gdje je  $\text{LiCoO}_2$  Litij kobalt oksid,  $\text{C}_6$  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].

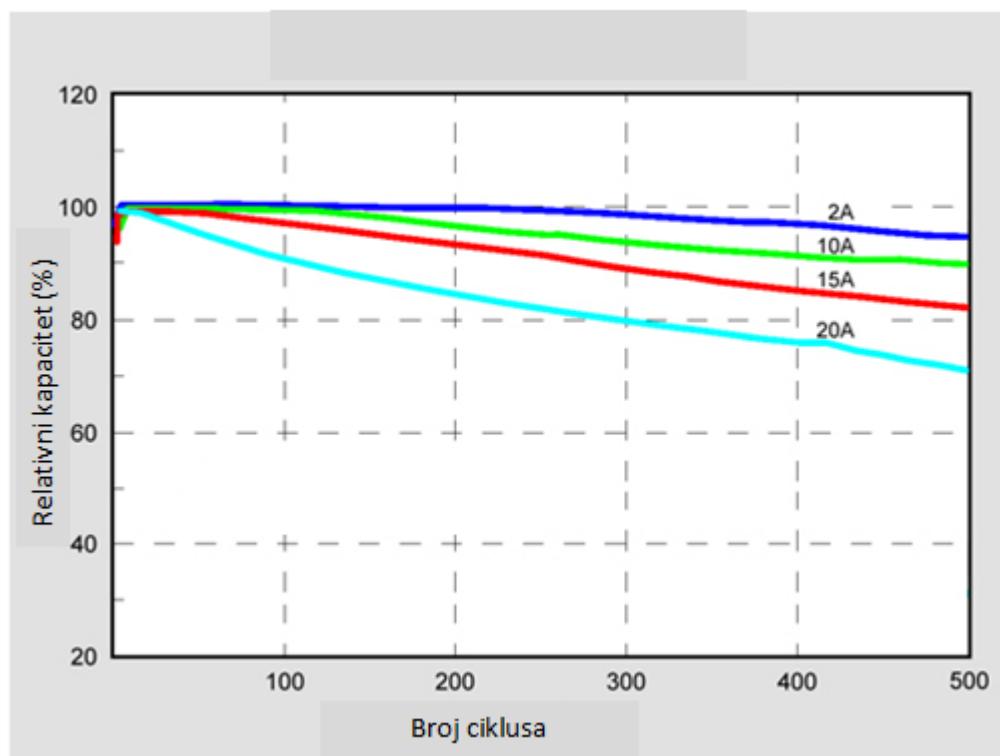
Napon pražnjenja Li-ion baterije ovisi o struji pražnjenja (*C-faktor*), dubini pražnjenja i temperaturi. Životni ciklus ovisi o načinima punjenja i pražnjenja, temperaturi, dubini punjenja i pražnjenja. Povećanje struje pražnjenja rezultirat će zanemarivim smanjenjem ukupnog kapaciteta, ali značajnim 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 struci 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].

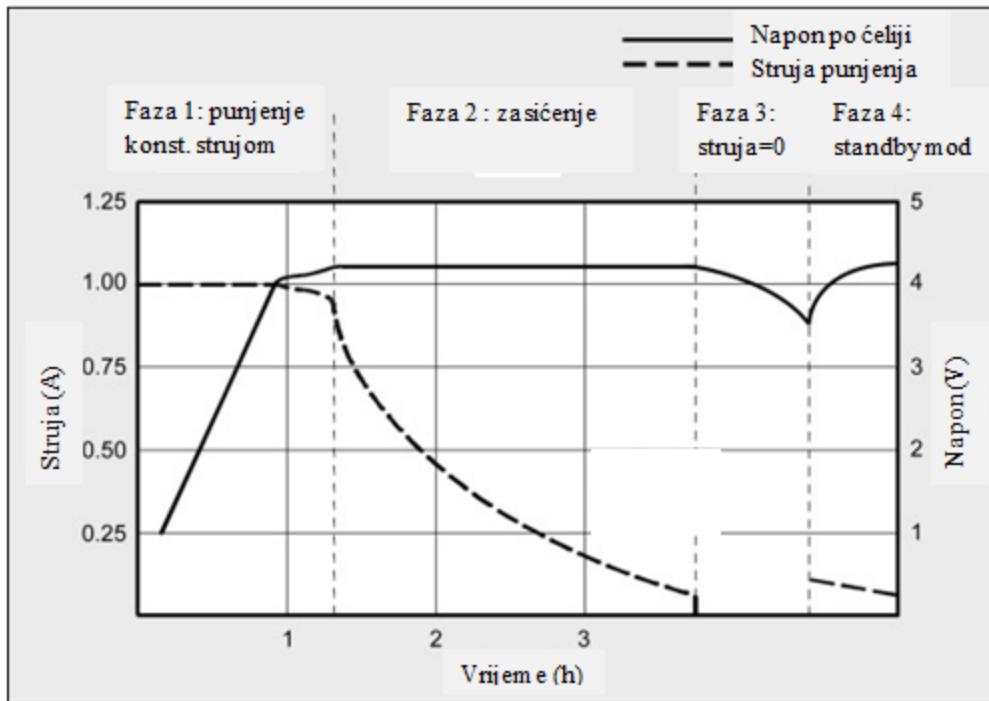
Opetovano duboko pražnjenje ima negativan utjecaj na životni vijek baterije jer se postupno reducira dostupni kapacitet baterije. Što su dublji ciklusi pražnjenja, više se kapaciteta gubi. Eksperimentalni pokusi provode se podvrgavanjem baterija ciklusima pražnjenja i punjenja jednakog  $DoD$ . Proces 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.



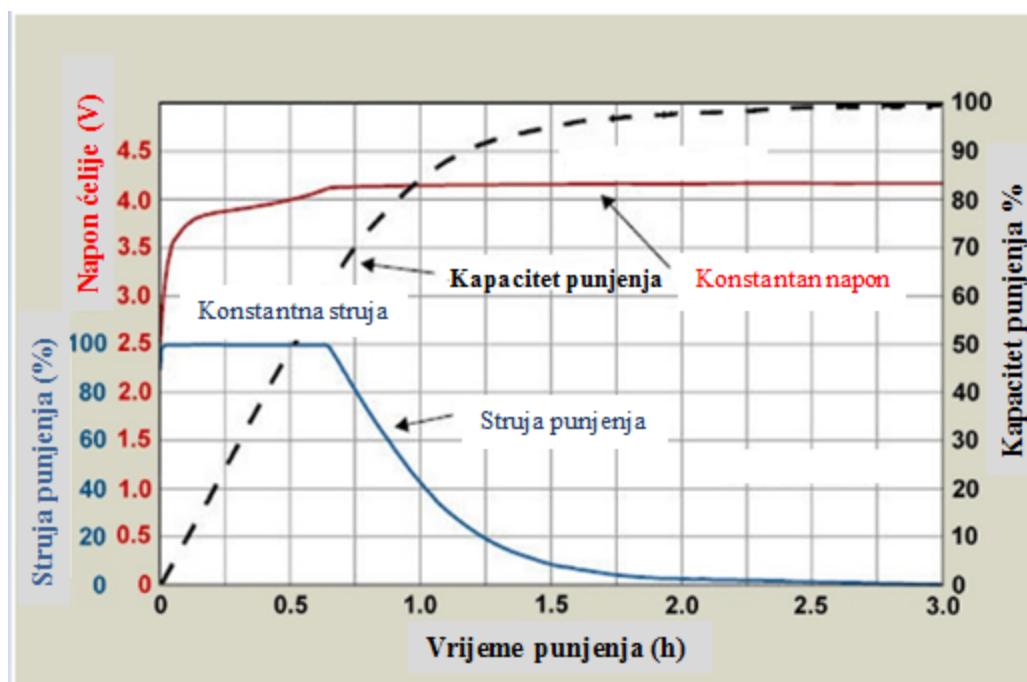
Slika 3.7. Faze punjenja Li-ion baterije [21]

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 podešiti. Ako je napon čelije niži od postavljene vrijednosti punjač se aktivira i puni bateriju do postavljenog napona. Najčešće se aktivira kada napon padne na 4 V/čeliji [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 čelije. 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].

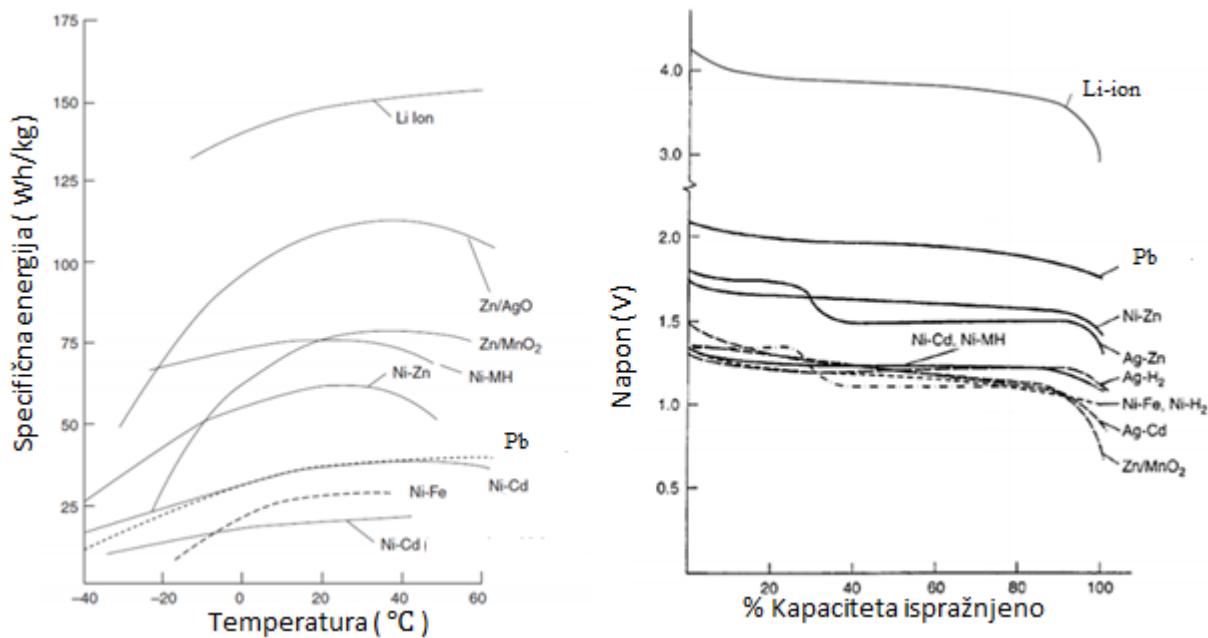
### 3.4. Svojstva Li-ion baterija

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 čelije 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 preterano pražnjenje. Povećanjem napona baterije iznad 4,3 V baterija postaje nestabilna. U bateriji raste pritisak jer se oslobođa CO<sub>2</sub>. 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 pobeg (engl. *thermal runaway*) [21]. Prepunjavanje i preterano pražnjenje uzrokuje smanjenje kapaciteta baterije [11]. Za sprječavanje prepunjavanja i preteranog 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 čelije dalje od optimalnog raspona, degradacija kapaciteta je sve veća, odnosno životni vijek je sve kraći. Ova degradacija kapaciteta čelije 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 čelije 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 podpoglavlju opisani su osnovni podaci testiranih baterija. Opisan je način spajanja opreme i kako je provođeno testiranje. U drugom podpoglavlju su dane upute za rad s uređajem Jnsi, a u trećem podpoglavlju 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 odabralih 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 prilozima 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/praznjaka baterija *Junsi iCharger 4010 Duo*. Za mjerjenje podataka korišten je program *LogView*. Mjerili su se podaci za napon, struju, kapacitet i snagu. Detaljne specifikacije i upute za korištenje punjača/praznjaka nalaze se na linku u literaturi [24]. Uređaj je prikazan na slici 4.2.



**Slika 4.2.** Punjač/praznjac Junsi 4010 Duo [25]

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

**Tablica 4.2.** Dijelovi uređaja Junsi [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

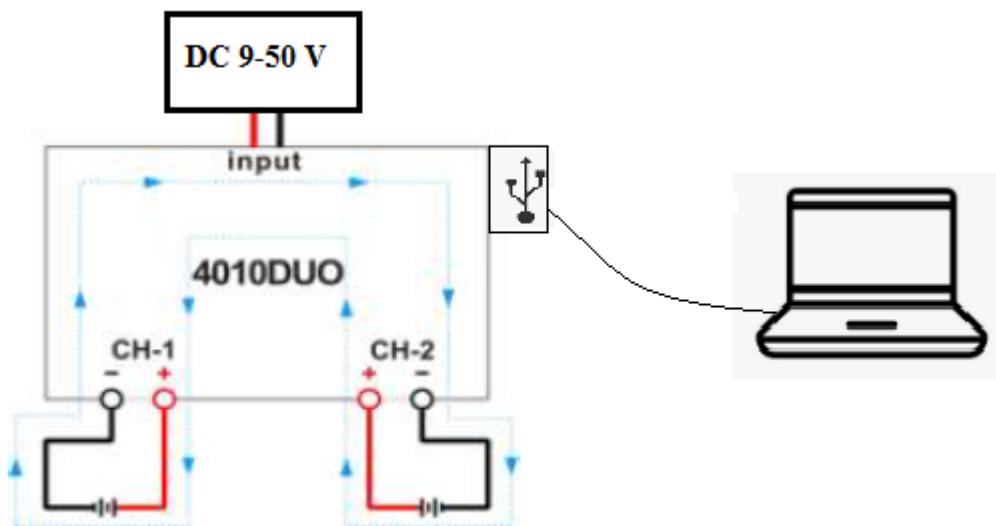
U tablici 4.3. opisane su funkcijeske tipke uređaja JUNSI:

**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>

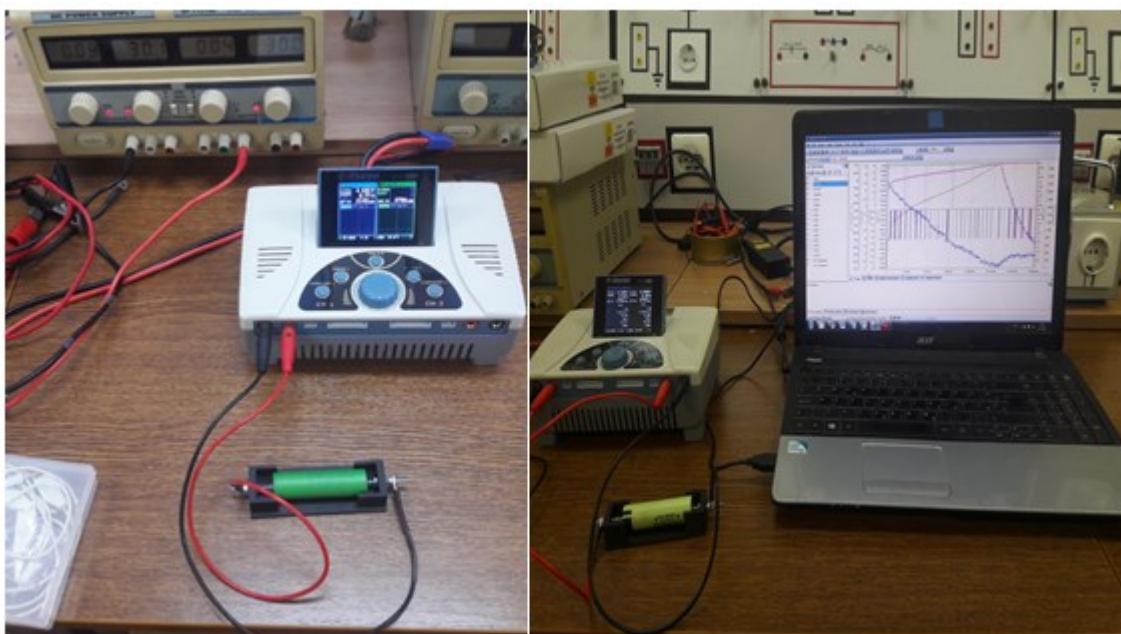
Na slikama 4.3. i 4.4. su prikazani načini spajanja s istosmjernim izvorom i s računalom:



**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.



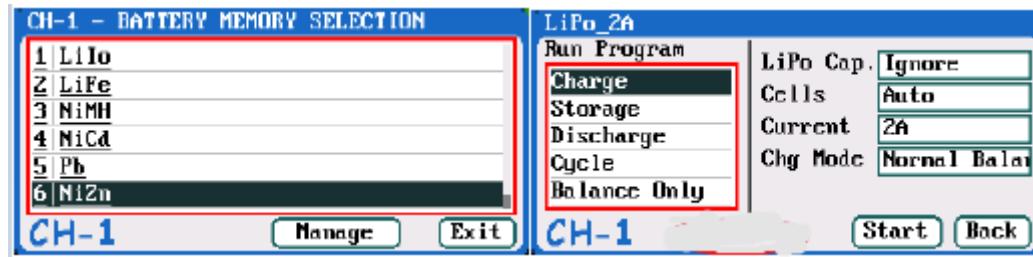
**Slika 4.4.** Način spajanja uređaja

## 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 mjerjenih 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
LiIlo	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 Junsi

Program	Opis
Charge	Punjjenje 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 Junsi se ponaša kao trošilo. Baterija se prazni i kapacitet joj se smanjuje.

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

- *LiIo Cap.* je kapacitet baterije, najjednostavnije je ostaviti ovaj parametar na automatskim postavkama.
- *Cells* je broj celija. Ako je samo jedna celija, ovaj parametar se ostavi na automatskim postavkama. Punjač prepoznaće broj celija.
- *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.

### Punjjenje (*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 *LiIo 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 podešiti 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*)

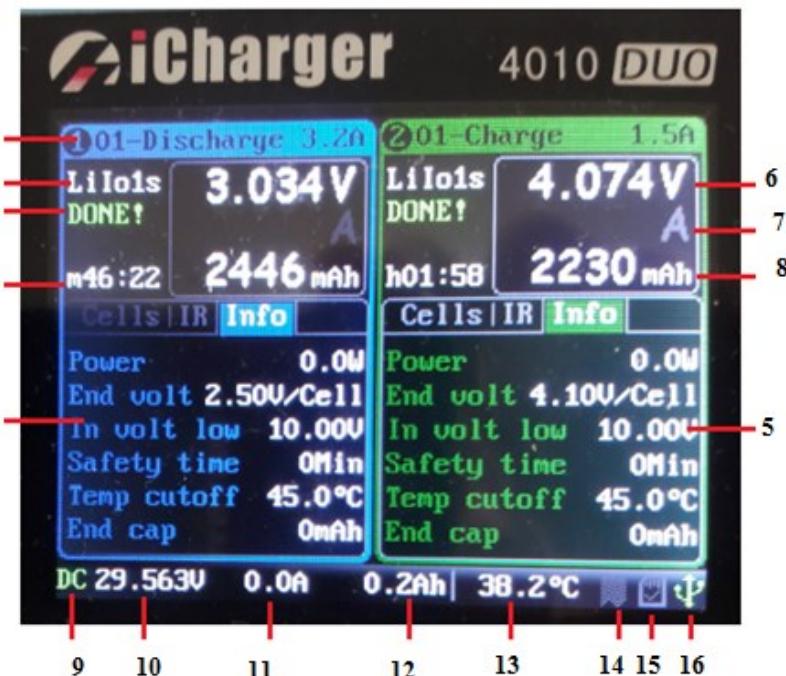
Skladištenje je držanje neopterećene baterije na punjaču. Postupak skladištenja je opisan u poglavljju 3.3. U ovom programu se unose dva parametra:

- *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

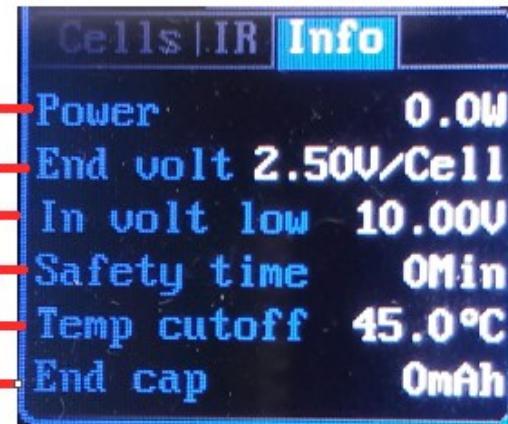
U tablici 4.6. su opisane prikazane oznake sa slike 4.6.

**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	Višestrandični 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 objasnijene u tablici 4.7.

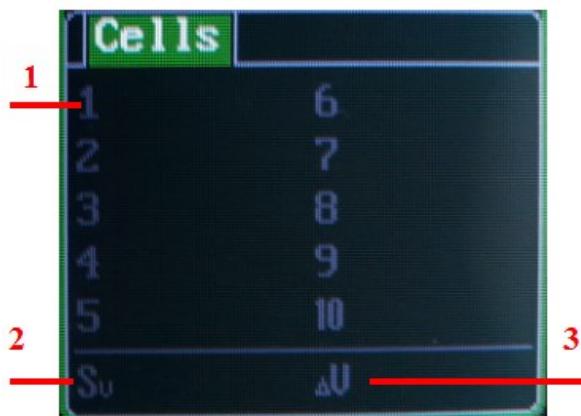


Slika 4.7. Informacijska stranica

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 čelija (*Cells voltage*), broj 2 označava sumu napona čelija (*cells voltage sum*), broj 3 označava maksimalnu razliku napona čelija.

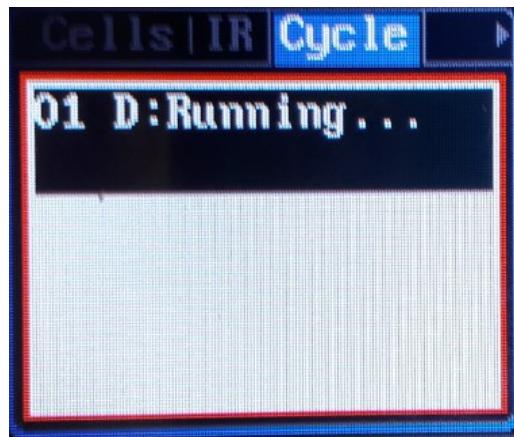
Stranica informacije o unutarnjem otporu (*IR information*) prikazana je na slici 4.9.



Slika 4.9. Stranica informacija o unutarnjem otporu

Broj 1 označava unutarnji otpor čelije (*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.



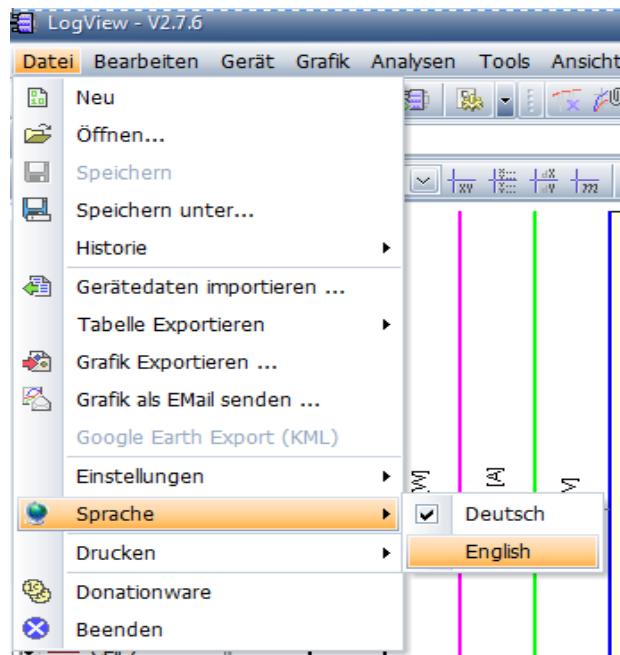
Slika 4.10. Status cikličkog načina rada

### 4.3. Programsko sučelje LogView

U ovom poglavlju su dane upute za korištenje sučelja LogView. Na početku je ukratko objašnjeno kako pokrenuti snimanje, odabratи које величине ће бити приказане и како се спрема мјеренje. Nakon тога су детаљније објашњене могућности sučelja.

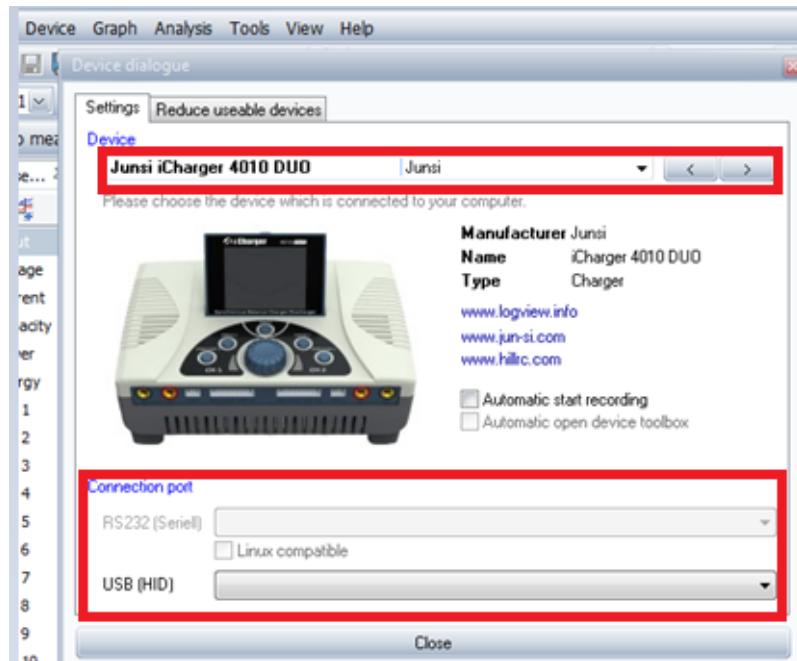
Da bi сe snimale карактеристике и подаци при пуњењу и праћењу, пре покретања програма пуњења/праћења на пуњачу/праћначу потребно је у програму LogView покренути snimanje.

Najprije је потребно подесити језик и повезати се с пуњачем. На слици 4.11. приказан је изглед дијела алатне траке програма и како се одабирају језик. Почетни језик је немачки. Како би се поставио енглески језик одаберите *Datei>Sprache>English*.



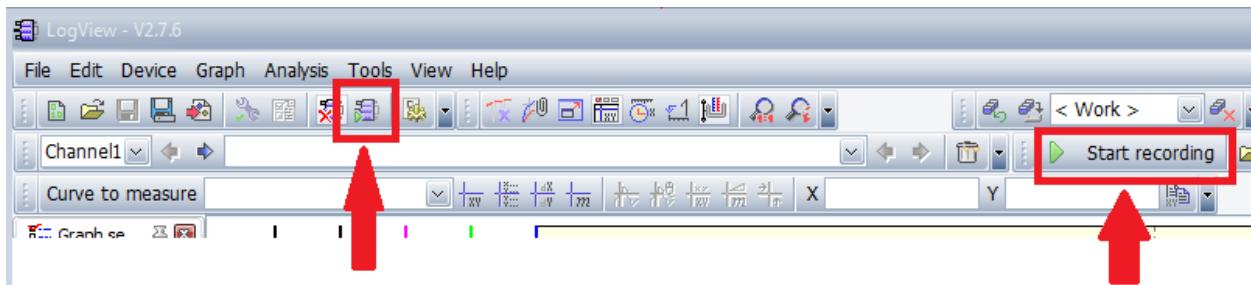
Slika 4.11. Odabiranje jezika

Како би LogView уопće знао који је уредај повезан с рачunalом, потребно је одабрати постојећи уредај. На слици 4.12. је приказано како се одабира уредај. Потребно је кликнути на *Device>Choose device and port*, затим треба прonaći *Jansi iCharger 4010 DUO* и одабрати одговарајући USB улаз.



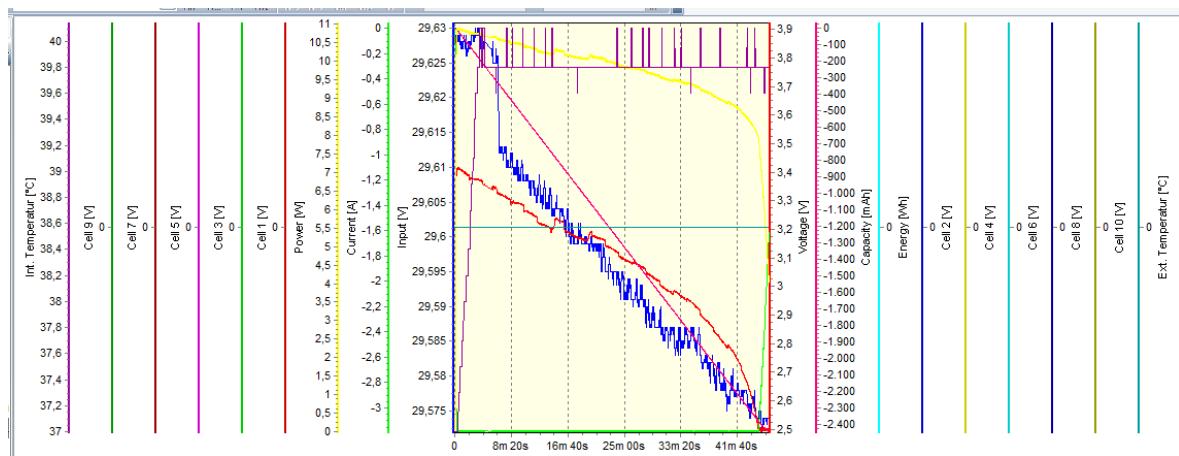
**Slika 4.12.** Odabiranje uređaja

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 Junsi pokrenuti radnju. Na slici 4.13. je prikazano gdje se otvara priključak i počinje snimanje podataka.



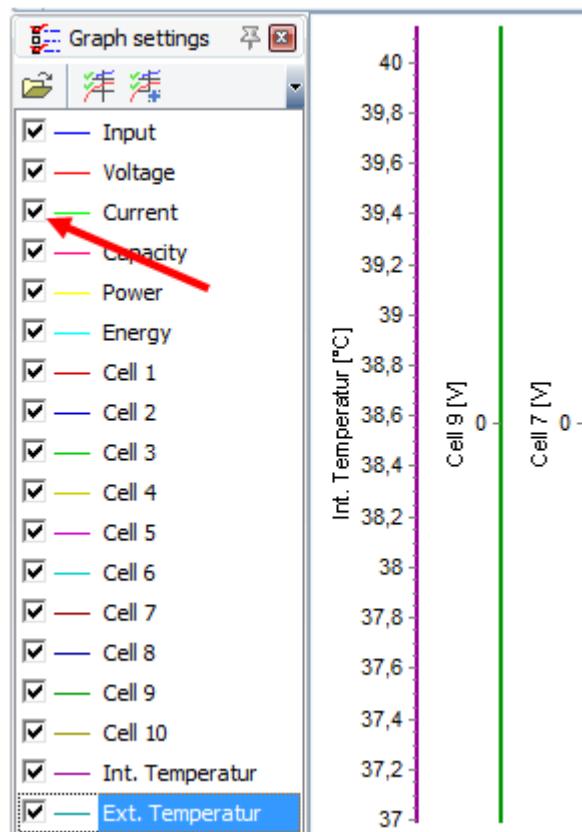
**Slika 4.13.** Otvaranje priključka i početak snimanja

Kada je program na Junsi uređaju pokrenut i snimanje započeto, uređaj šalje podatke na računalo i oni se prikazuju u *LogView*-u. *LogView* prikazuje više mjereneh 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

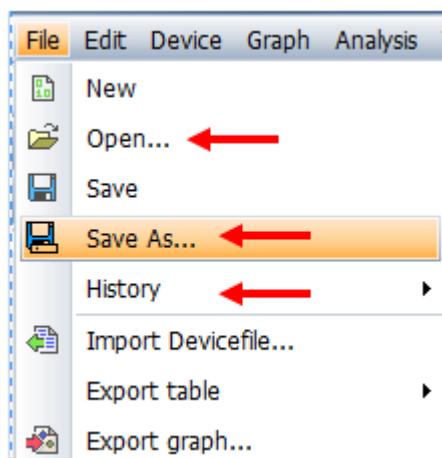
Graf se može prilagoditi potrebama u postavkama krivulja. Postavke krivulja (*Graph settings*) smještene su s lijeve strane grafa. Na slici 4.15. prikazane su postavke krivulja.



Slika 4.15. Postavke krivulja (*Graph settings*)

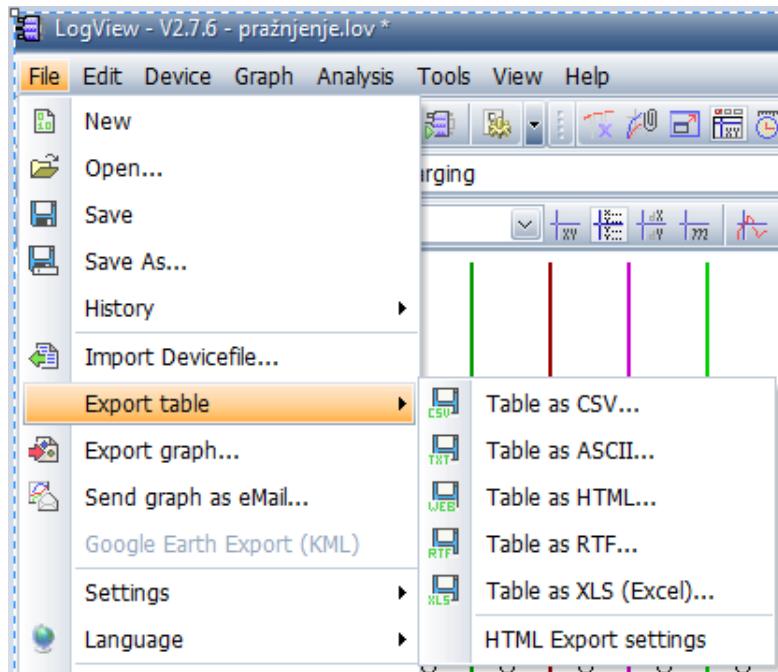
Krivulje se mogu uključiti ili isključiti pomoću kvačica krajnje lijevo. Sve krivulje koje nisu relevantne treba isključiti. Za dodatnu prilagodbu krivulje u pogledu boje, debljine crte i slično, koristi se kontekstni izbornik. Kontekstni izbornik se otvara desnim klikom miša na ime krivulje u postavkama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

Kada mjerjenje završi, može ga se sačuvati u obliku datoteke formata *.lov* (*LogView Datei*). Datoteka se spremi 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 (mjerjenja). Funkcijom povijesti (*History*) se može vidjeti i otvoriti posljednjih 10 uređivanih datoteka. Funkcije spremanja, otvaranja i povijesti su prikazane na slici 4.16.



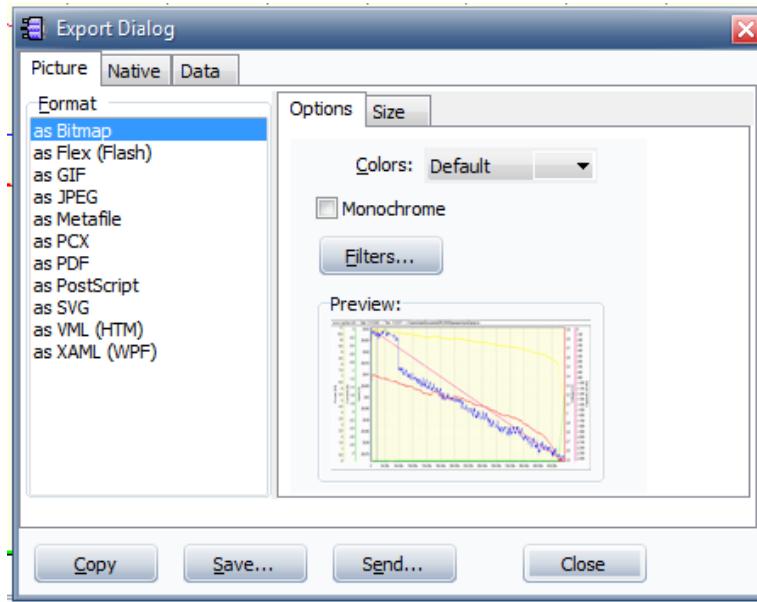
**Slika 4.16.** Funkcije povijesti, spremanja i otvaranja datoteka

Podaci mjerjenja 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

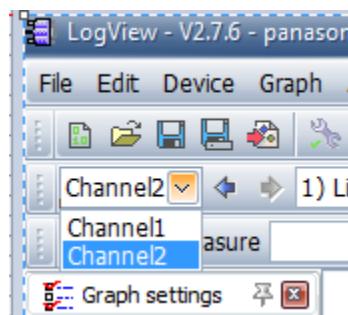
Grafički izvoz nudi više mogućnosti. Ovisno o formatu, postoje funkcije kojima se mogu odrediti veličina, boja i postaviti razni filteri. Podaci se grafički izvoze na način: *File>Export graph...*. Na slici 4.18 prikazan je prozor izvoza (*Export-Dialog*) u kojem se odabire format i uređuje graf.



Slika 4.18. Grafički izvoz podataka

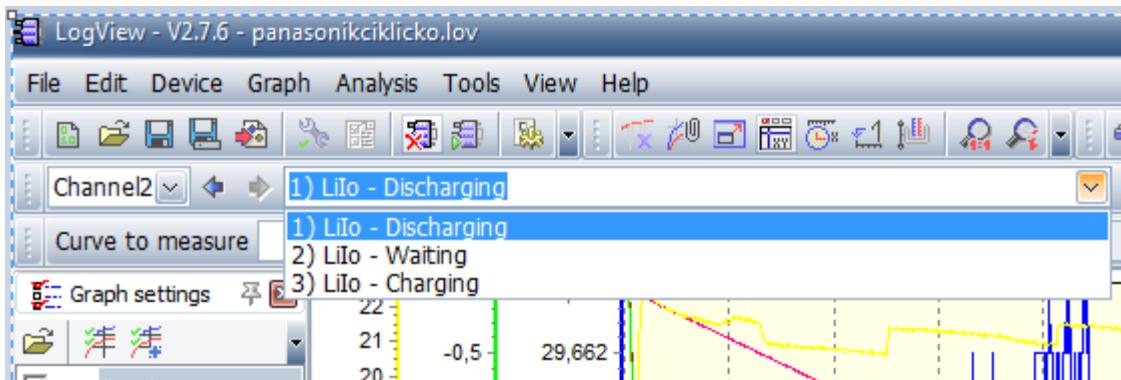
U nastavku će biti detaljnije objašnjene mogućnosti *LogView*-a.

U *LogView*-u se mogu snimati procesi za oba kanala uređaja Junsi. Prilikom izvođenja punjenja/praznjenja 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.



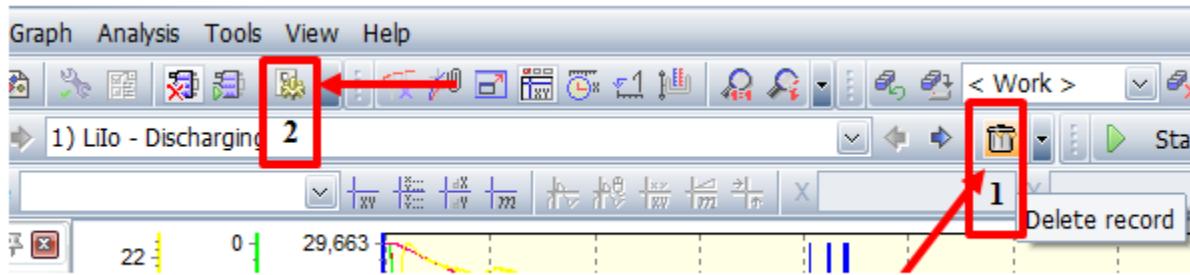
Slika 4.19. Izbor kanala za pregled

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.



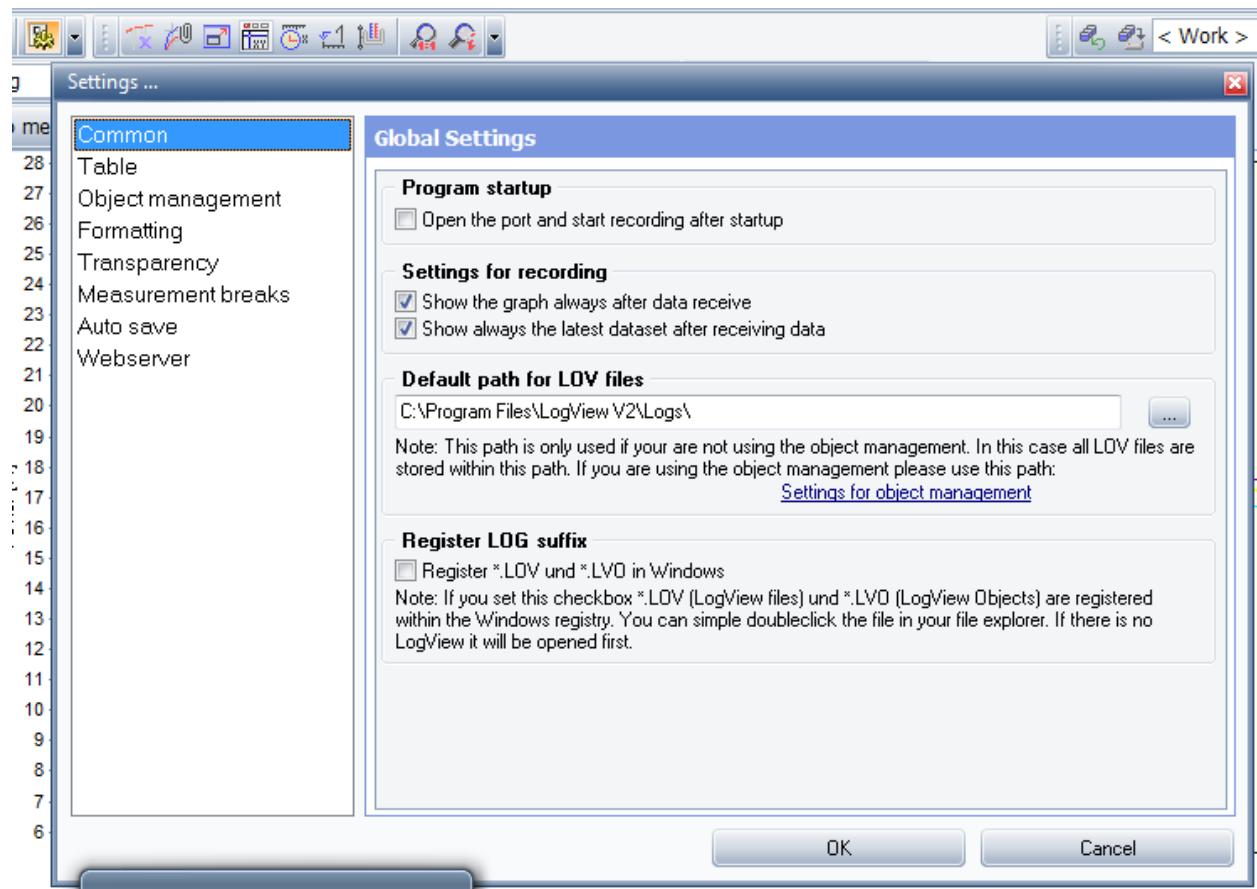
Slika 4.20. Odabir programa za prikaz

Snimljeni programi se mogu obrisati ako je došlo do greške prilikom izvođenja programa ili mjerjenja. 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



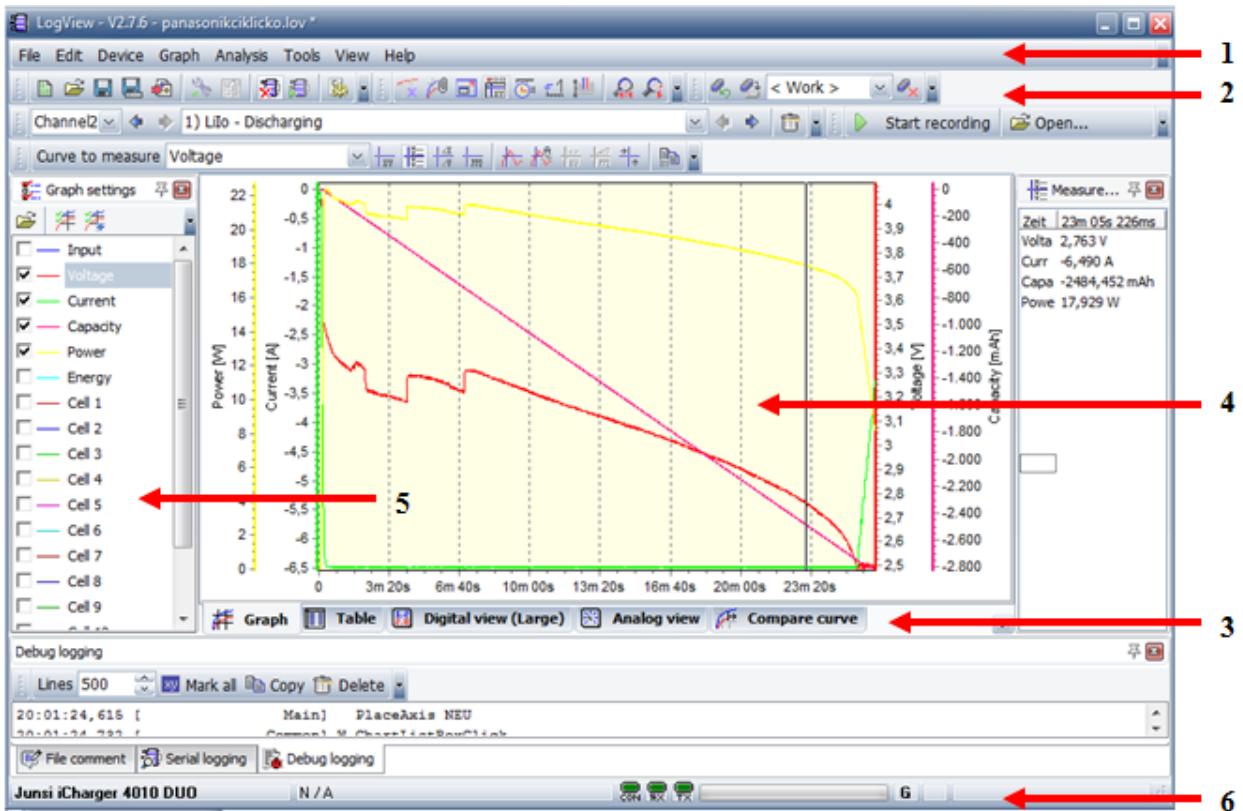
**Slika 4.21.** Gumb za brisanje snimanja

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*

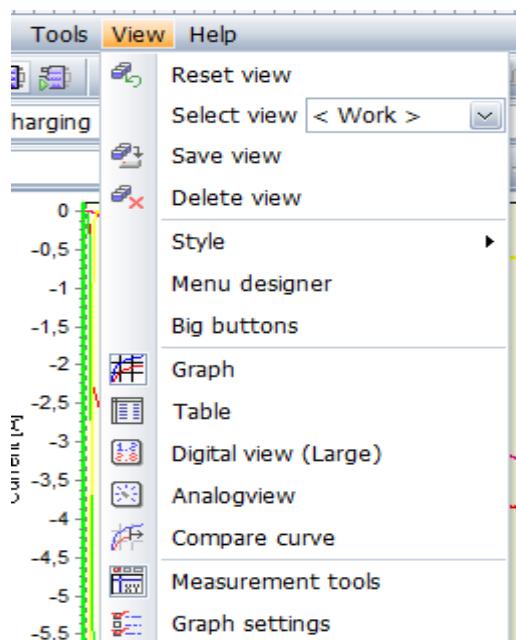
U osnovnoj konfiguraciji površina *LogView*-a ima šest osnovnih komponenata koje su označene brojevima na slici 4.23.:

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

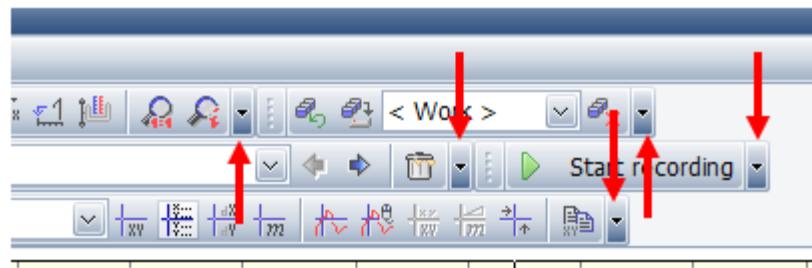
odabire prikaz mjerenih podataka. Može biti grafički (*Graph*), tablični (*Table*), digitalni (*Digital view*) i analogni (*Analog view*). Odabrani prikaz se prikazuje na području prikaza (oznaka 4). Postavke krivulja (oznaka 5) služe za uređivanje grafova. Statusna traka (oznaka 6) pokazuje status sučelja.

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.



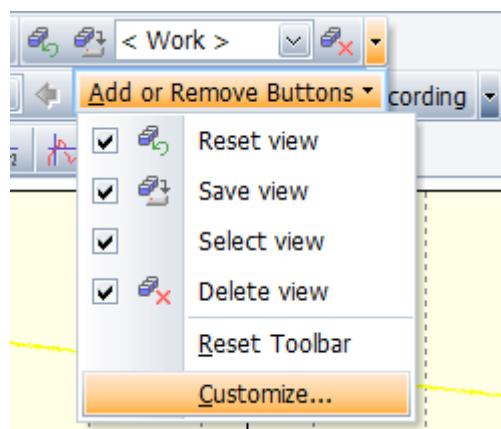
**Slika 4.24.** Funkcije sučelja *LogView*

Prozori funkcija alatne trake mogu se uključivati i isključivati te pomicati bilo gdje na sučelju. Ako se prozori žele pomaknuti, potrebno je držati pritisнуту леву тачку миша на прозору и помакнути га на жељено место. Величина прозора се podešава довођењем миша на леве или десне рубове прозора и затим се држанијем притиснуте леве тачке миша помиће на жељену величину. Прозори функција имају своје изборнике који се отварају кликом на црну стрелицу на крају прозора. Мјesta izbornika prikazana su na slici 4.25. i označena su crvenim strelicama.



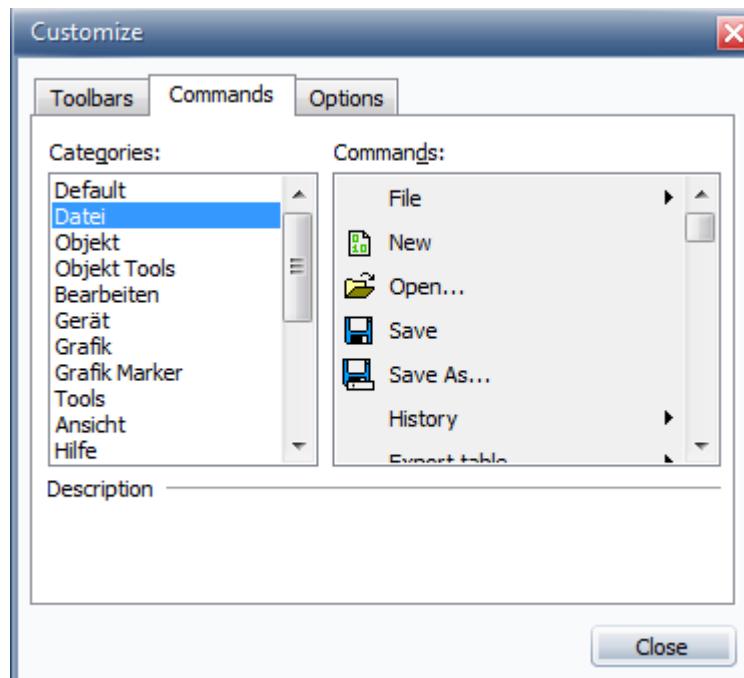
Slika 4.25. Izbornici prozora alatnih traka

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



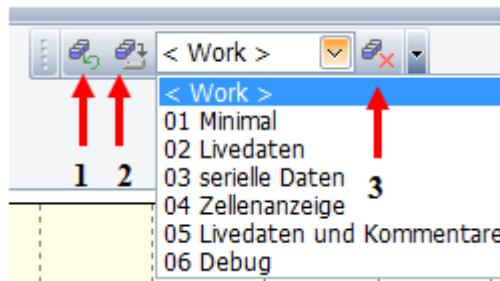
Slika 4.26. Izbornik prozora alatne trake

Novi gumbi se u prozor mogu dodati klikom na gumb *Customize* kao što je označeno na slici 4.26. Klikom na taj gumb se otvorи 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.

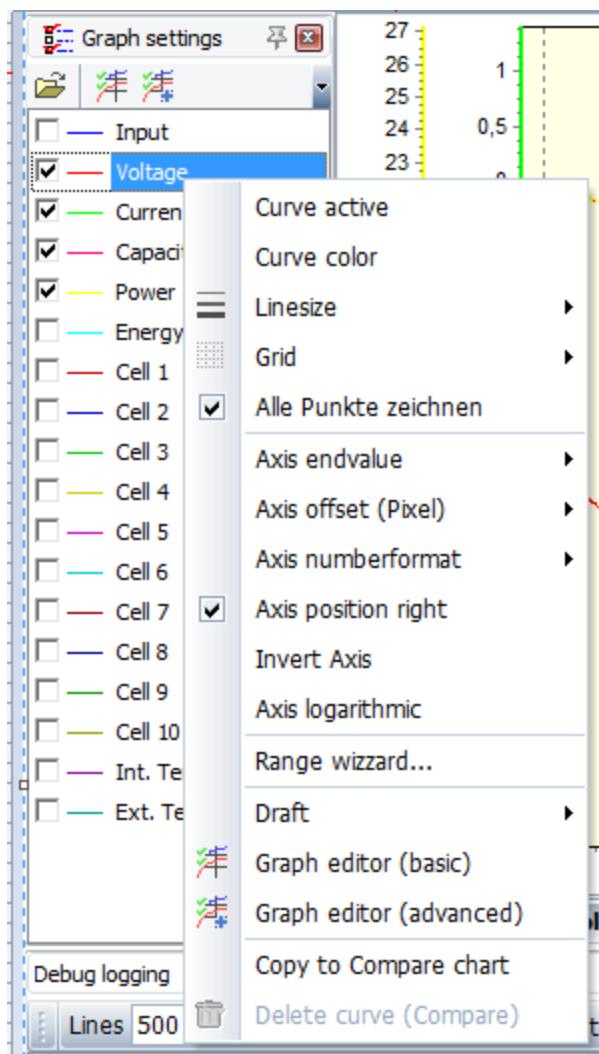


**Slika 4.28.** Prozor za izgled radne površine

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.



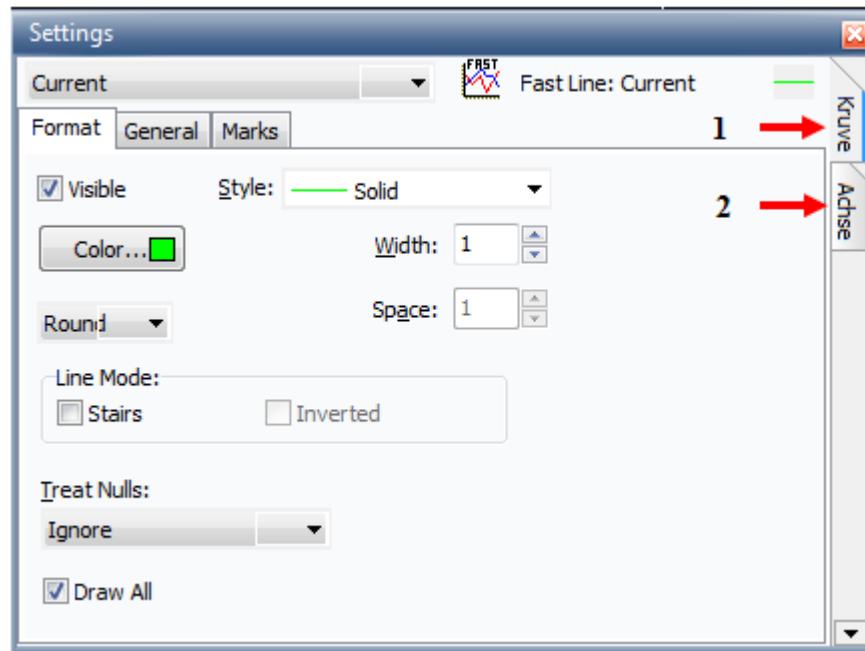
Slika 4.29. Kontekstni izbornik postavki krivulja

Izbornik sadrži brojne funkcije:

- *Curve active* 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 mesta.
- *Axis position right* služi za postavljanje Y osi s desne strane grafa
- *Invert axis* je funkcija kojom se Y os okreće za  $180^{\circ}$  u odnosu na nulu.
- *Axis logarithmic* je funkcija kojom se vrijednosti na Y osima prikazuju logaritamski
- *Range wizard* otvara dijaloški okvir u kojem 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 spremiti kao predložak i koristiti u budućim mjeranjima.
- *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.

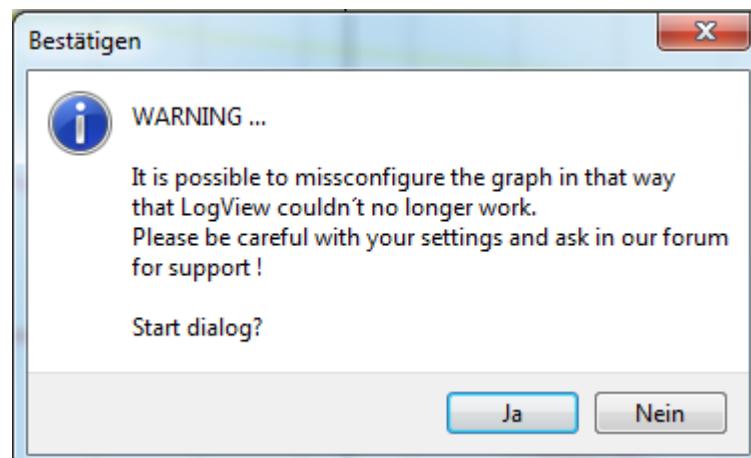


**Slika 4.30.** Prozor za uređivanje krivulja

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*

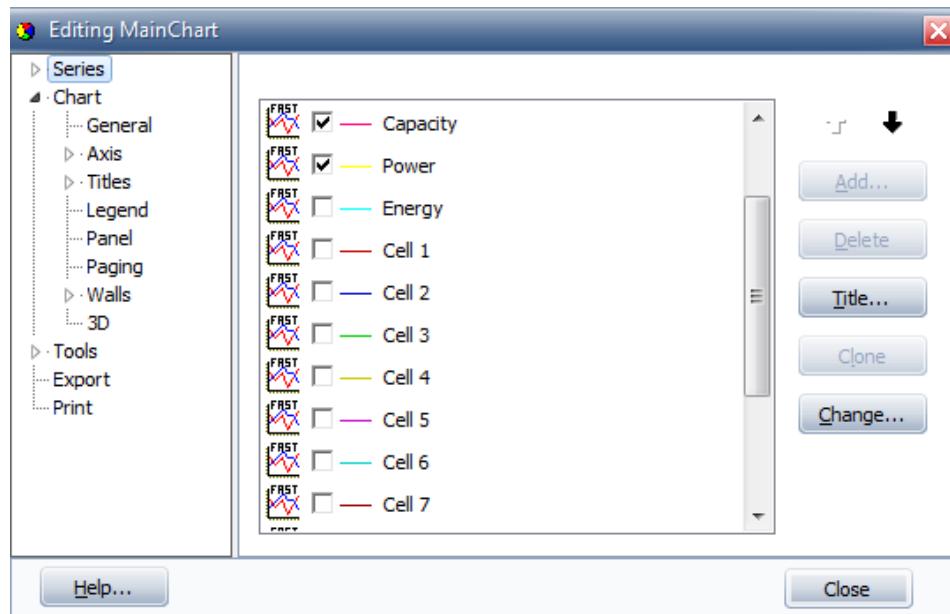
(oznaka 2) se pristupa postavkama Y osi krivulje. Mogu se postaviti ime osi, veličina fonta, skaliranje, boja osi i slično.

*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

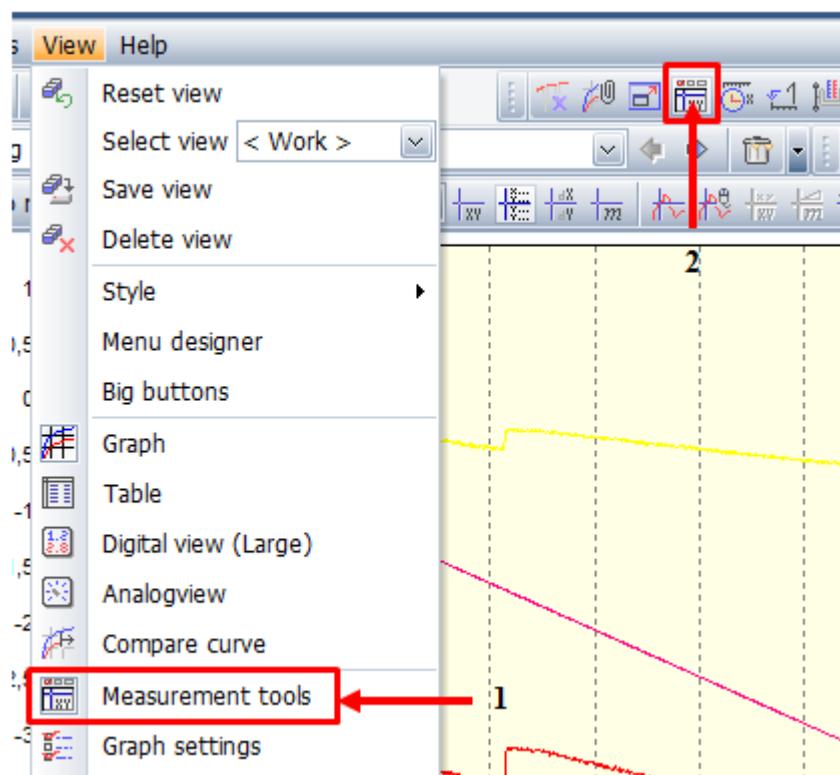
Upozorenje govori kako može doći do pogrešne konfiguracije grafa i da se mogu napraviti greške zbog kojih *LogView* može prestati raditi. Izgled prozora je prikazan na slici 4.32.



Slika 4.32. Prozor za napredno uređivanje krivulja i osi

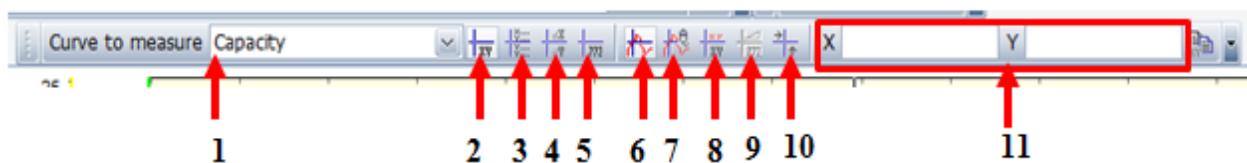
U ovome prozoru se mogu promijeniti, uključiti i isključiti važna svojstva sučelja. Ovu funkciju bi se trebalo koristiti samo ako nema drugog načina. Preporuka je potražiti pomoć na forumu internet stranice *LogView* programa. Forum se može otvoriti klikom na *Help>LogView Supportforum*.

Kako bi se bolje ispitala pojedina područja krivulja, koriste se alatne trake s gumbima za mjerjenja. 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 mjerjenja

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 mjerena

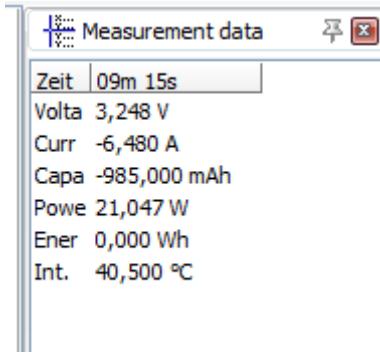
Oznakama 1-11 na slici 4.34. su označeni gumbi alatne trake za pregled mjerena. Gumb označen brojem 1 služi za odabir krivulje čije mjerenje se promatra. Gumbi označeni brojevima 2-5 su funkcije mjerena, a gumbi označeni 6-10 su dodatne opcije. Kada se odabere funkcija mjerena, na grafu se pojavljuju kurzori 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 otvoriti 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 kursora. Vrijednosti razlike su prikazane u prozoru označenom brojem 11.
- Funkcija *Measure slope* označena brojem 5 služi za mjerjenje nagiba krivulje. Nagib se određuje uz pomoć dvije mjerne točke i odabrane krivulje.

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

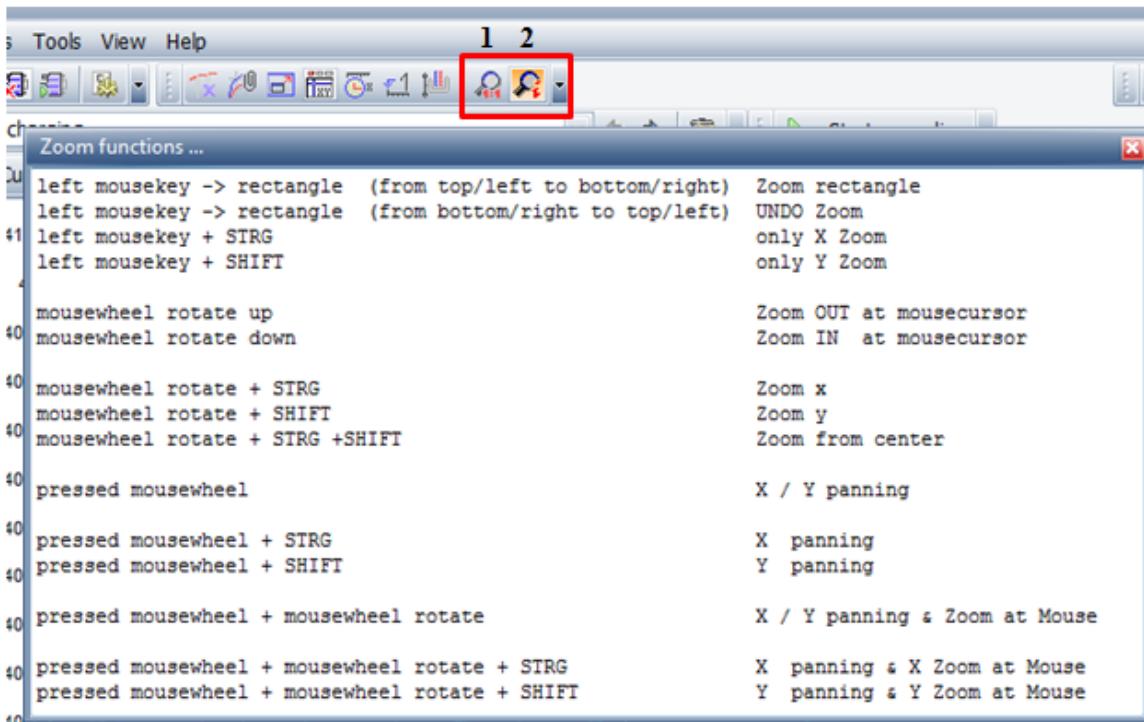
- Opcija *click on the curve* (oznaka 6) – ako je ova opcija uključena, pokazivač mjerena se pomiče samo duž odabrane krivulje. Time se mogu saznati točni podaci u svakom trenutku mjerena.
- Opcija *follow mouse with measurement cursor* (oznaka 7) služi za pomicanje kursora kako se pokazivač miša pomiče. 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 mernih 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.



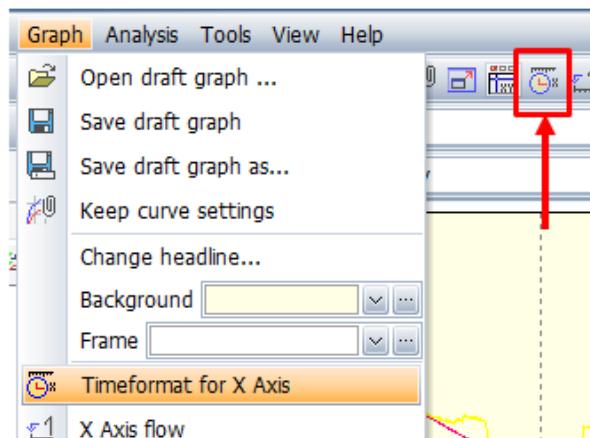
Slika 4.35. Pomoćni prozor s mjernim podacima

Za još preciznije ispitivanje mjerena 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*.



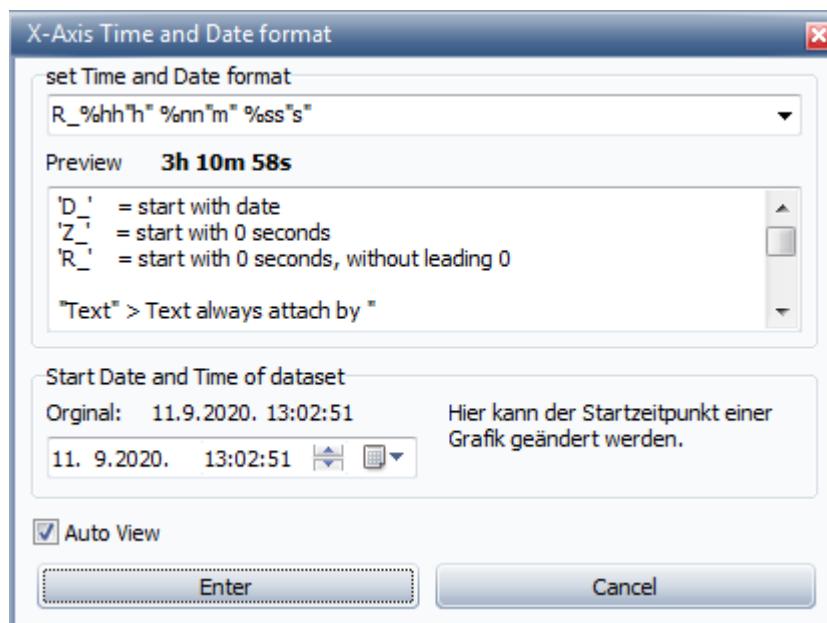
Slika 4.36. Zoom funkcije

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.



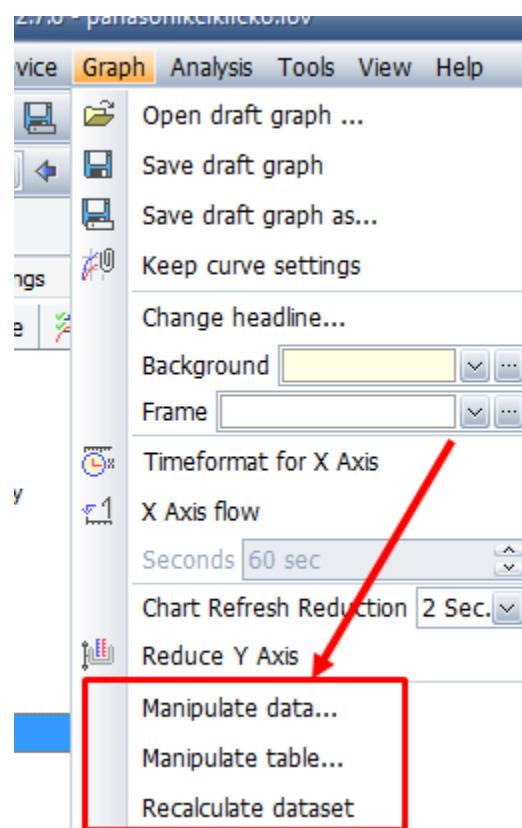
**Slika 4.37.** Funkcija *Timeformat for X axis*

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.

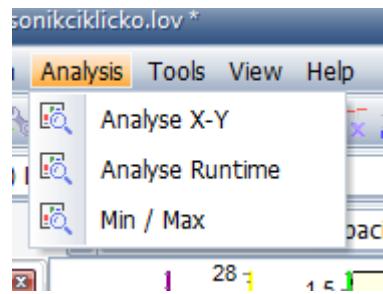
Funkcija *Manipulate table* (Slika 4.39) služi za prilagođavanje vrijednosti u tablici podataka. Vrijednosti se mogu ručno mijenjati unosom s tipkovnice. Promjene su odmah vidljive na grafu. Slika 4.41. Prikazuje izgled prozora koji se otvori odabirom ove funkcije.

#	Text	Input		Voltage		Current	
		X	Y	X	Y	X	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*

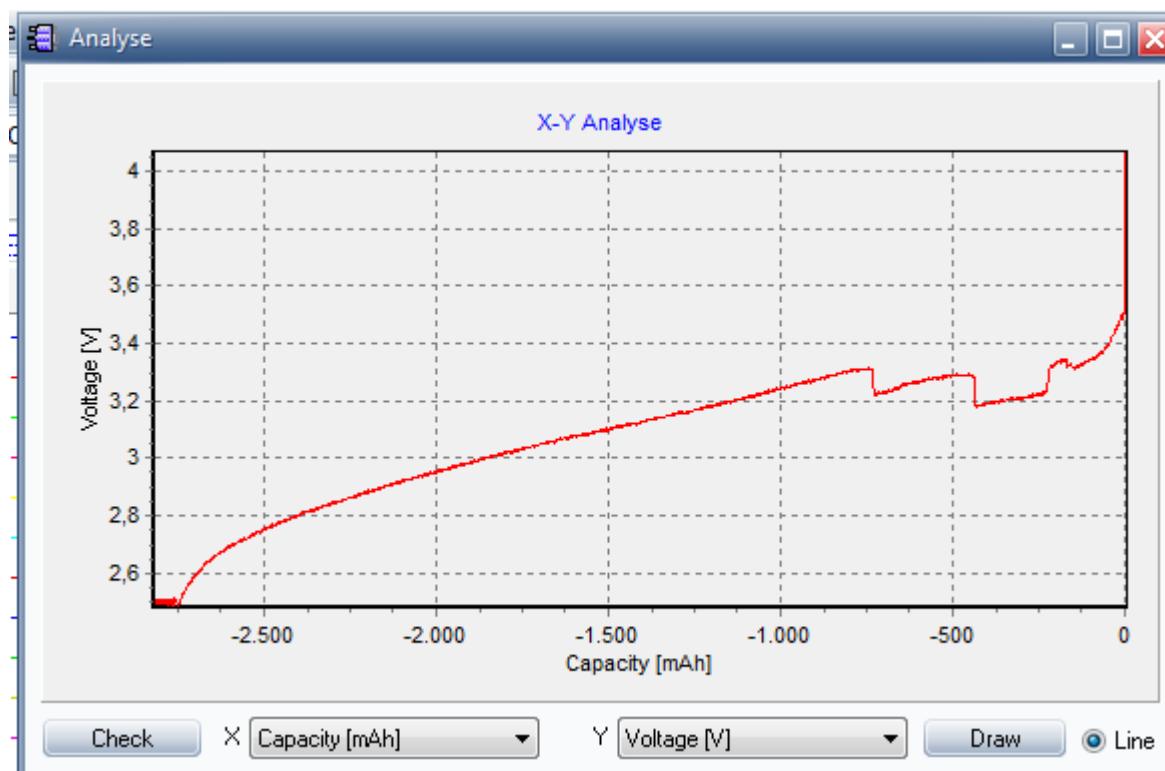
Funkcijom *Recalculate dataset* se poništavaju postavke manipulacije i podaci se vraćaju na početne izmjerene vrijednosti.

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



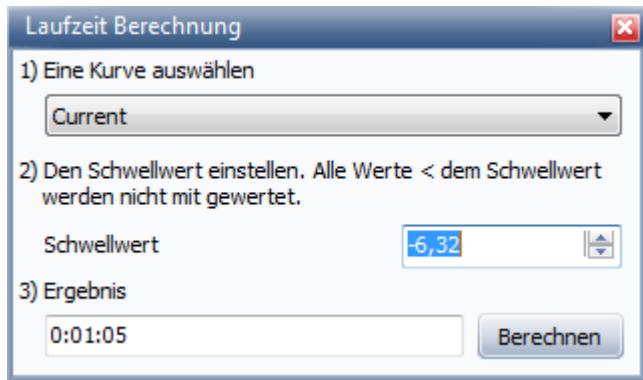
Slika 4.42. Izbornik Analysis

Funkcija *Analyse X-Y* služi za promatranje međuvisnosti 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.



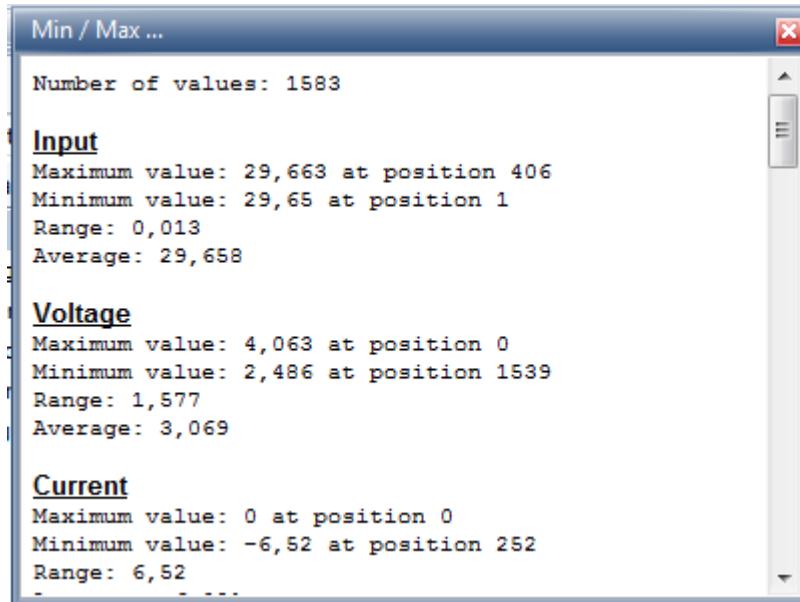
Slika 4.43. Funkcija Analyse X-Y

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.



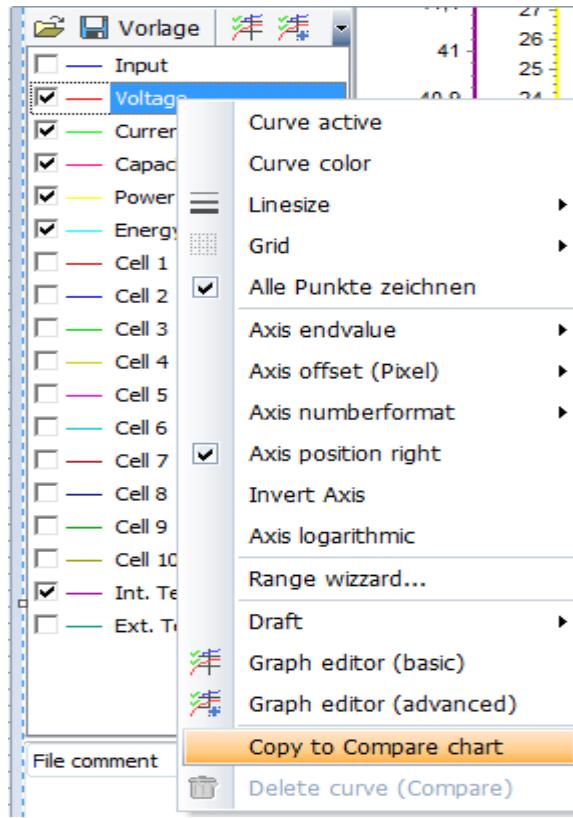
**Slika 4.44.** Funkcija *Analyse runtime*

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



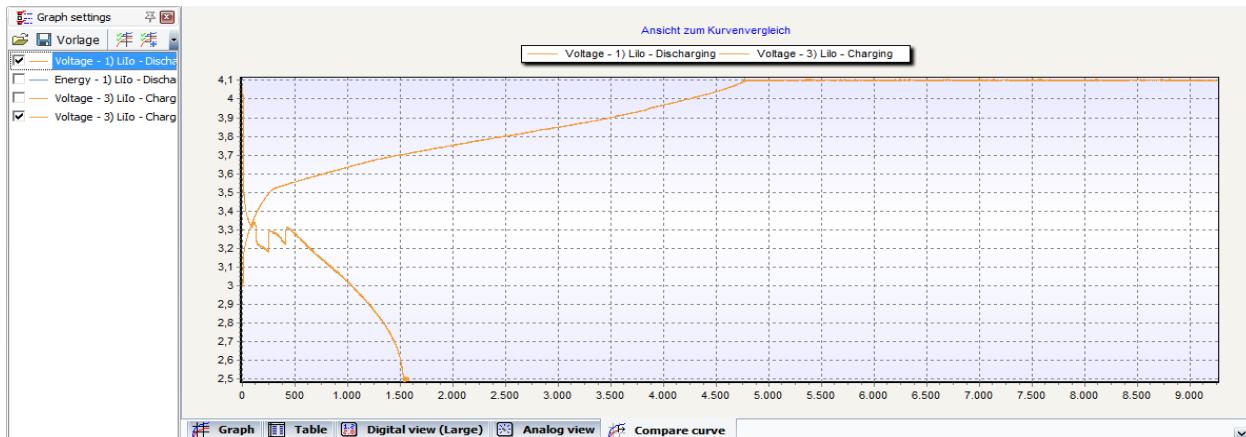
**Slika 4.45.** Funkcija *Min/Max*

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 različitim kanala i različitim programima. 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.



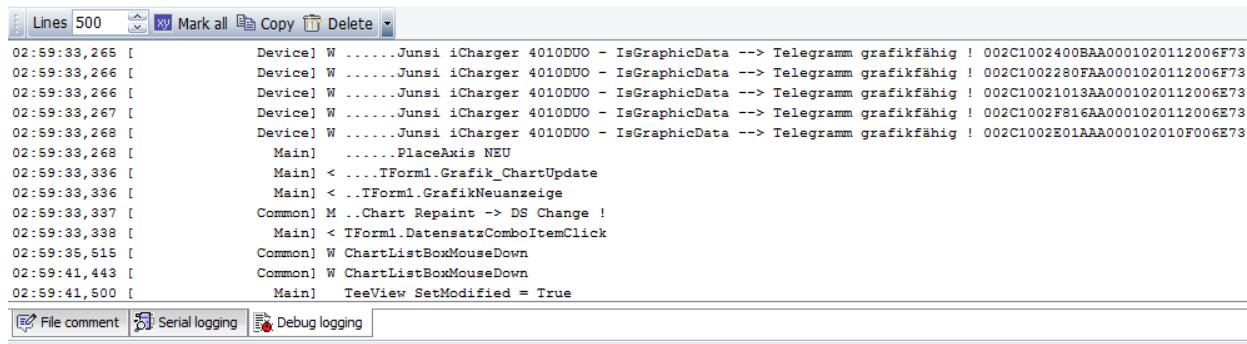
Slika 4.46. Odabir krivulje za usporedbu

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 mjerjenja 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.



The screenshot shows a software interface for 'Debug Logging'. At the top, there's a menu bar with 'Lines 500' and various icons for 'Mark all', 'Copy', and 'Delete'. Below the menu is a scrollable text area displaying a log of events. The log entries are timestamped and show interactions between a device and a host application. Key entries include:

- 02:59:33,265 [Device] W .....Junsil iCharger 4010DUO - IsGraphicData --> Telegramm grafikfähig ! 002C1002400BAA0001020112006F73
- 02:59:33,266 [Device] W .....Junsil iCharger 4010DUO - IsGraphicData --> Telegramm grafikfähig ! 002C1002280FAA0001020112006F73
- 02:59:33,266 [Device] W .....Junsil iCharger 4010DUO - IsGraphicData --> Telegramm grafikfähig ! 002C10021013AA0001020112006E73
- 02:59:33,267 [Device] W .....Junsil iCharger 4010DUO - IsGraphicData --> Telegramm grafikfähig ! 002C1002F816AA0001020112006E73
- 02:59:33,268 [Device] W .....Junsil 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 [Common] W ChartListComboBoxMouseDown
- 02:59:35,515 [Common] W ChartListBoxMouseDown
- 02:59:41,443 [Common] W ChartListBoxMouseDown
- 02:59:41,500 [Main] TeeView SetModified = True

At the bottom of the window, there are three buttons: 'File comment', 'Serial logging', and 'Debug logging'. The 'Debug logging' button is highlighted with a red border.

**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 mjerena 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 mjerena su prikazani grafički. U četvrtom podpoglavlju su uspoređeni dobiveni rezultati.

### 5.1. Panasonic NCR18650B

Dani su rezultati mjerena 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

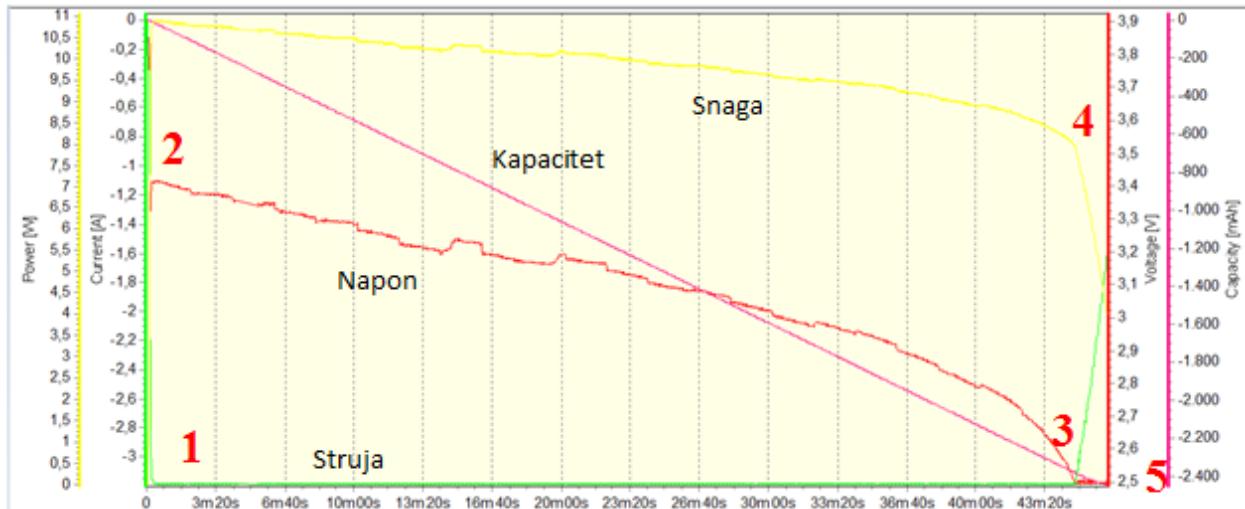
U tablici 5.1. su dani početni parametri pražnjenja Panasonic baterije.

**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
C-faktor	1C

U poglavlju 4.2. su objašnjeni parametri pražnjenja koje je potrebno unijeti na Junsi uređaj. Parametri se unose na isti način za svaku testiranu bateriju. S obzirom na to da faktore *LiIo 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, struju 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 zadatu 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 10 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 dosega 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 ispraznenog 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.

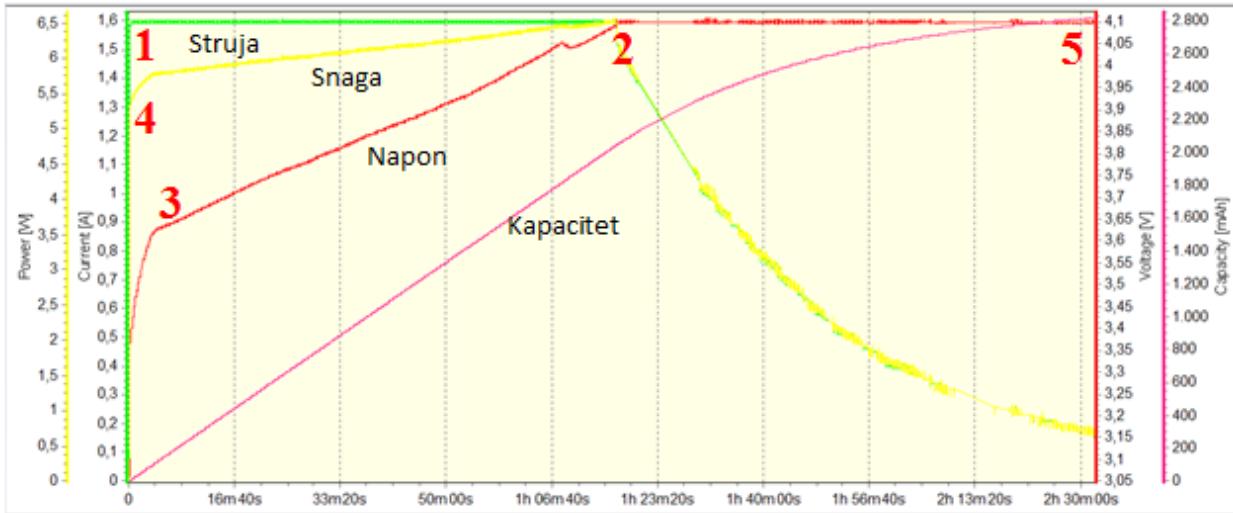
### 5.1.2. Punjenje

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
<i>C</i> -faktor	0,5 <i>C</i>
Kapacitet	3250 mAh

U uređaj Junsi je potrebno unijeti samo struju punjenja (*Current*). Parametre *LiIo Cap.*, *Cells* i *CHG Mode* uređaj Junsi 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 % ispraznjenoosti jedan dio je degradirani kapacitet i on se ne može povratiti. *SoC* punjenja je veći od *SoC* praznjenja za 11,5 % što potvrđuje pretpostavku da baterija nije bila napunjena do kraja.

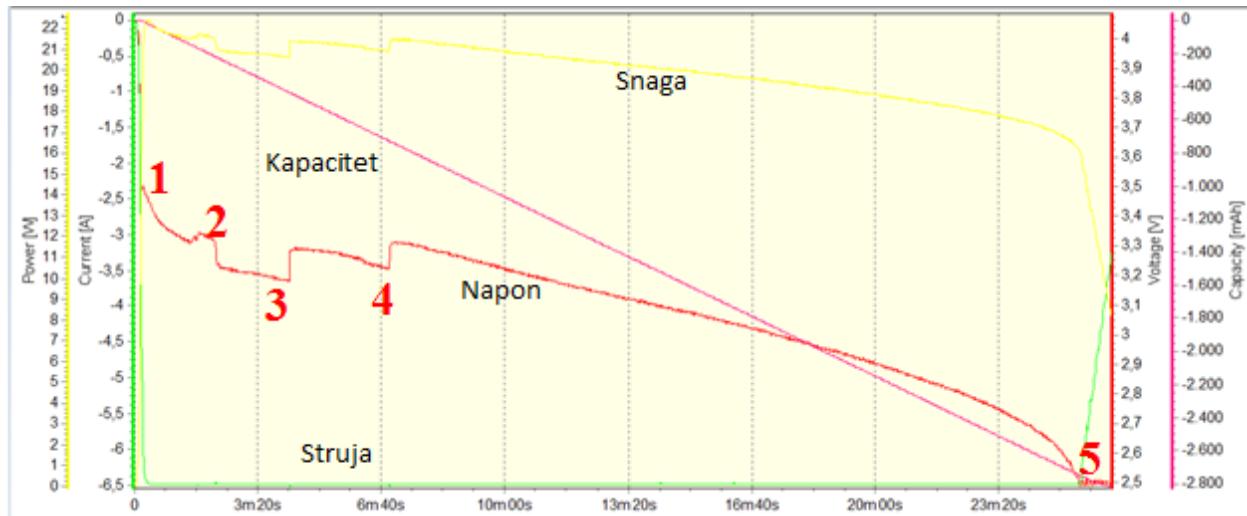
### 5.1.3. Ciklički način rada

Razlike između cikličkog načina rada i standardnog punjenja i praznjenja 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 praznjenja, čekanja i punjenja. Parametri punjenja i praznjenja se ne mijenjaju, osim struja punjenja i praznjenja koje se postavljaju na maksimalne dozvoljene vrijednosti (prilozi 1-3). U tablici 5.3. dani su početni parametri praznjenja.

**Tablica 5.3.** Parametri cikličkog praznjenja Panasonic baterije

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

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



Slika 5.3. Karakteristike cikličkog pražnjenja Panasonic baterije

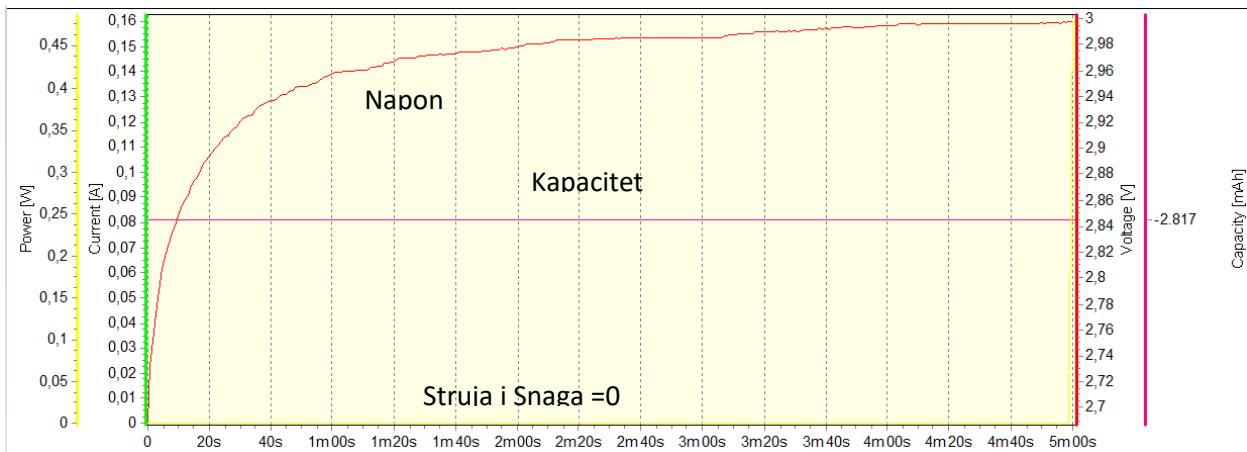
Cikličko pražnjenje trajalo je 26 minuta i 22 sekunde što je dvostruko brže nego u prethodnom slučaju. Razlog tome je što se struja pražnjenja povećala za 2 puta. Struja (zeleni graf ) se ponaša isto kao kod standardnog punjenja. Razlika u odnosu na standardno pražnjenje je iznos struje pražnjenja. Napon 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:

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

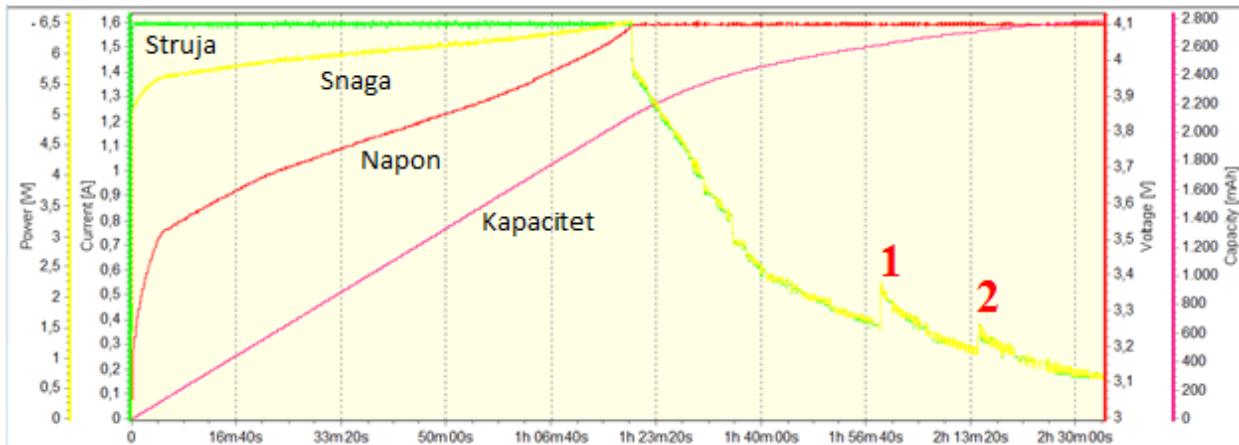
Delay je vrijeme čekanja između pražnjenja i punjenja, služi kako bi se baterija ohladila jer veće struje pražnjenja više zagrijavaju bateriju. Također služi kako bi se napon podigao s napona prekida. Na slici 5.4. prikazane su karakteristike za Delay.



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

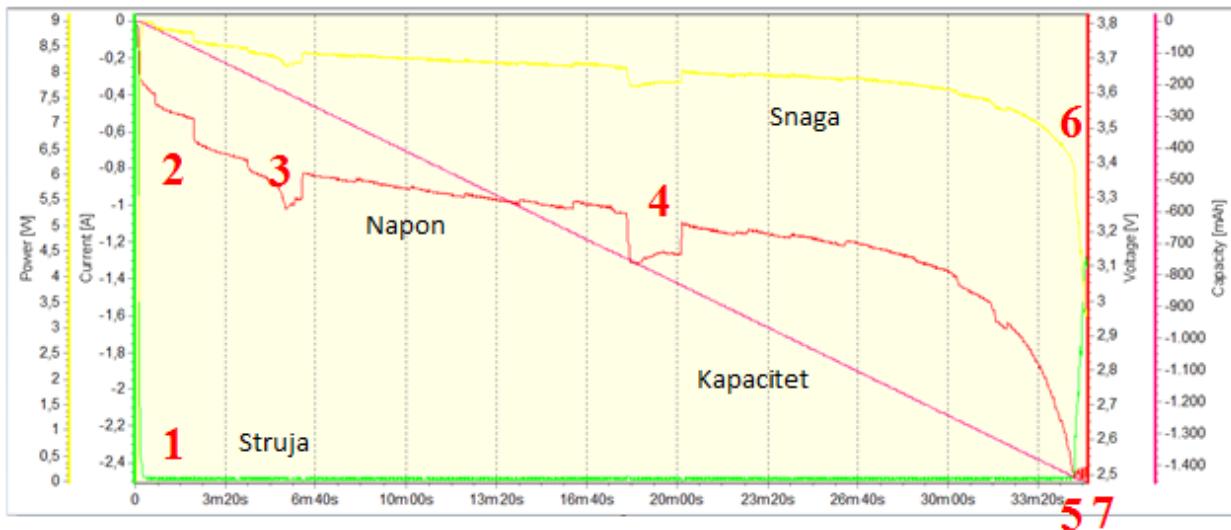
### 5.2.1. Pražnjenje

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 (zelena 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 ispraznjena do tog stanja. Baterije se prestaju koristiti pri 70-80 % *SoC*-a, tako da se punjenjem mora provjeriti stvarni *SoC*.

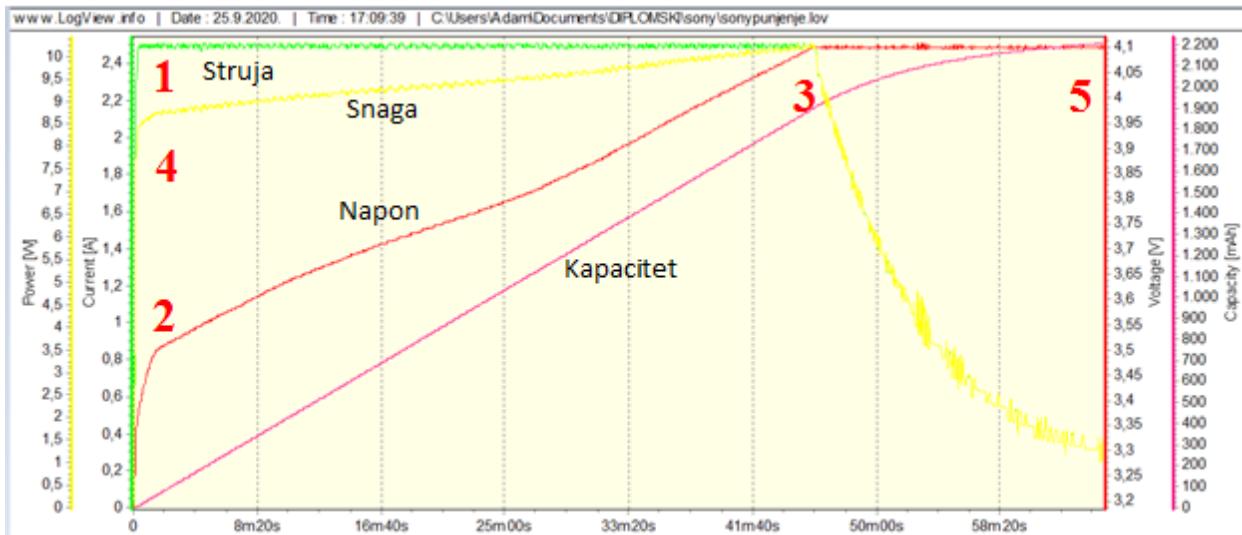
### 5.2.2. Punjenje

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>	1 <i>C</i>
Kapacitet	2563 mAh

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



Slika 5.7. Karakteristike punjenja Sony baterije

Punjene 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 dosegnila 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.

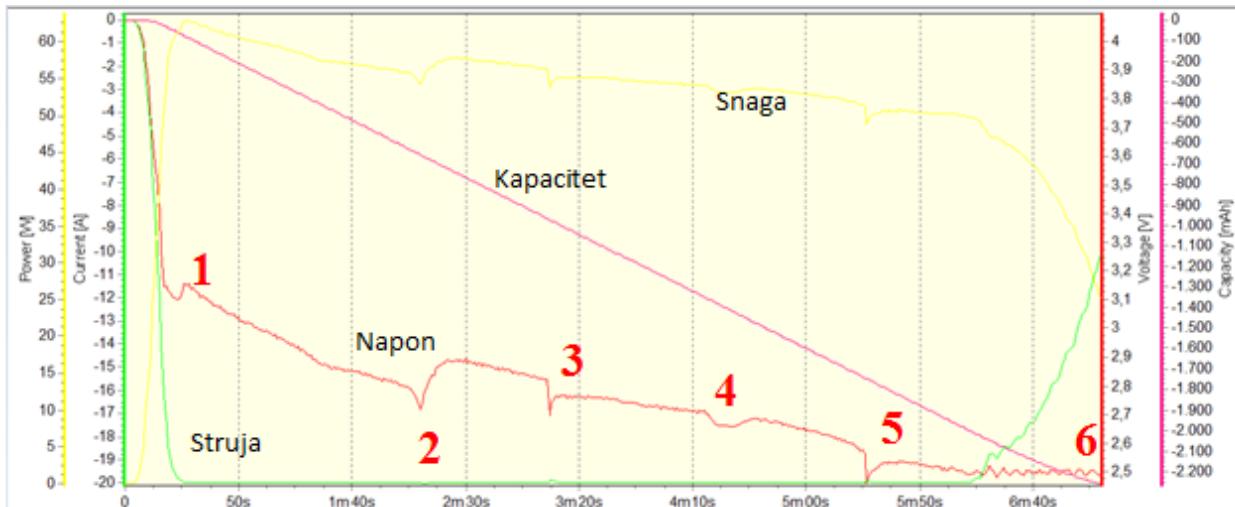
### 5.2.3. Ciklički način rada

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-faktor</i>	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

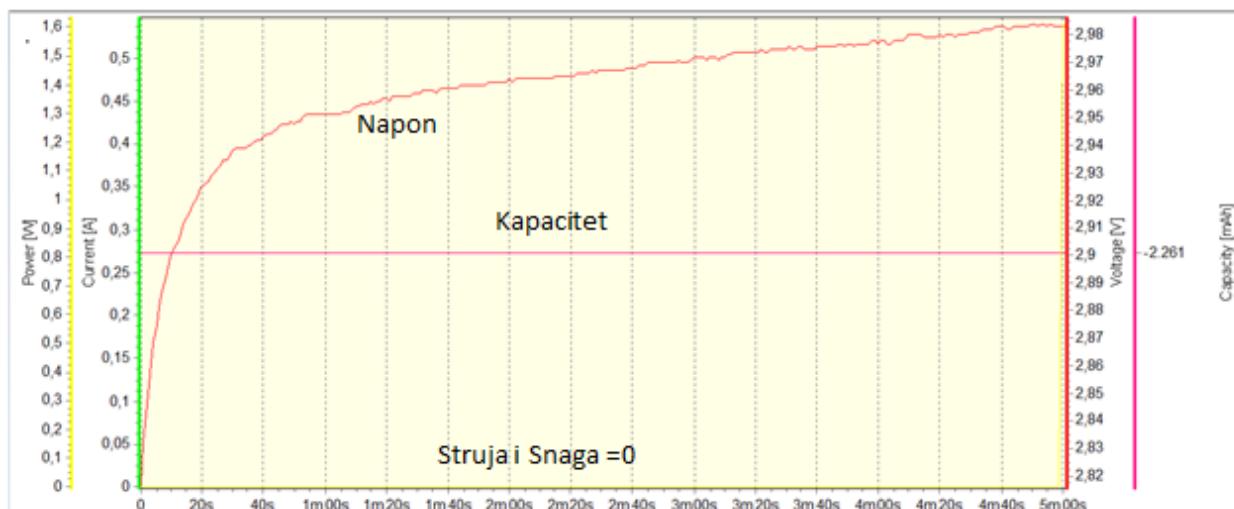
proporcionalno struji i naponu. Kapacitet se linearno prazni (rozi graf). U trenutku prekida kapacitet je iznosio 2259 mAh (oznaka 6). SoC iznosi :

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

A DoD:

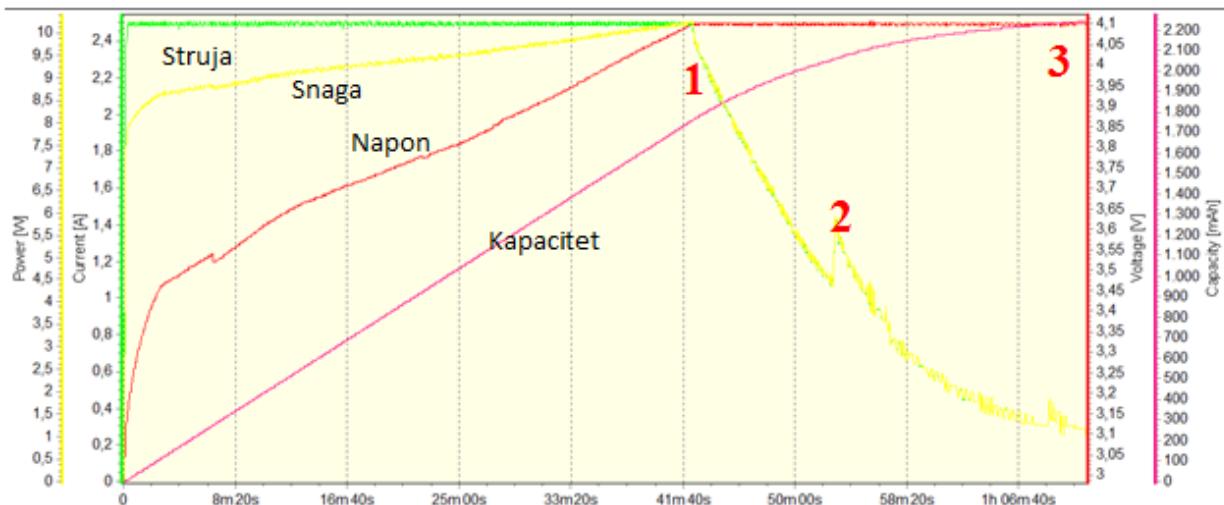
$$DoD = 100 \% - SoC = 100 \% - 88,13 \% = 11,87 \%$$

*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 trenutcima 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 mjerjenja za bateriju LG. Kao i kod prve dvije baterije, provođeni su postupci punjenja, pražnjenja i cikličnog načina rada. Karakteristike mjerjenih parametara su prikazane na grafovima, a početni parametri su dani u tablicama.

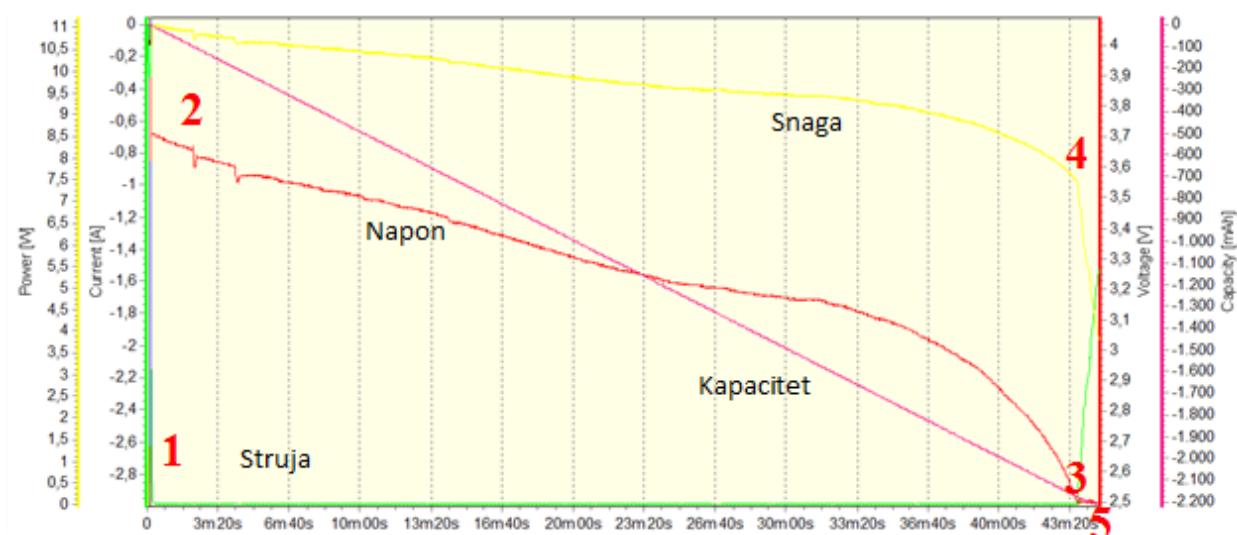
### 5.3.1. Pražnjenje

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
C-faktor	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 (zelena 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 ispraznjenog 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.

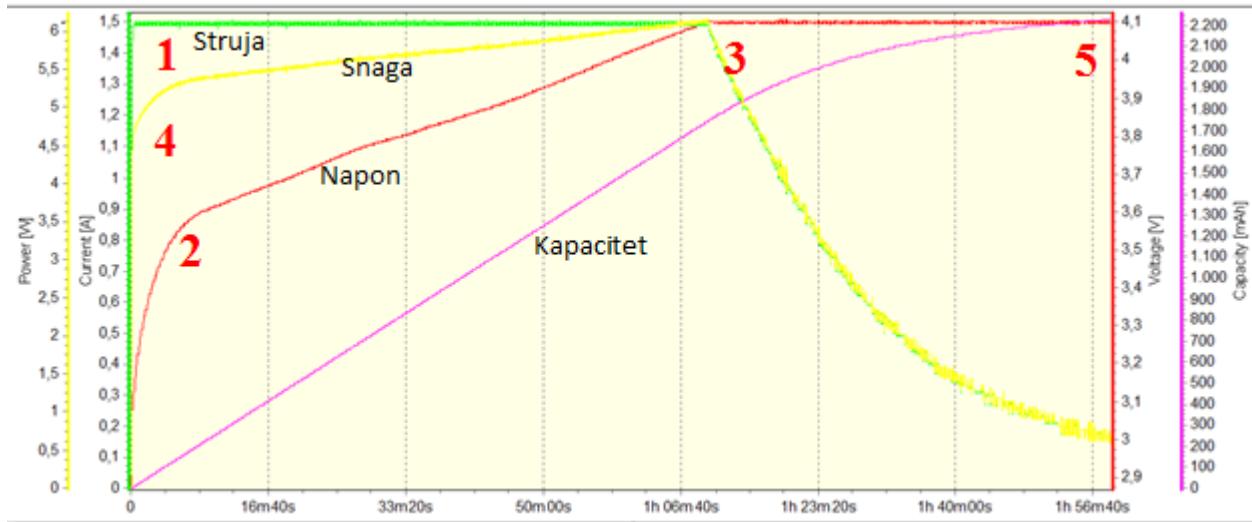
### 5.3.2. Punjenje

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
$C$ -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 dosegnula 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  $DoD$ :

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

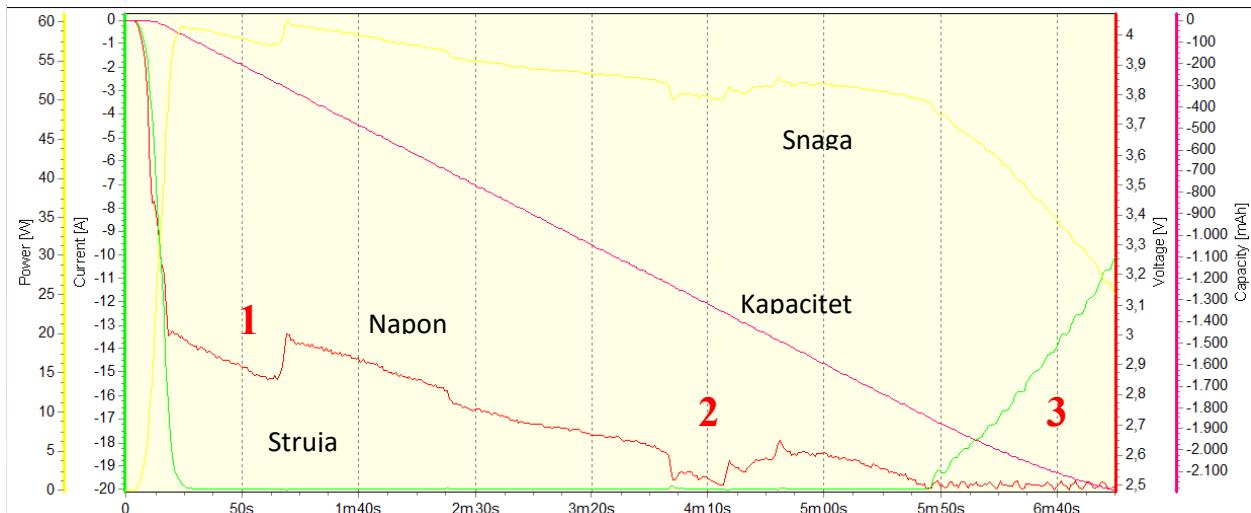
### 5.3.3 Ciklički način rada

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>	6 <i>C</i>

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 (zeleni liniji) 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

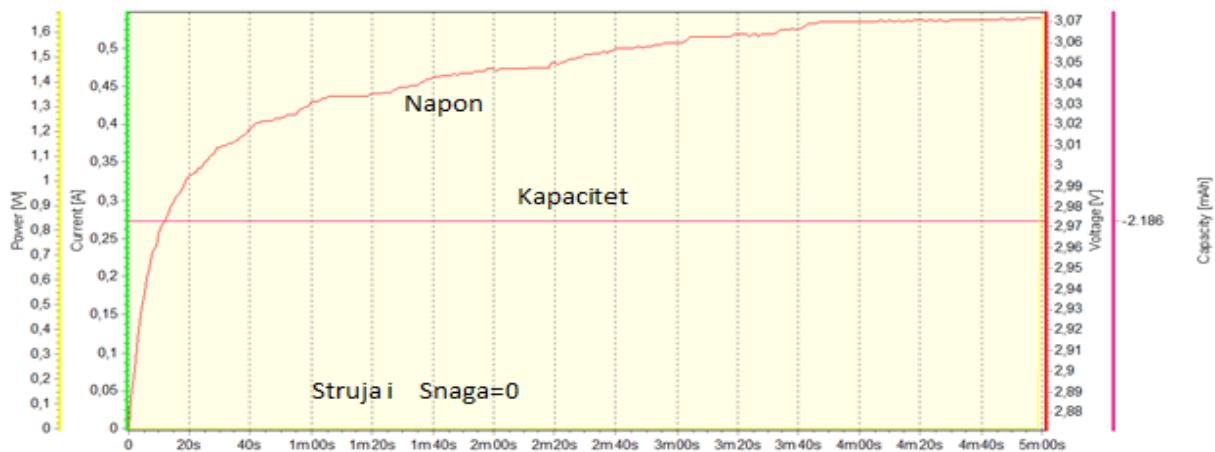
različitog unutarnjeg otpora. Kapacitet (roza linija) se linearno prazni. U trenutku prekida (oznaka 3) kapacitet je iznosio 2186 mAh.  $SoC$  iznosi:

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

$DoD$  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.



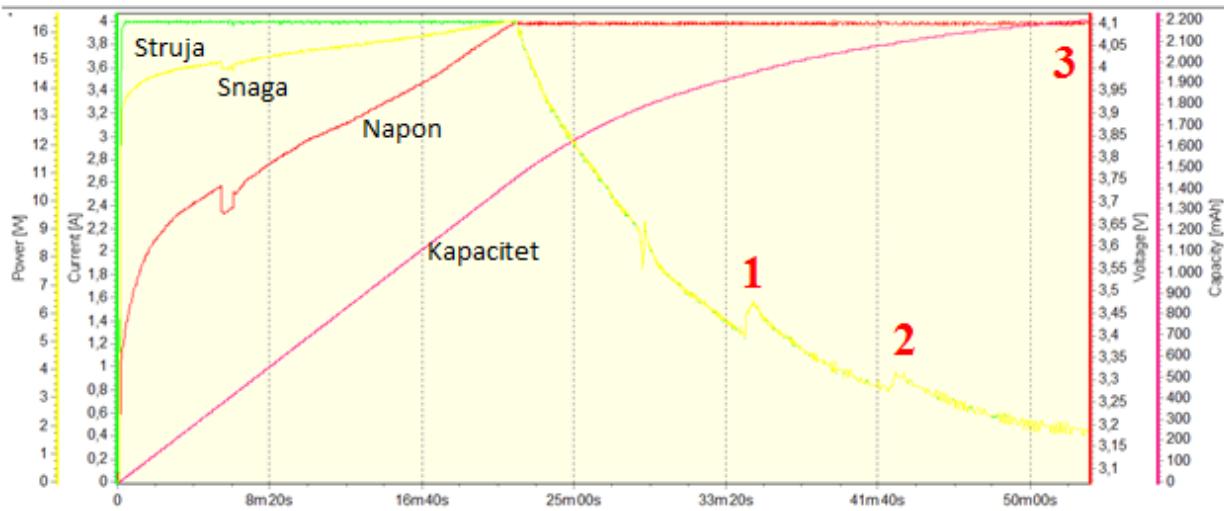
Slika 5.14. Karakteristike vremenske odgode

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 liniji) 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 mjereneih karakteristika

U podpoglavlju su dane tablice sa usporedbom mjereneih 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		
		Panasonic	Sony	LG
<b>PRAŽNJENJE</b>	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
<b>PUNJENJE</b>	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

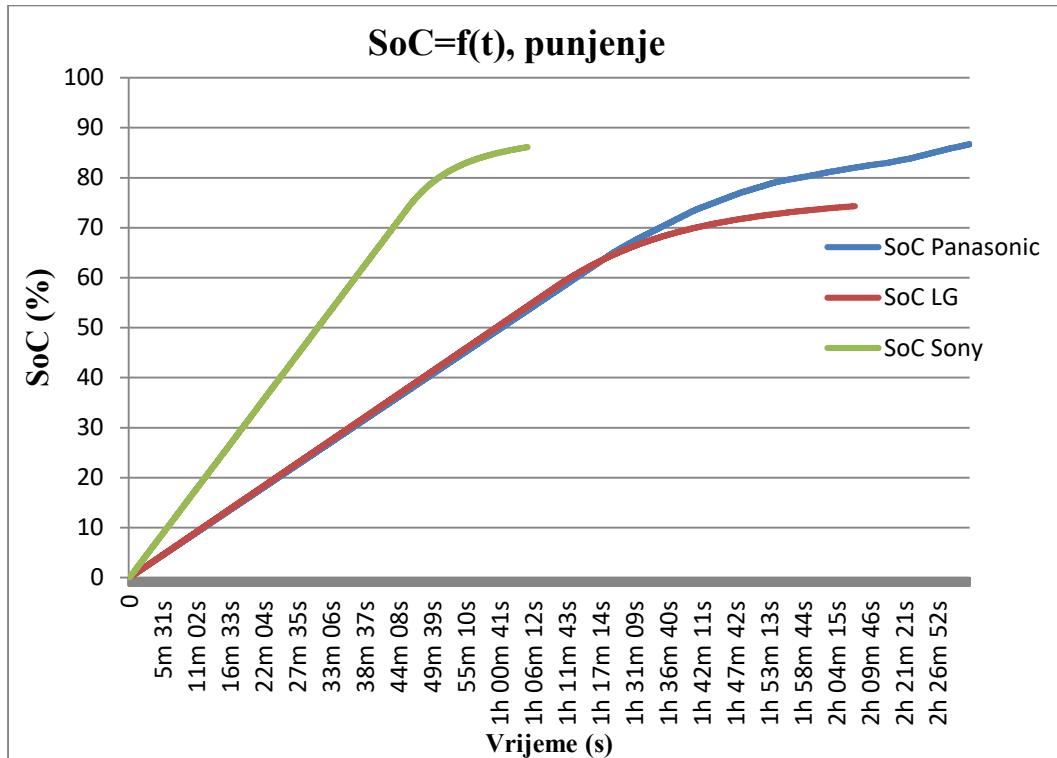
Kod standardnog pražnjenja baterije su imale isti *C-faktor* i on je iznosio 1C. Prema tom faktoru očekivanje je bilo da se baterije isprazne kroz sat vremena bez obzira na to što imaju različitu struju pražnjenja. Sve tri baterije su se ispraznile prije predviđenog roka zbog smanjenog dostupnog kapaciteta. 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 ispraznjene do izmjerenoj 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 ispraznjena 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.

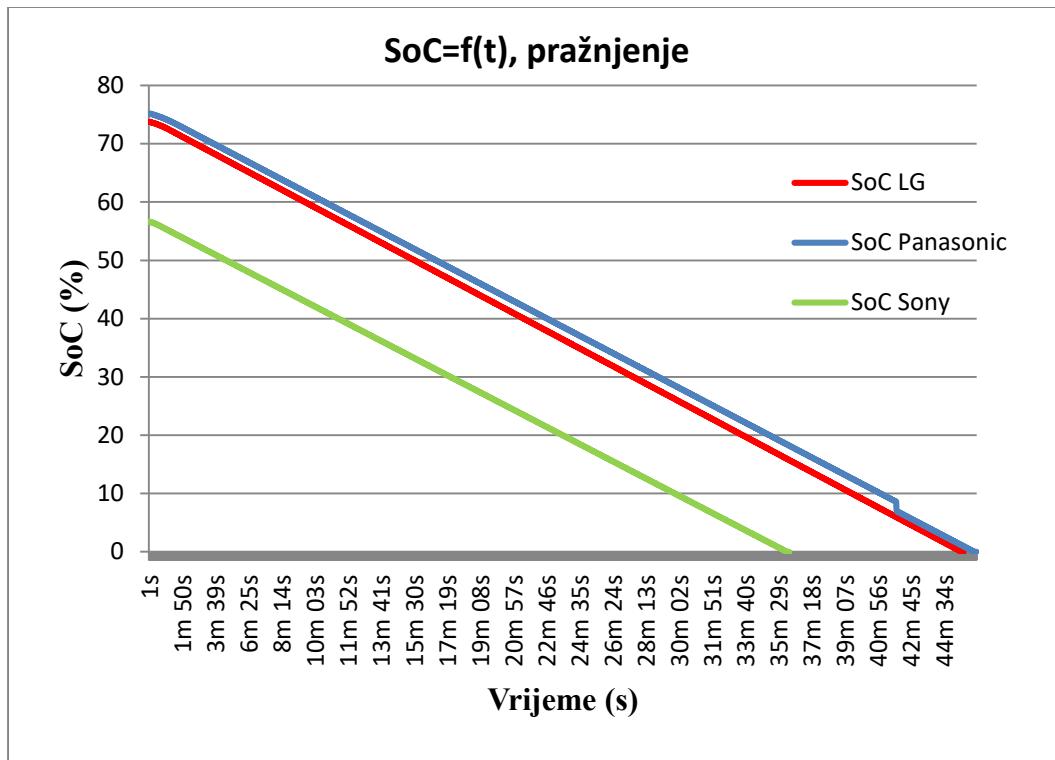
Na slici 5.16. prikazana je ovisnost *SoC*-a punjenja baterija o vremenu.



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.

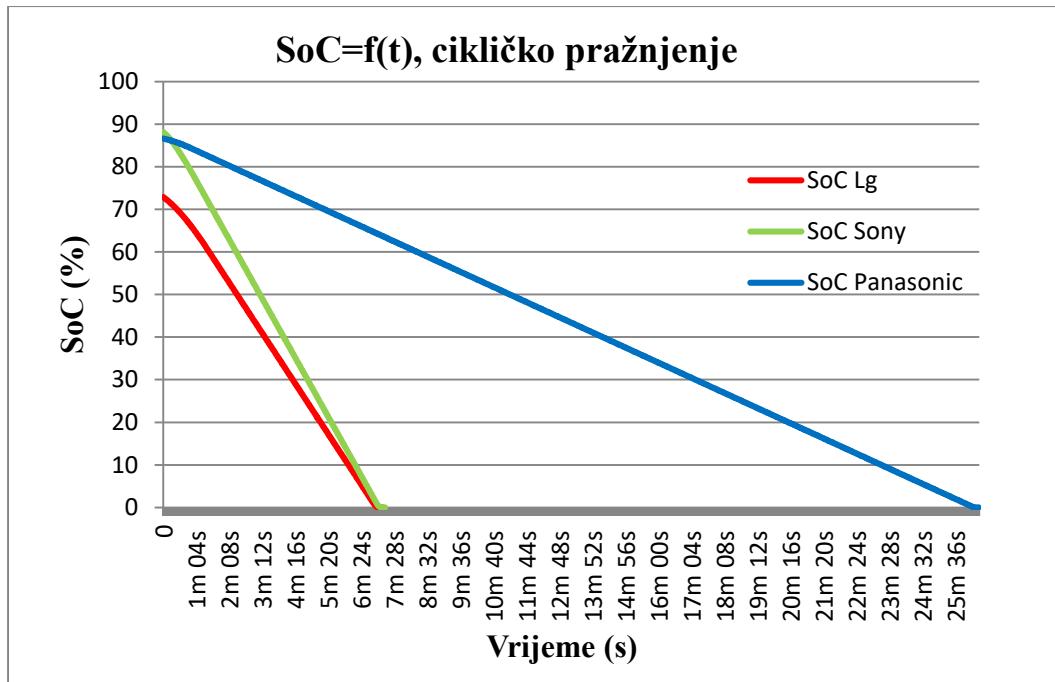
Na slici 5.17. Prikazana je ovisnost  $SoC$ -a pražnjenja o vremenu.



Slika 5.17. Ovisnost  $SoC$  o vremenu pražnjenja

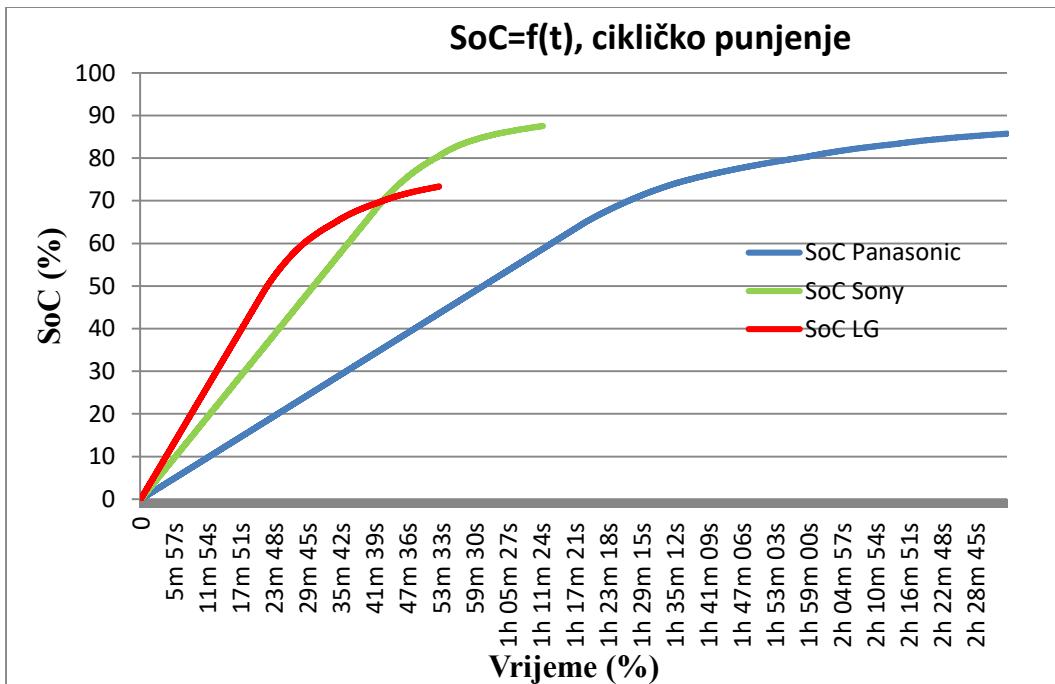
Na grafu se vidi da se  $SoC$  smanjuje pražnjenjem baterije. Najmanji početni  $SoC$  je imala Sony baterija. Razlog je taj što nije bila napunjena do kraja. Kapacitet se smanjuje linearno pa se i  $SoC$  smanjuje linearno.

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 Junsi i mjerenjem podataka u programu LogView olakšano je baratanje s osnovnim parametrima baterije. Prednost programa LogView je što se podaci mjerena 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 pojednostavljen baratanje mjerenim podacima. Punjenje i praznjenje 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 praznjenja. Minimalni napon praznjenja pri kojem se praznjenje 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 praznjene i punjene maksimalnim strujama punjenja i praznjenja 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 praznjenja, kada se baterija isprazni maksimalnom strujom praznjenja. 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 praznjenja i velikih struja praznjenja. 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 Primjenjenu 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 temperturnog 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](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](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](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](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, Manufactring 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](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](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](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](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](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 čelija spojenih u seriju, dostupno na:  
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos%3A2171> ( 24.09.2020.)

[24] Shenzhen New Jansi Electronic Co.,Ltd, 4010 Duo users manual download: dostupno na:  
[http://www.hillrc.com/UploadFiles/4010DUO\\_Manual\\_en.pdf](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 mjerena u programu *LogView* prikazane su prednosti i mane testiranih baterija.

**Ključne riječi:** C-faktor, Junsi pražnjač/punjač, Li-ion baterija, parametri baterija, stanje napunjenoosti 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 mesta na županijskom natjecanju iz matematike i trećeg mesta 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 održuje praksu u tvrtki HEP, sudjeluje na Elektrijadi, STEM games-ima i na međunarodnom Smart Grid Congress-u.

# PRILOZI

Prilog 1: Podatkovna tablica baterije Panasonic NCR18650 B

# 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 <sup>(1)</sup>	Min. 3200mAh
Capacity <sup>(2)</sup>	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 <sup>(3)</sup>	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**

Max. 18.5 mm  
Max. 65.3 mm  
\*With tube (+) (-)  
For Reference Only

**Charge Characteristics**

Charge: CC-CV 0.5C (max) 4.20V, 65mA cut-off at 25°C

**Cycle Life Characteristics**

Charge: CC-CV 0.5C (max) 4.20V, 65mA cut-off at 25°C  
Discharge: CC 1C, 2.50V cut-off at 25°C

**Discharge Characteristics (by temperature)**

Charge: CC-CV 0.5C (max) 4.20V, 65mA cut-off at 25°C  
Discharge: CC 1C, 2.50V cut-off at each temperature

-20° C -10° C 0° C 25° C 40° C

**Discharge Characteristics (by rate of discharge)**

Charge: CC-CV 0.5C (max) 4.20V, 65mA cut-off at 25°C  
Discharge: CC, 2.50V cut-off at 25°C

0.2C 0.5C 1C 2C

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](http://www.panasonic.com/industrial/batteries-oem), e-mail [secsales@us.panasonic.com](mailto:secsales@us.panasonic.com), or call (469) 362-5600.

VERSION 13.11 R1 | Copyright© 2012 SANYO Energy (U.S.A.) Corporation. All Rights Reserved.

Prilog 2: Podatkovna tablica baterije LG 18650HG2

## **Technical Information of LG 18650HG2 (3.0Ah)**

Dec. 05. 2014

High Power Cell Development Team



# Summary

---

Type	Specification	Actual
Chemistry	Li[NiMnCo]O <sub>2</sub> (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

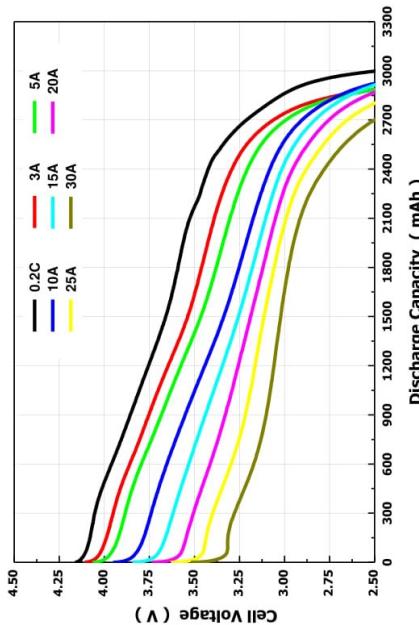
# Rate Performance

*Confidential*

- **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	20A	25A	30A
Capacity (mAh)	2998	2886	2884	2925	2913	2873	2802
% C <sub>N</sub>	100	96	96	98	97	96	93
Energy (Wh)	11.0	10.3	10.1	9.8	9.5	9.2	8.7
% W <sub>N</sub>	102	95	94	91	88	85	81

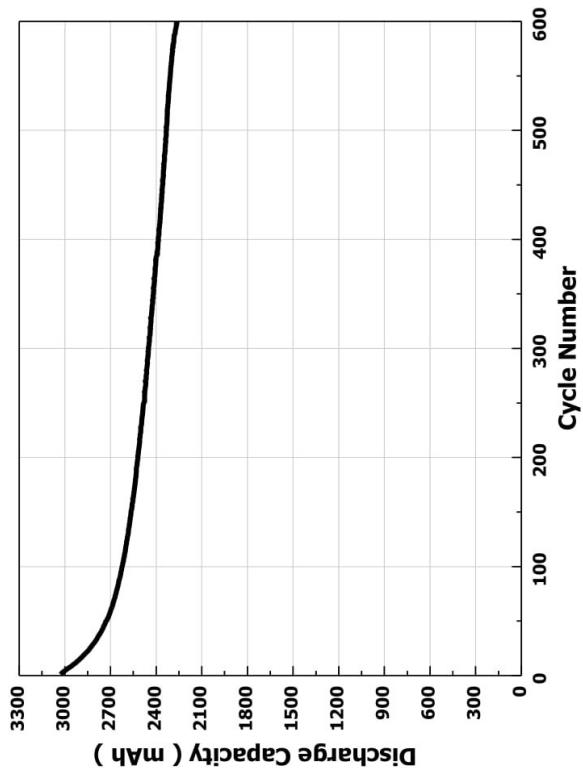


# Cycle life (10A and 15A)

*Confidential*

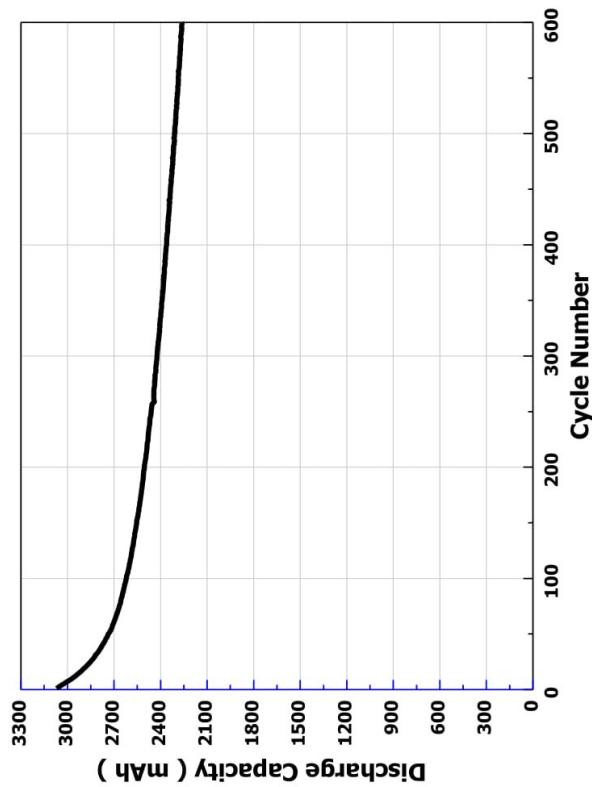
- Test Condition
  - Charge (CC/CV): 4A charge to 4.2V, 0.1A cut-off
  - Discharge (CC) : **10A** discharge, **2.0V cut-off**

[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)

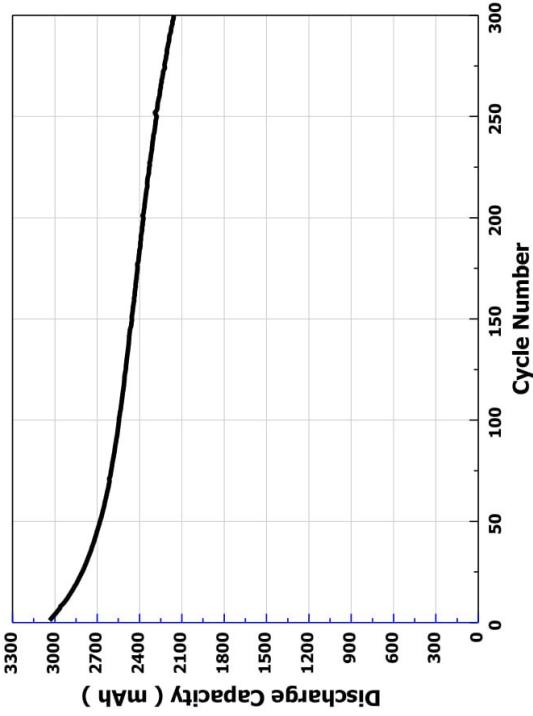
*Confidential*

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

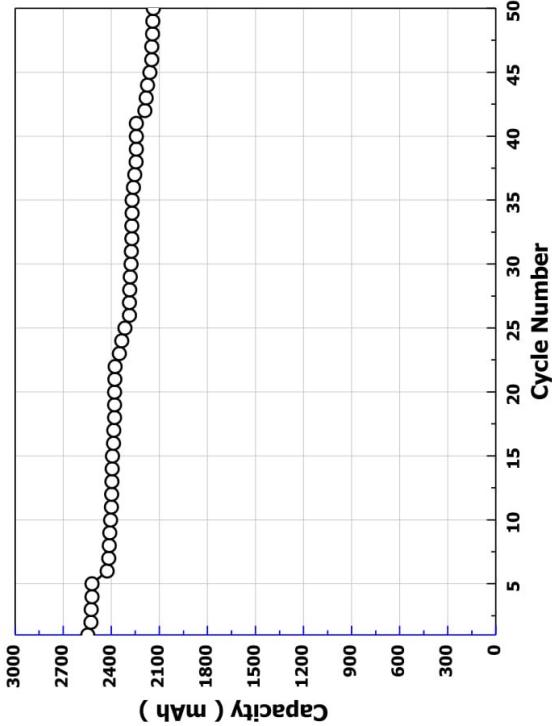
## • Test Conditions

- 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

[20A Cycle]



[High Current Pulse Cycle]



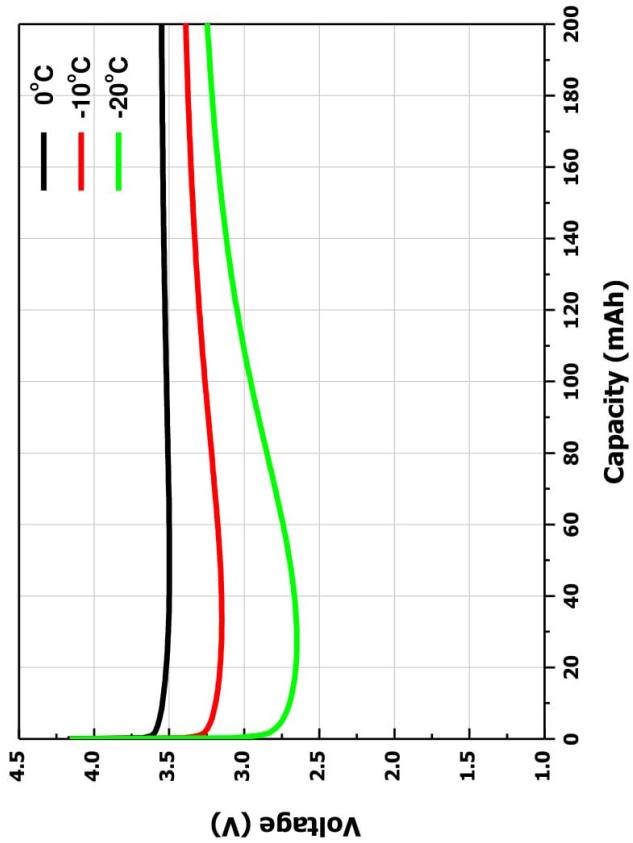
# Low Temperature Discharge Profiles (10A)

*Confidential*

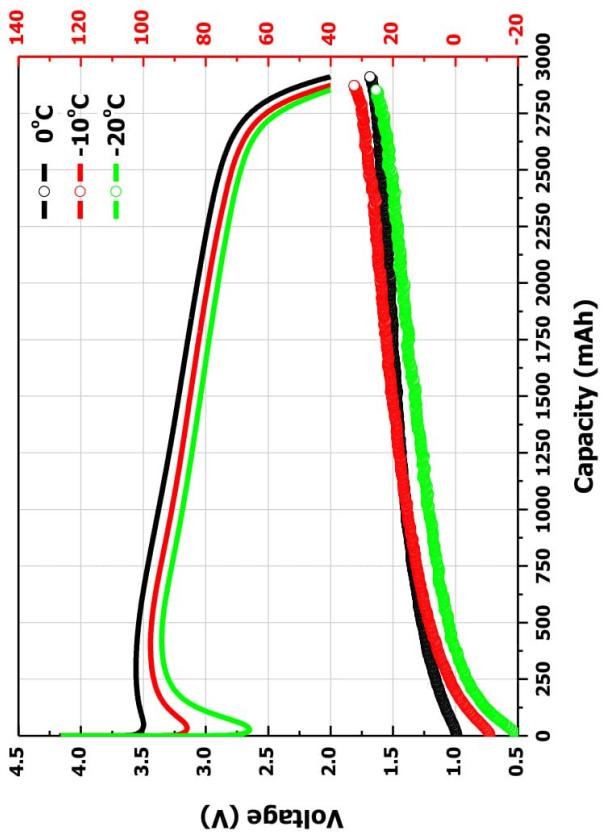
## Test Condition

- 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.

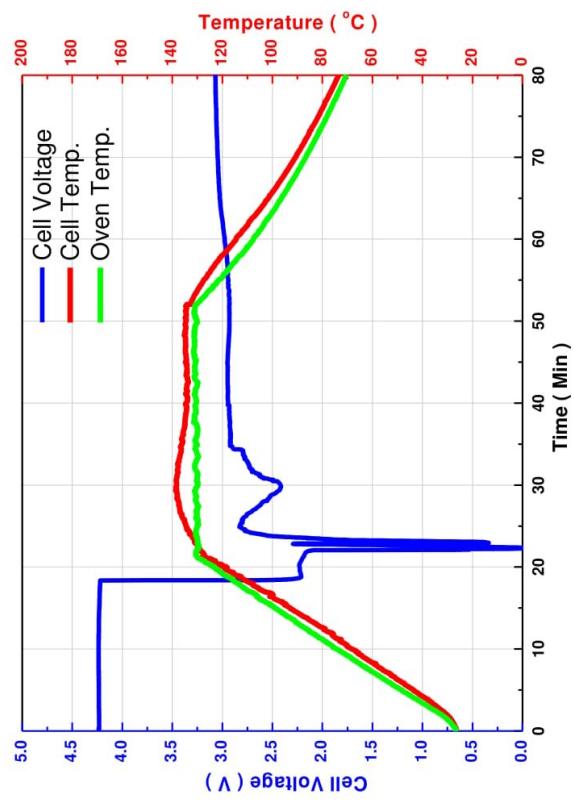


Discharge vs. Temp.

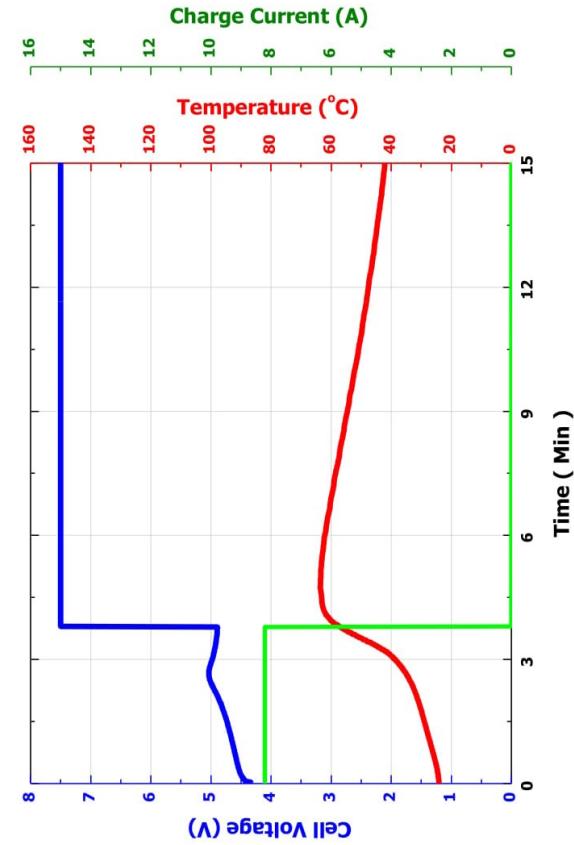


## Safety Test (Hot box and Overcharging)

[Hot box, 130 °C, 1h]

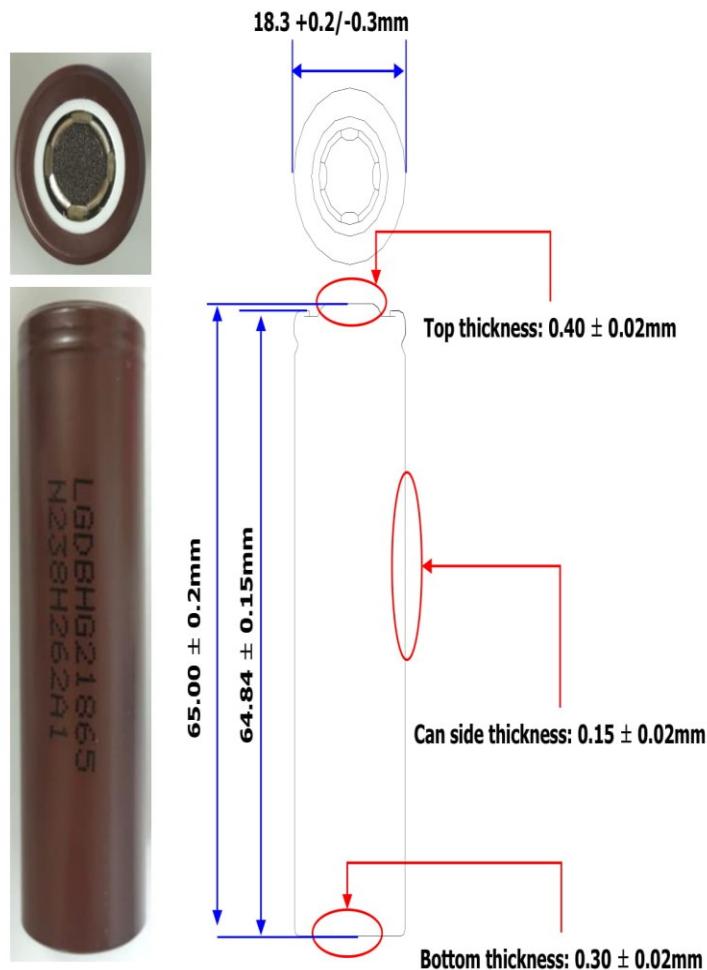


[Overcharging, 8.2A]



## Dimension of HG2

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  
26<sup>th</sup> 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.

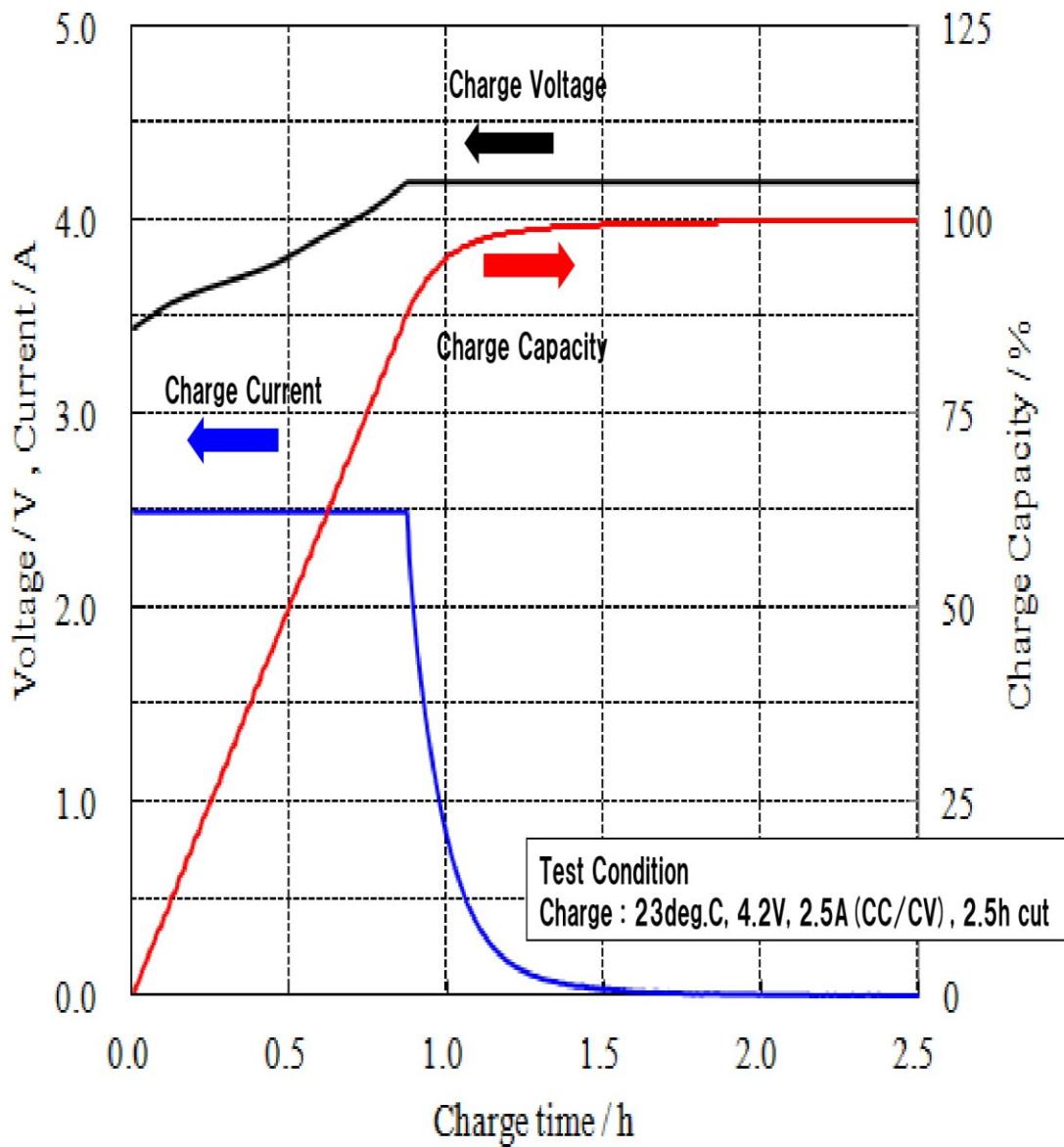
## 2. Performance

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

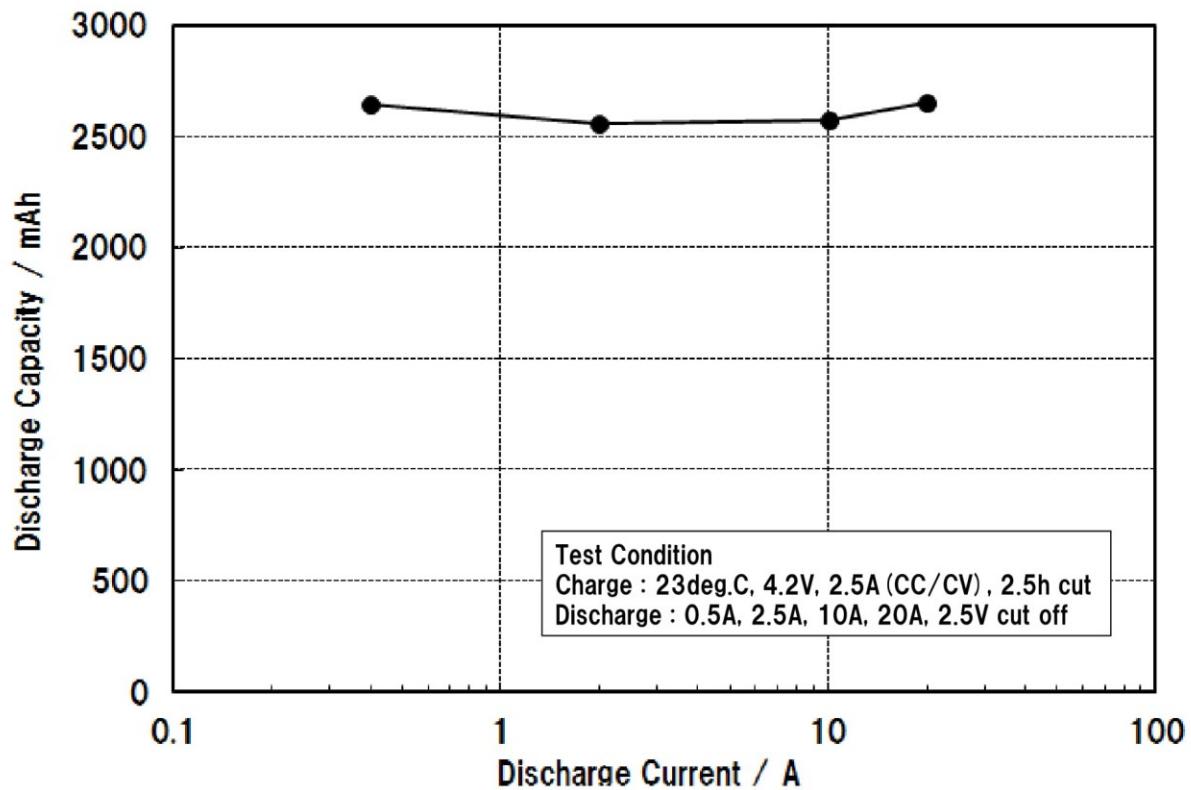
\* Standard Charge Condition

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

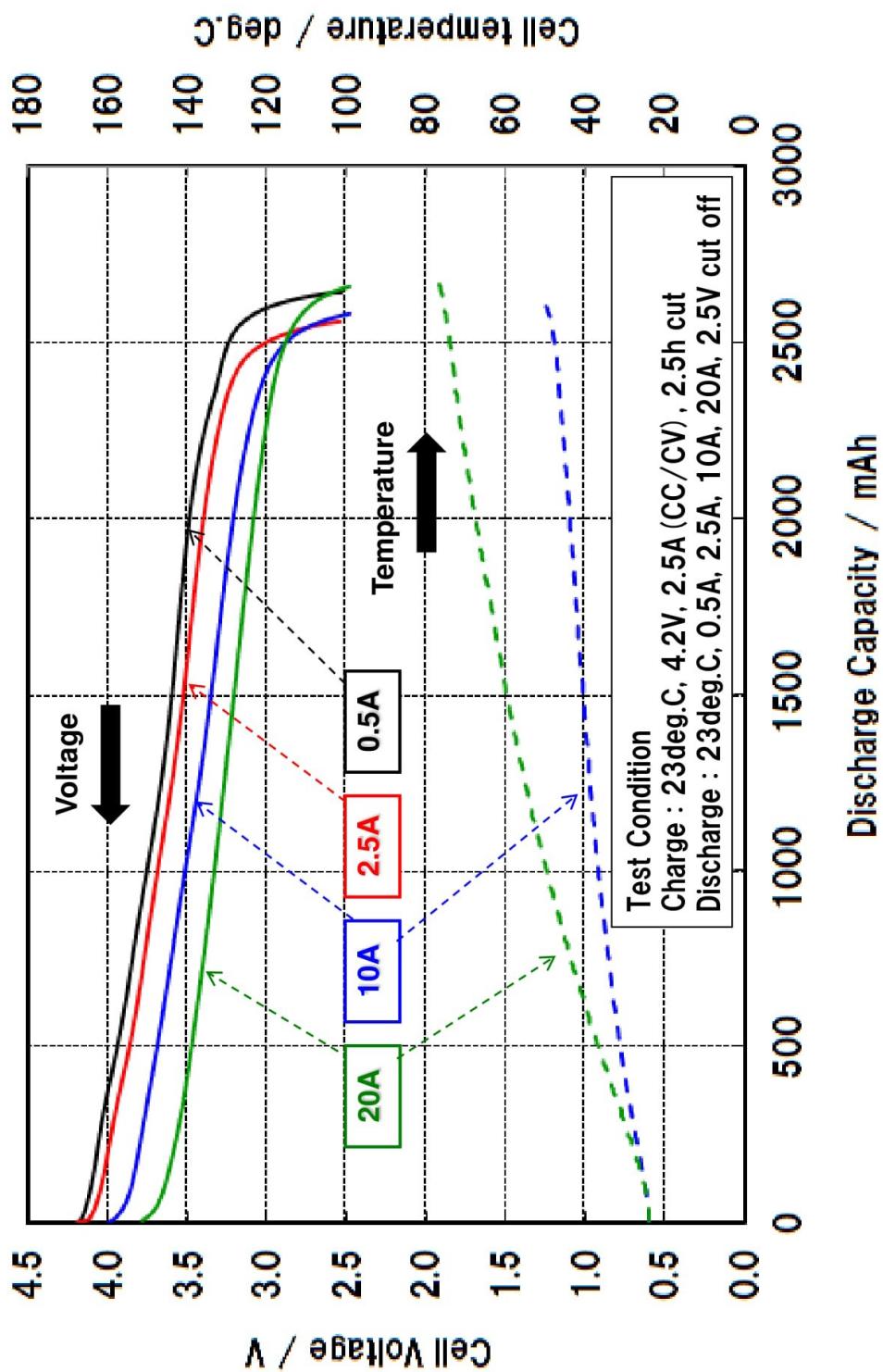
## Charge Characteristics (US18650VTC5)



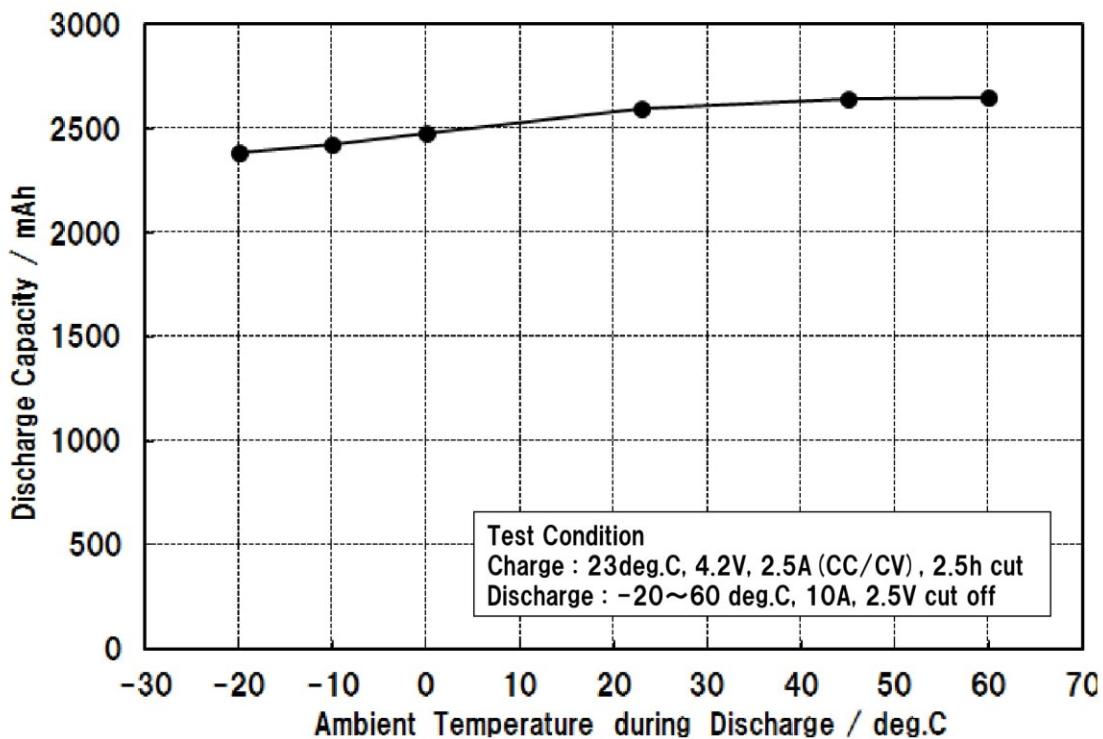
### **Discharge Load Characteristics (US18650VTC5)**



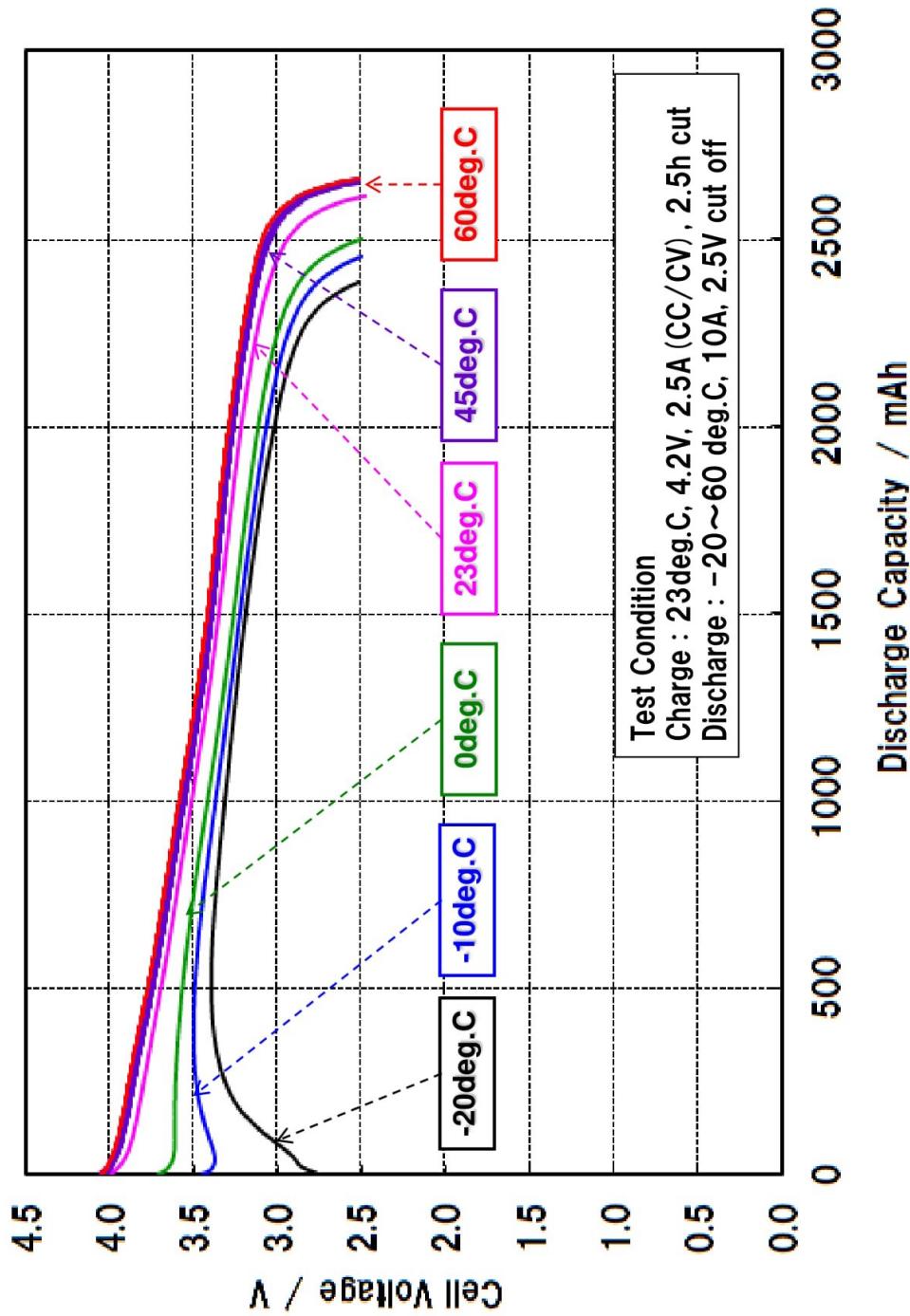
## Discharge Load Characteristics (US18650VTC5)



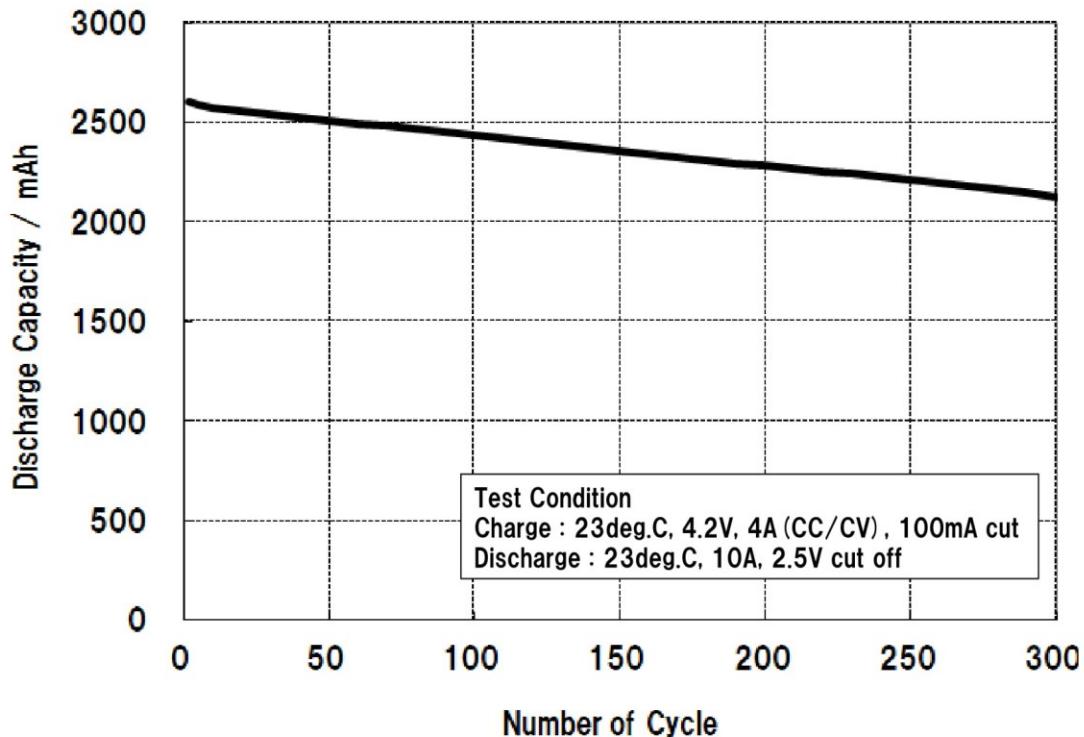
### Temperature Dependence of Discharge Capacity (US18650VTC5)



## Temperature Dependence of Discharge Curves (US18650VTC5)



**Cycle Life Performance (US18650VTC5)**  
**10A discharge**



## Dimension with Plastic Tube: US18650VTC5

