



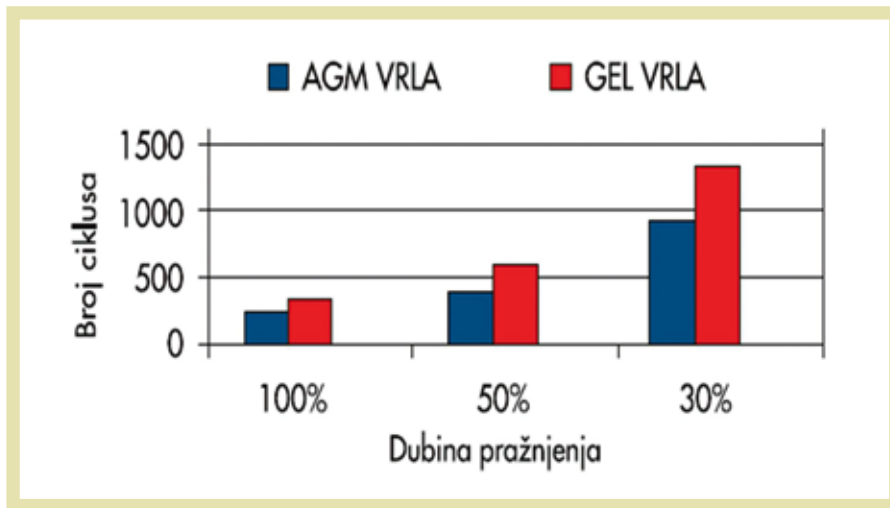
# Osmišljavanje fotonaponskog sustava za brod

Tekst i foto: **Josip Zdenković, SCHRACK TECHNIK d.o.o.**

**V**eć smo u prošlom broju obradili jedan dio problematike akumulatora, a u ovome ćemo malo detaljnije obraditi vrste akumulatora pogodne za plovila, njihovo punjenje i pražnjenje kao i pravila za slaganje i povezivanje više baterija u banku baterija. Pri osmišljavanju fotonaponskog sustava za napajanje brodskih trošila baterije su najskuplji element. I uz to su potrošni dio opreme. Stoga ćemo naš put do fotonaponskog sustava na brodu za

napajanje brodskih trošila započeti od najskuplje komponente, baterije, pa potom izračunati snagu modula potrebnu za optimalno punjenje kako bi baterija trajala očekivano dugo. S definiranom baterijom i fotonaponskim modulima pokazat ćemo što taj sustav zapravo može u smislu energije raspoložive za napajanje trošila. Pa ako nas to ne zadovoljava krenuti iz početka... I tako u iteracijama doći do svojeg vlastitog rješenja. Ovaj put je interesantan i zato jer ćemo pri svakom ponavljanju dodati i neki novi detalj.

**Kabeli koji povezuju paralelno spojene baterije možda nisu iste duljine, a svaki od njih predstavlja otpor. Zbog nejednagog otpora priključnih kabela prilikom punjenja, odnosno pražnjenja, nejednaka struja tj. energija teče priključnim kablomima. Ako je do svake slijedeće baterije kabel sve duži i duži, dio električne energije se pretvara u toplinsku na otporima priključnih kabela. Tako da sve baterije ne dobivaju ili daju istu energiju. Baterija s najkraćim priključnim kablomima je najviše opterećena, ali se i najispravnije puni, sve ostale baterije se ne prazne i pune jednako**



**Slika 1. Životni vijek baterije : broj ciklusa u zavisnosti od dubine pražnjenja**

## Tehnologija

Iako je baterija najstarija tehnološka komponenta, pregledom ponude ubrzo ćete vidjeti da vam je Li-ion baterija za sada neprihvatljivo skup izbor i da vam zapravo ostaje olovna baterija. I naravno nećete uzeti prve na koje naletite već ćete se odlučiti za olovne baterije koje su nepropusne i hermetički zatvorene. Tek u slučaju dugotrajnog i nekontroliranog prepunjenja ili kvara u samoj bateriji, plin koji se u njoj razvija će biti ispušten kroz sigurnosni ventil. Za te baterije kažemo da su napravljene u VRLA (Valve Regulated Lead Acid) tehnologiji. U ovoj tehnologiji se uobičajeno proizvodi dva tipa baterija: AGM (Absorbent Glass Mat) i Gel baterije. U AGM tipu baterija elektrolit je absorbiran u mreži staklenih vlakana, a u GEL tipu baterija je elektrolit imobiliziran kao gel. AGM baterije se odlikuju sposobnošću većeg kratkotrajnog davanja visokih struja (struje starta zahtjevnih trošila) u odnosu na GEL tip, dok GEL tip baterija ima veći životni vijek i veći broj ciklusa pražnjenja u odnosu prema AGM tipu. Iz ovog razloga Schrack Technik je izabrao GEL VRLA bateriju u svojim sustavima. Namjerno se odustalo od baterija u kojima se mora održavati elektrolit, mjeriti njegova koncentracija i nadopunjavati ga jer to zahtijeva pažljivi rad i potpuno je neprimjeren brodskim uvjetima.

## Dubina pražnjenja

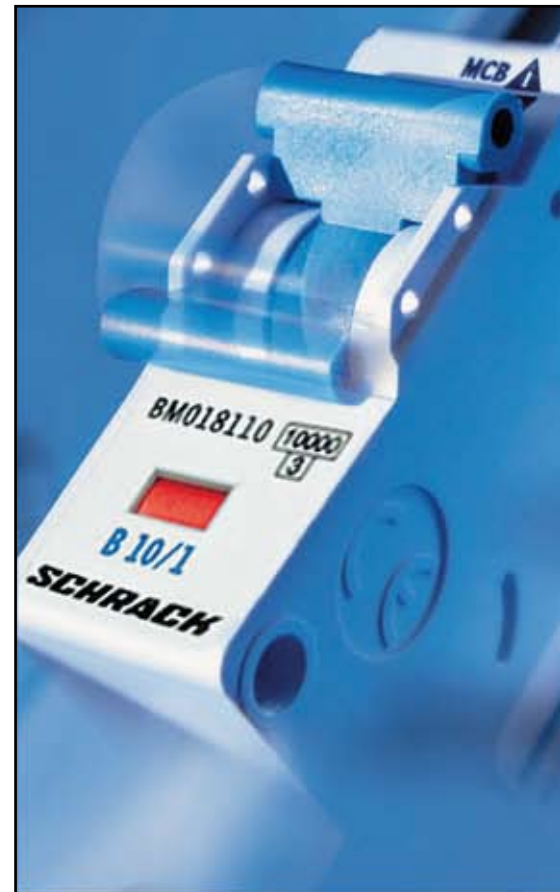
Za baterije u fotonaponskim sustavima za napajanje trošila na plovilu je izuzetno važna dubina pražnjenja i broj ciklusa pražnjenja. Dubina pražnjenja i broj ciklusa pražnjenja mjera su energije koja može biti iskorištena iz baterije u

njenom životnom vijeku. Solarne baterije su projektirane tako da mogu izdržati duboka pražnjenja, no takva pražnjenja ipak skraćuju životni vijek baterije. Na slici je prikazan broj ciklusa pražnjenja u ovisnosti o dubini pražnjenja za dva tipa VRLA baterija. Za uočiti je da ako se GEL VRLA baterija prazni do 30% nazivnog kapaciteta, tada izdržava cca 1300 ciklusa, ali ako se prazni do 50% tada izdržava 600 ciklusa, a ako se kompletno isprazni izdržava samo 300 pražnjenja. Ako otočni fotonaponski sustav treba predati 100Ah trošilima na dan, onda nije logično da baterija ima kapacitet 100Ah već najmanje 200Ah, a poželjno i 300Ah. Uobičajeno se projektira tako da se baterija prazni tijekom ciklusa do maksimalno 50% svog kapaciteta. Projektiranje s manjom dubinom pražnjenja, dakle s 30%, vodi prema fizičkom povećanju baterijske banke, odnosno značajno poskupljuje sustav. I ovdje se iz slike uočava da je Schrack Technik izabrao GEL VRLA bateriju zbog veće energije koja se iz baterije može iskoristiti; odnosno većeg broja ciklusa pražnjenja pri istoj dubini pražnjenja.

Ovdje je po tisućiti puta za napomenuti da automobilski akumulatori nikako ne dolaze u obzir za solarne sustave na brodu jer nisu predviđeni za duboka pražnjenja, dakle iz njih se izvlači velika struja, ali vrlo kratko vrijeme, dakle u stvari mala energija. To znači da oni nisu jednostavno predviđeni za ciklusni rad s dubokim pražnjenjima koji karakterizira otočne fotonaponske sustave.

## Samopražnjenje

Zbog tehnološke izvedbe i korištenja vrlo čistih materijala GEL



### SCHRACK STORE

Tisuće artikala na raspolaganju spremnih za preuzimanje



### INTERNET TRGOVINA

Mobilnost sa Live Phone aplikacijom

[www.schrack.hr](http://www.schrack.hr)

Get Ready. Get Schrack.

Radna temperatura	AGM VRLA godina	GEL VRLA godina
20°C	7-10	12
30°C	4	6
40°C	2	3

Tablica 1. Životni vijek VRLA baterija u zavisnosti o temperaturi

VRLA baterija može biti skladištena u nespojenom stanju i do godine dana bez potrebe za nadopunjavanjem. Brzina samopražnjenja je 2% kapaciteta na mjesec pri 20°C. Samopražnjenje se udvostručava za svaki porast temperature od 10 stupnjeva. To znači da baterija „voli“ ujednačenu temperaturu, tamo gdje je čovjeku ugodno, tu će i bateriji biti „ugodno“, bilo da je uskladištena bilo da je u sustavu u radu.

### Radna temperatura

Visoka temperatura baterije utječe izuzetno nepovoljno na životni vijek baterije u radu. Tablica prikazuje usporedbu životnog vijeka AGM i GEL VRLA baterija pri određenoj temperaturi. I ovdje se uočava da zbog dužeg životnog vijeka Schrack Technik odabire GEL VRLA bateriju. Uređaji kojima se baterije pune morali bi pratiti temperaturu baterije i temperaturu okoline kako sam proces punjenja ne bi dodatno, nepotrebno povisivao temperaturu baterije.

Što se događa kada baterija rada na povišenoj temperature okoline koja se pri punjenju ne uvažava vidi se na slici. Baterija se zbog pritiska plinova pri kemijskom procesima jednostavno napuhne i kao takva je neupotrebljiva.

### Kapacitet baterije

Ovo je najvažnije svojstvo kada nabavljate bateriju. Uobičajeno se kapacitet baterije navodi kao na



Slika 2. Napuhnuta, neispravna baterija kao posljedica punjenja previsokim naponom

primjer: 100Ah C20. No u trgovini ćete se susresti s baterijom 100Ah C20 ili 100Ah C10. Obije imaju oznaku 100Ah i mogu dati 100Ah, ali to nisu iste baterije. 100Ah mogu dati u različitim uvjetima pražnjenja. C20 znači da će se 100Ah isprazniti za 20h, odnosno da se baterija prazni sa 5A kroz 20h (kako je 5A ujedno 5% brojčane vrijednosti kapaciteta baterije 100Ah, kaže se da se baterija prazni s 0,05C). C10 znači da će se 100Ah isprazniti za 10h, odnosno da se baterija prazni sa 10A kroz 10h (kako je 10A ujedno 10% brojčane vrijednosti kapaciteta baterije, kaže se da se baterija prazni s 0,1C). C100 znači da će se 100Ah isprazniti za 100h, odnosno da se baterija prazni sa 1A kroz 100h (kako je 1A ujedno 1% brojčane vrijednosti kapaciteta baterije, kaže se da se baterija prazni s 0,01C).

Na slici 3 je prikazano nekoliko krivulja jedne baterije koja nosi oznaku C20, a koja se prazni raznim strujama pražnjenja. Plava krivulja je s pražnjenjem 0,05C (dakle C20) i ona pri 20 stupnjeva C pokazuje na očekivani kapacitet baterije od 100%. Ako sada tu istu bateriju praznimo sa 0,1C, dobivamo crvenu krivulju, a pri 20 stupnjeva baterija ima kapacitet samo cca 92%. Ako tu bateriju praznimo sa 1C onda ta baterija ima

kapacitet od svega 57%. Dakle kapacitet baterije pri istoj temperaturi pada s povećanjem struje pražnjenja. Jedna te ista baterija ima tako različiti kapacitet. A sve u ovisnosti o iznosu struje pražnjenja.

**Zato je važno pri uspoređivanju baterija uspoređivati ih po nazivnom kapacitetu u Ah, ali pri istoj deklariranoj razini pražnjenja. Ponovljeno: 100Ah C20 baterija i 100Ah C100 baterija nisu nikako iste baterije, bez obzira što obije imaju 100Ah u nazivu i što teoretski obije mogu dati 100Ah! 100Ah C20 je daleko moćnija baterija jer može 20 h davati 5A, dok 100Ah C100 baterije može davati 100h 1A. Ako bismo 100Ah C100 praznili s 5A ona bi mogla tu struju davati svega oko 13,5h, a to znači da joj je realni kapacitet pri struji pražnjenja 5A u stvari  $5 \cdot 13,5 = 67,5Ah$ . To će se jasno odražavati i u cijeni i u masi, odnosno dimenzijama baterije. Baterija 100Ah C20 ima značajno veću masu i dimenzije od baterije 100Ah C100.**

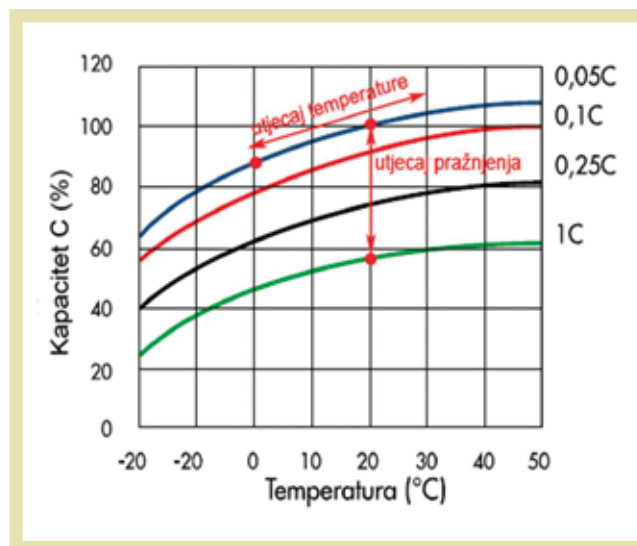
Na odnosećoj slici vidi se dodatno i utjecaj temperature baterije na kapacitet baterije pri raznim strujama pražnjenja, ako temperatura baterije pada, kapacitet pada! Ovdje je dozvoljena usporedba s akumulatorom u autu, dakle prirodu ponašanja akumulatora pri promjeni temperature smo svi iskusili, jer akumulator u automobilu uglavnom mijenjamo zimi.

Na slici 4. je prikazano kako se kapacitet baterije 100Ah C10 mijenja ako se pretpostavi da se kontinuirano prazni nekom strujom. I sada kada promišljate da ovo oko izbora baterije

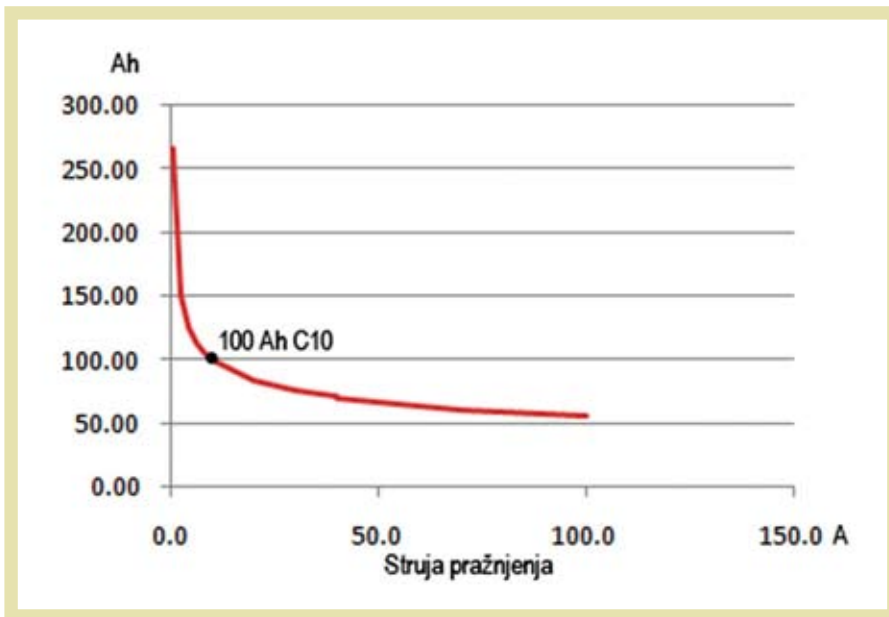
postaje prilično komplicirano, Schrack Technik vam predlaže jednu jedinu GEL bateriju, 12 V, 220 Ah C20. (Naravno kada ovo promišljanje prođete do kraja onda sami možete razigrati i neku drugu kombinaciju!)

### Struja punjenja baterije

Struja punjenja baterije ne smije preostati 0,2C (konkretno za 100Ah bateriju ne



Slika 3. Utjecaj temperature k okoline i struje pražnjenja na kapacitet baterije



Slika 4. Zavisnost kapaciteta baterije o struji pražnjenja

bi smjela biti veća od 20% kapaciteta, dakle ne bi smjela biti veća od 20A). Uobičajeno se projektiraju otočni sustavi tako da struja punjenja bude oko 15% kapaciteta baterije. Uz veće struje punjenja dolazi do pojačanog zagrijavanja baterije pa uređaji za punjenje moraju imati temperaturnu kompenzaciju struje punjenja kako ne bi u procesu punjenja nepovratno oštetili bateriju. Temperaturni osjetnik se stavlja mehanički na priključak baterije pretpostavljajući da temperatura priključka odražava temperaturu u bateriji. Tim temperaturnim osjetnikom prati se ujedno i temperatura okoline koja može isto uvjetovati da se proces punjenja mora adaptirati.

### Proces punjenja baterije

O procesu punjenja baterije nećemo si razbijati glavu, to će umjesto nas raditi regulator punjenja, on mora paziti na: ispravan napon punjenja, kontrolu temperature, struju punjenja i konačno kontrolu procesa 'plinjenja' u bateriji. Regulator punjenja posjeduje optimalan proces punjenja koji mora biti i vremenski optimalan, prvo se puni konstantnom strujom, potom se posebnim algoritmom podiže napon pazeći na proces plinjenja i potom se drži proračunato vrijeme, zavisno o prethodnoj dubini ispražnjenosti, konstantan napon pri čemu struja punjenja opada. Konačno se napon punjača ruši ako nema potrošnje i to u dvije razine. Algoritam omogućava i periodičko osvježavanje baterije koje

smanjuje starenje i produžuje životni vijek baterije. No kako rekospo time se nećemo zamarati.

Za osmišljavanje našeg sustava bitno je samo **da uređaj za punjenje podržava izabrani tip baterije i da može osigurati do 0,2C struju punjenja**. Sva ostala briga oko punjenja baterije je ugrađena u punjače. Schrack Technik je izborom baterije i punjača od istog dobavljača osigurao uparenost uređaja za punjenje i same baterije.

I ovdje ćemo ponoviti da je za zdravlje baterije važno da barem jednom mjesečno bude napunjena 100%, to posebno znači da ne ostavite polupraznu bateriju preko zime, jer je poslije nećete moći više napuniti na puni kapacitet! Koliko je ovo važno vidjet ćemo u slijedećim nastavcima kada bateriju spojimo u naš sustav s punjačem i trošilima.

### Baterijske banke

Više pojedinačnih baterija spojenih u seriju i/ili paralelu naziva se baterijskom bankom. Kod formiranja baterijske banke, baterije se u određenom sustavu spajaju u seriju u svrhu povećanja napona, ili paralelno kako bi im se povećao kapacitet. Jako je važan način povezivanja baterija pri paralelnom spajanju. Na primjeru spajanja 4 baterije uočiti ćete i razlog tome.

Kod spajanja kao na slici 5a) kabeli koji povezuju baterije nisu iste duljine, a svaki od njih u sebi sadrži nekakav otpor. Zbog nejednakog otpora prilikom punjenja, odnosno pražnjenja, energija



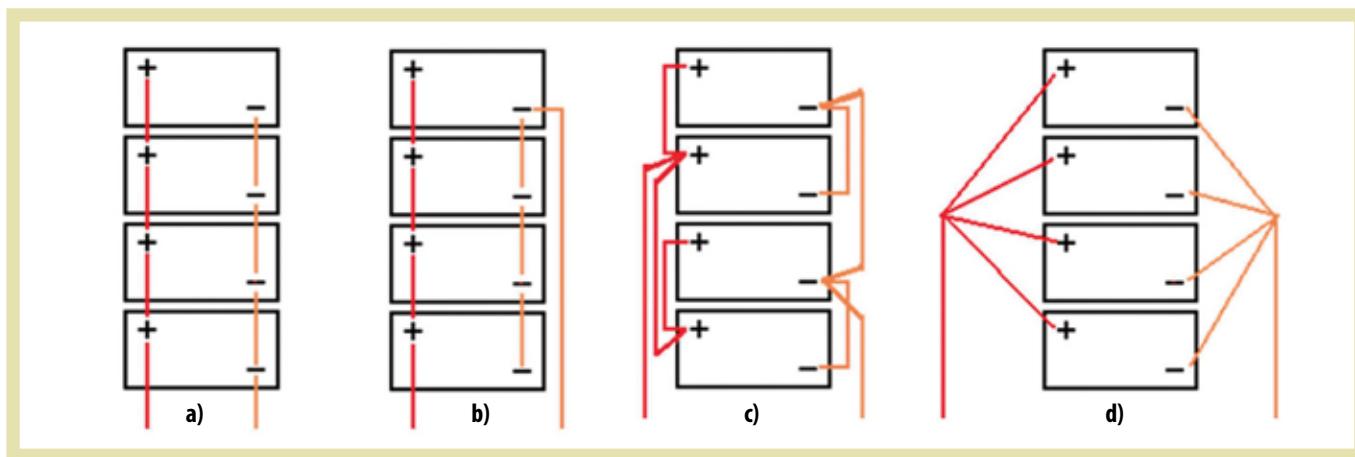
SCHRACK POSLOVNICE I  
PRODAJNO - SKLADIŠNI PROSTORI U:  
ZAGREBU - OSIJEKU - RIJECI - SPLITU.

VAŠ PARTNER U  
ELEKTROTEHNICI

**SCHRACK**  
TECHNIK

www.schrack.hr

Get Ready. Get Schrack.



Slika 5. Primjer povezivanja 4 baterije u baterijsku banku

najprije dolazi/odlazi iz baterije blizu priključka na instalaciju (ovdje struja stvarno ide linijom manjeg otpora!). Kod svake slijedeće baterije energija mora preći 'duži put', pa je tako struja baterije na vrhu (na mjestu najudaljenijem od priključka) mnogo manja od one na dnu. Baterija koja je prva do priključka je najviše opterećena (najveća struja punjenja/pražnjenja) pa je i njen životni vijek najkraći. Spojene baterije su nejednoliko opterećene, zbog čega se životni vijek svake od baterije smanjuje, a time i životni vijek cijele banke. S druge strane baterije udaljene od priključka se nikada ne mogu napuniti do kraja jer je na svakoj slijedećoj bateriji sve niži napon. A ako baterije nisu napunjene do kraja, vremenom se trajno smanjuje njezin kapacitet.

Kod samo male modifikacije spajanja baterija kao na slici 5b), situacija se znatno poboljšava, ali otpori priključka i dalje nisu jednaki.

No, ako se baterije spoje kao na slici 5c), opterećenje na svim baterijama je jednako zbog jednake dužine kabela (tj otpora) od glavnog mjesta priključka, zapravo mjesta punjenja/pražnjenja baterije. Jedini nedostatak ovakvog spajanja je zauzimanje prilično prostora oko baterija.

Najbolje rješenje spajanja baterija je kao na slici 5d).

U ovom primjeru opterećenje svih baterija je jednako, jer struja pražnjenja/punjenja ide samo kroz jedan kabel (otpor) do svake pojedine baterije u banci. Od zajedničke točke do pojedinih baterija svi vodovi jednoga pola moraju imati istu duljinu, tj isti otpor.

Gdje je to praktično izvedivo, plus i minus polovi baterijske banke se spajaju u plus i minus sabirničke

ormariće kao na slici 6. Ožičenje baterija provodi se sa kablom uz pravilo: 2 A/mm<sup>2</sup>, npr za 100 A je potreban 50 mm<sup>2</sup> presjeka kabela. Ako se baterije spajaju u paralelu potrebno je u svaku granu staviti osigurač, kako kratki spoj u jednoj grani ne bi uzrokovao uništenje ostalih paralelnih grana. Schrack Technik ima i odgovarajuće osigurače i DC sklopke.

Na slici 7. je prikazano i brojčano što se događa ako baterije povežemo u serijski i paralelni slog. Baterijama je zaista bitno dovesti u cijelosti napon koji osigurava punjač sa svojim inteligentnim algoritmima. Uočite kako spajanje baterija vodičima neprikladnog presjeka može dovesti do razlike u naponima punjenja baterije uslijed otpora priključnih kabela. Ovdje ne pomaže nikakav inteligentan algoritam punjenja! Ova situacija rješava se upotrebom sabirnice, kako je prikazano na slici desno.

Konačno evo i specifikacije „univerzalne baterije“ od koje počinjemo u osmišljavanju našeg fotonaponskog sustava na brodu: **12 V GEL VRLA 220Ah C20;**

Životni vijek: 300 ciklusa uz 100% dubinu pražnjenja, 600 ciklusa uz 50% dubinu pražnjenja,

1300 ciklusa uz 30% dubinu pražnjenja. Masa 66 kg.

Trajanje 12 godina pri 20 stupnjeva C (ako se održava stanje napunjenosti, ali bez potrošnje!)

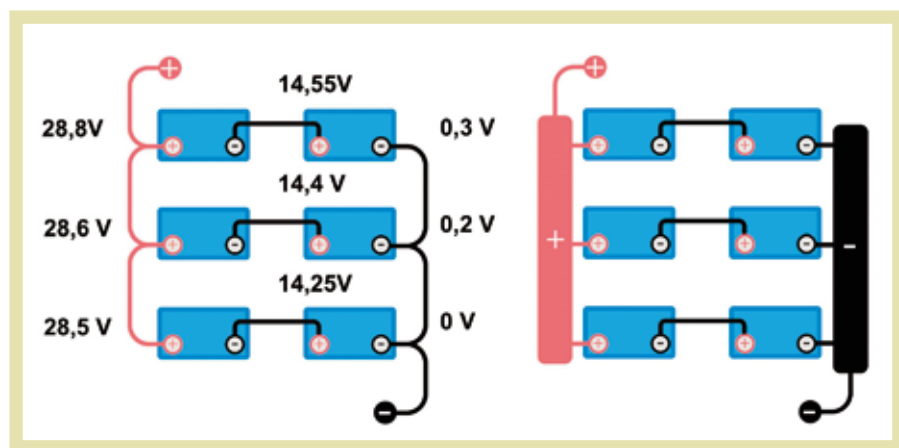
U slijedećem nastavku ćemo obraditi što trebamo paziti kod punjenja naše baterije iz fotonaponskih modula, koliko tu stvarno treba modula da bi baterija očekivano dugo trajala i što napraviti ako na brodu nemamo mjesta za dovoljno modula!



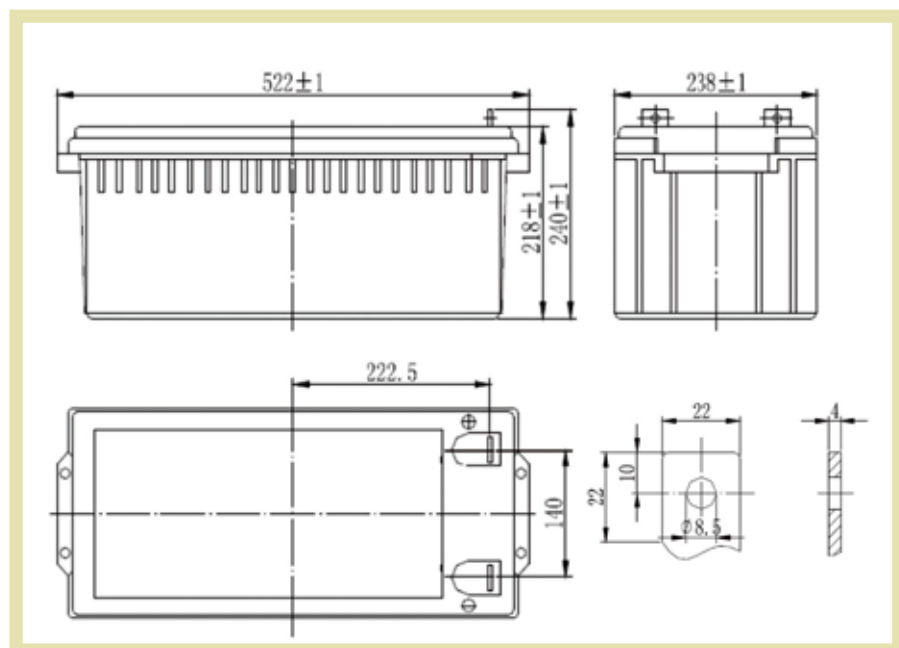
Slika 6. Primjer sabirničkih kutija baterijske banke



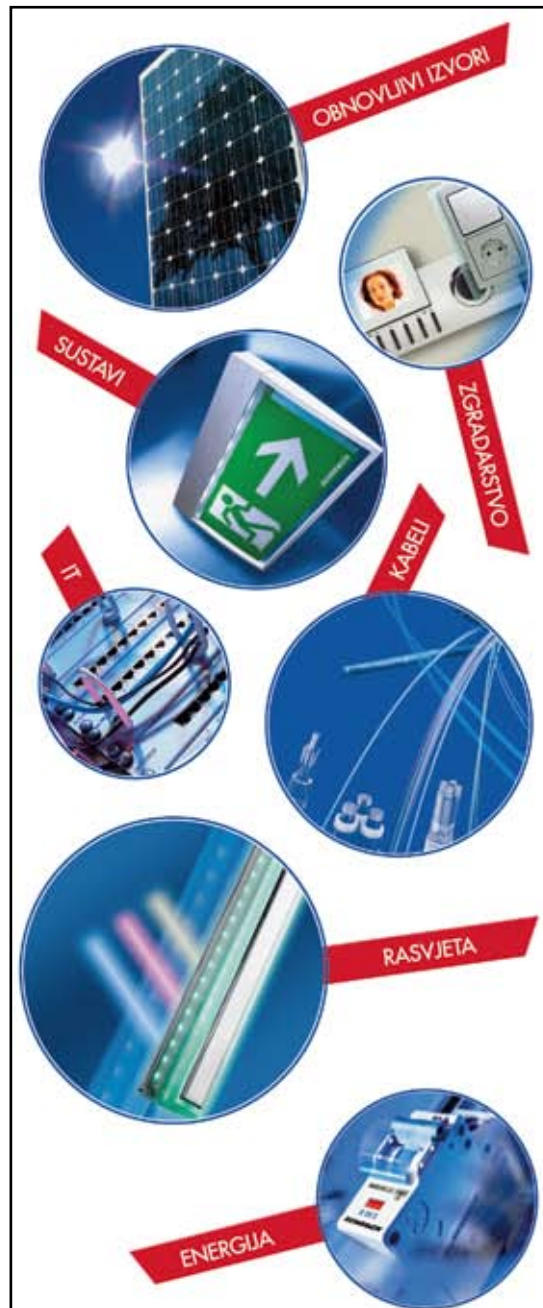
Kvalitetna sabirnica i čvrsti spojevi ključni su elementi električnih instalacija na brodu



Slika 7. Priključni kabeli kao uzrok nejednakog punjenja (nejednakog životnog vijeka) baterija



Slika 8.: Predložena baterija Victron energy 12 V GEL VRLA 220Ah C20



INDUSTRIJA

VAŠ PARTNER U ELEKTROTEHNICI

**SCHRACK**  
TECHNIK

www.schrack.hr Get Ready. Get Schrack.