

Primljen: 3.10.2016.

Prihvaćen: 7.11.2016.

Stručni rad

UDK: 629.5.03:621.313

## **Hibridni sustavi brodske propulzije**

### *Hybrid propulsion systems*

Monika Černe

Veleučilište u Rijeci, Trpimirova 2/V, Rijeka

email: monika.cerne@veleri.hr

**Sažetak:** *U današnje vrijeme uz sve veći razvoj tehnologije, značajni interes je usmjeren učinkovitijem korištenju energije, ponovim iskorištavanjem energije i korištenju obnovljivih izvora energije. Nova generacija brodova su električni pogonjeni i hibridni (engl. Hybrid – vozilo koje se pokreće kombinacijom motora s unutarnjim izgaranjem i drugih izvora energije kao što su baterije) brodovi koji zahtijevaju skladištenje energije u velike baterije s optimalnom kontrolom potrošnje snage. Tako se značajno smanjuje potrošnja goriva, cijene održavanja i emisija štetnih plinova (CO<sub>2</sub> (ugljičkov oksid), SO<sub>x</sub> (sumporov oksid) i NO<sub>x</sub> (dušikov oksid)). Točnost upravljanja takvim brodovima je poboljšana (vrijeme odziva u kritičnim situacijama), povećana je sigurnost, poboljšana izvedba samoga broda i smanjena buka i vibracija. U ovom radu prikazani su osnovni tipovi sistema hibridne propulzije, te njihove prednosti i mane.*

**Ključne riječi:** *hibridna propulzija, obnovljivi izvori energije, baterija, emisija štetnih plinova*

**Abstract:** *Today, with increasing developments of technology hold significant promise for more efficient use of energy, energy recovery and use of renewables. The new generation of ships are electric and hybrid (Hybrid - a vehicle power controlled by a combination of internal combustion engine and other sources of energy such as batteries) ships that require energy storage in large battery with optimum control of power consumption. This significantly reduces*

*fuel consumption, maintenance cost and emissions (CO<sub>2</sub> (carbon oxide), SO<sub>x</sub> (sulfur oxide) and NO<sub>x</sub> (nitrogen oxide)). Further benefits include an improved response time in safety-critical operations, an extended engine lifetime, less maintenance and less noise and vibration. This paper shows the bases of hybrid propulsion and its advantages and disadvantages.*

**Keywords:** *hybrid propulsion, renewable energy, battery, emission*

## **1. Uvod**

### **1.1. Baterije**

Baterije mogu pohraniti energiju koja se dobiva iz toplinskih gubitaka, kočenja (usporavanja broda) i iz obnovljivih izvora energije. Od proizvođača baterija se zahtijeva da baterije prođu niz testiranja kako bi zadovoljile sve tehničke zahtjeve i maksimalnu sigurnost. Baterije koje se koriste kod brodova sličnih su performansi kao i baterije koje se koriste kod hibridnih vozila. Međutim, potrebna je veća snaga baterija pa je i volumen samih baterija veći. Za trajekte koji plove na kraćim rutama potrebne su baterije koje su u mogućnosti primiti visoku struju i koje se brzo napune. Uloga baterije u električnom sustavu je i pokrivanje vršnih opterećenja (engl. *Peak*).

Baterije koje se koriste u pomorstvu su uglavnom Litij-ionske s NMC (engl. *Nickel Manganese Cobalt Oxide*) katodama i grafitnim anodama. Isto tako visoke su kvalitete i standarda. Baterije se ugrađuju na brod na siguran i pouzdan način.

Veliki napredak u razvoju baterije su doživjele razvojem mobitela, odnosno razvojem litij-ionskih baterija. Baterije su postale lakše, pošto je litij najlakši element u periodnom sustavu elemenata. Troškovi izrade takvih baterija su dosta visoki, zato bi se litij u budućnosti mogao zamijeniti manganom ili aluminijem. Nedostatak litij-ionskih baterija je i u velikom zagrijavanju pri punom opterećenju, pa je potrebno hlađenje baterije koje može biti zračno ili tekuće.

Baterijski sustavi zahtijevaju ugradnju EMS (engl. *Energy Management System*) čija je uloga:

- kontrola temperature baterije limitiranjem struje i napona prilikom punjenja i pražnjenja;
- nadgledanje napunjenosti baterije, preostalo vrijeme rada za određene procese, kvarove na bateriji i provođenje alarma.

S obalne strane trebala bi se osigurati infrastruktura za brodove s hibridnom propulzijom tako da se na mjestima gdje je nemoguće dovesti električnu energiju postavljaju veliki baterijski spremnici koji skladište energiju i zamijene kada se isprazne. Također na moru bi se postavljale platforme na koju se brodovi mogu spojiti i napuniti baterije.

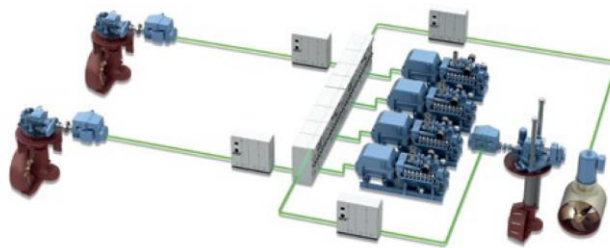
## 1.2. Hibridna i električna propulzija

Potpuno električni brodski sustavi zahtijevaju povremeno punjenje i najčešće se upotrebljavaju za trajekte, manje teretne brodove i za kraće plovidbene rute. Policijski brodovi i brodovi obalne straže bi imali velike koristi jer bi prvenstveno bili nečujni zato jer takvi brodovi ne proizvode buku. Prvo korištenje električni upravljanih brodova bilo je u periodu između 1890. do 1920. godine, a nakon toga dominaciju preuzimaju benzinski i dizel pogonjeni motori. Danas se u proizvodnju ponovo vraćaju električni upravljani brodovi. Napredni razvoj litij-ionskih baterija u zadnjih nekoliko godina, prvotno za hibridna kopnena vozila, pogodan je i za primjenu u pomorstvu. Prvi offshore brod iznova napravljen koji koristi električni baterijski sustav napajanja napravljen je 2013. godine.

## 2. Hibridni sustavi propulzije bez baterije

Dizel-električni sustav propulzije prikazan je na slici 1. Sustav ima više generatora, a svaki generator opskrbljuje jednu liniju koja ima svoju razvodnu ploču.

**Slika 1.** Dizel-električni sustav propulzije



Izvor: Rolls Royce Marine Products and Systems, PDF

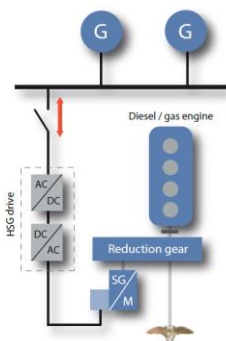
Tradicionalni dizel-električni sustav propulzije danas se primjenjuje na velikom broju brodova. Koristi AFE (engl. *Active Front End*) frekventni pretvarač za stabilni napon kod

zahtjeva za promjenom brzine. AFE frekvencijski pretvarači koji se koriste na brodovima su hlađeni vodom i posebno su dizajnirani za visoke snage. AFE tehnologija se koristi kako bi se izbjegla harmonična izobličenja i za jednoliki prijenos napona na sve linije. Pretvarači se mogu koristiti za indukciju sinkronih i za uzbude permanentnih magneta izmjeničnih motora.

## 2.1. Hibridni privješeni generator (HSG)

HSG (engl. *Hybrid Shaft Generator*) koristi AFE tehnologiju tako da privješeni generator ne ovisi o brzini okretaja glavnog dizel-motora. Glavni generator može raditi kao generator (PTO način engl. *Power take out*) ili kao električni motor za glavnu propulziju (PTI način engl. *Power take in*). Na glavnu razvodnu ploču dolazi konstantan napon i frekvencija i to pod faznim kutom da odgovara naponu kojeg proizvode drugi generatori koji rade paralelno (u sinkronizaciji). Nadogradnja postojećih sustava na HSG je jednostavna i isplativa jer se postiže ušteda na gorivu. Sustav sa HSG-om je prikazan na slici 2.

Slika 2. HSG



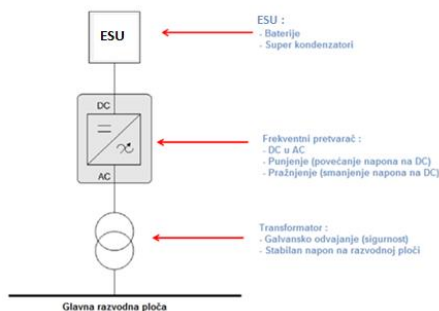
Izvor: Rolls Royce Marine Products and Systems, PDF

## 3. Sustavi propulzije s baterijom

### 3.1. Uređaji za pohranu energije – ESU (engl. Energy Storage Unit)

Principijelna funkcijska shema ESU sustava odnosno uređaja za pohranu energije (engl. *Energy Storage Unit – ESU*) prikazana je na slici 3.

**Slika 3. Princip ESU Sustava**

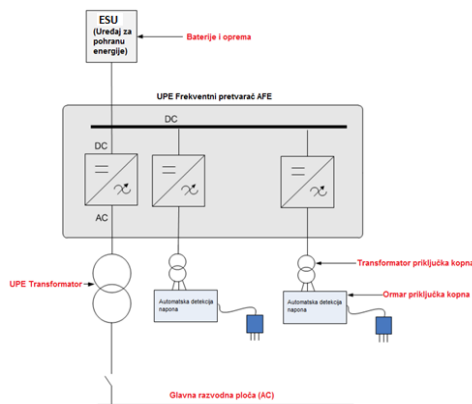


Izvor : Rolls Royce Marine Electrical Propulsion System-Electrical System Philosophy, PDF

### 3.1.2. ESU Hardver

Na slici 4 prikazan je hardver ESU sustava.

**Slika 4. Hardver ESU sustava**



Izvor : Rolls Royce Marine Electrical Propulsion System-Electrical System Philosophy, PDF

- **ESU frekventni pretvarač s priključkom kopna i kontrolnim sustavom**

ESU frekventni pretvarač baziran je na standardnom AFE pogonu sa sinusoidnim filtrom prema transformatorima. Statički pretvarači prema glavnoj razvodnoj ploči te su priključcima s kopna zračno hlađeni. Glavni statički pretvarač pretvara DC napon s baterija u AC napon prema glavnoj razvodnoj ploči i radi kao virtualni generator sa sličnim sučeljem kao tradicionalni

generator. Stoga se može upravljati i uključivati preko PMS-a (engl. *Power management system*) kao standardni generator i koristiti se u paraleli s ostalim generatorima po potrebi. Dva manja statička pretvarača koriste se za punjenje baterija kada je brod vezan za kopno. Svaka baterija iz ESU vezana je preko zasebnog osigurača prema DC sabirnici. Spajanje i kontrola snage se obavlja preko PLC-a (engl. *Programmable logic controller*) u frekventnom pretvaraču i time omogućava individualno spajanje svake baterije zasebno.

- **ESU Transformator**

Pretvara napon na izlazu frekventnog pretvarača u napon na glavnoj razvodnoj ploči koji je potpuno galvanski izoliran.

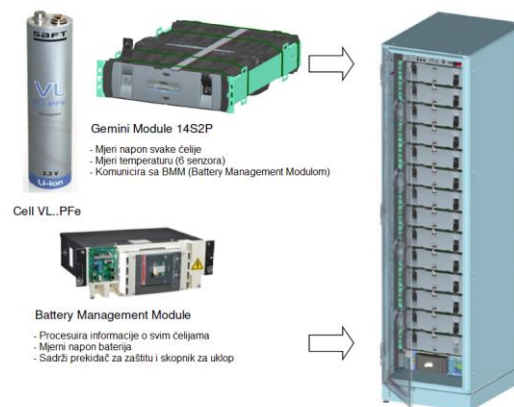
- **Ormari za priključak s kopna**

Služe za punjenje baterija preko transformatora kada je brod vezan za kopno. Svaki priključak može tipično primiti napon između 200-480V sa strujama do 125A.

- **Baterijski sustav i upravljanje**

Koriste se super B LiFePO<sub>4</sub> (litij željezo fosfat) baterije. Sustav se sastoji se od 17 baterija, a svaka se baterija sastoji od 14 ćelija (engl. *Cell*) u zajedničkom modulu koji je ugrađen u ormar i tako čine cjelokupni sustav ESU. Prikazan je na slici 5.

**Slika 5.** Baterijski sustav i upravljanje

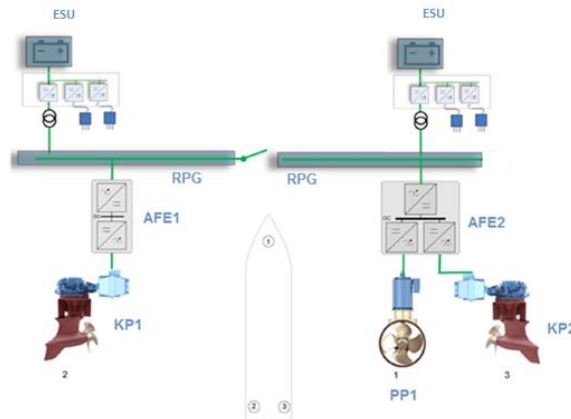


Izvor : Rolls Royce Marine Electrical Propulsion System-Electrical System Philosophy, PDF

### 3.2. Električna propulzija s baterijskim sustavom

Na slici 6 je prikazana propulzija broda samo na baterijski pogon kao dva nezavisna sustava.

**Slika 6.** Električna propulzija s baterijskim sustavom



Izvor : Rolls Royce Marine Electrical Propulsion System-Electrical System Philosophy, PDF

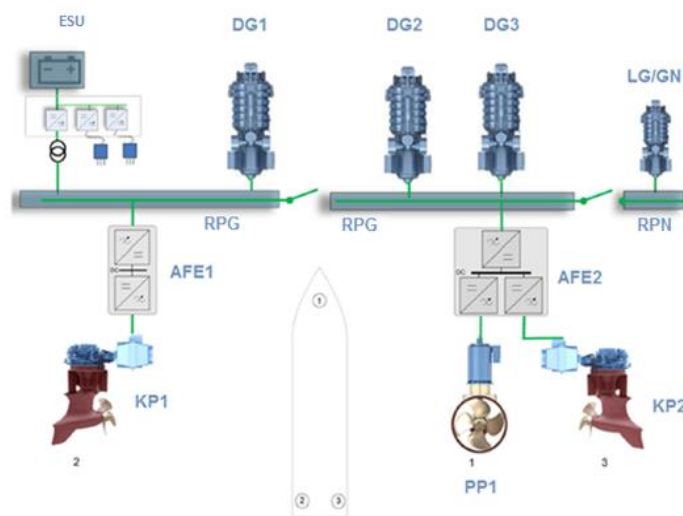
**Tablica 1.** Popis elemenata

ESU	Uređaj za Pohranu Energije (engl. Energy storage unit)
DG1-3	Dizel- motori s generatorom (AC)
RPG	Razvodna ploča glavna (engl. Main Switchboard)
RPN	Razvodna ploča za nuždu (engl. Emergency Switchboard)
LG/GN	Lučki Generator (engl. Harbour Generator) / Generator u nuždi (engl. Emergency Generator)
AFE1-2	AFE Frekventni pretvarači za propulziju (engl. AFE Drives)
KP1-2	Krmeni potisnici za glavnu propulziju (engl. Main Propulsion Thrusters)
PP1	Pramčani potisnik (engl. Bow Thruster)

### 3.3. Hibridna propulzija s baterijskim sustavom

Na slici 7 prikazan je integrirani baterijski sustav za hibridnu propulziju. U ovom slučaju baterija proizvodi dovoljno energije za velike motore koji se koriste za propulziju. Brod se može pokretati samo na baterije, samo pomoću generatora ili paralelnim radom oba spomenuta sustava. Pokretanje broda samo na baterije, uvelike smanjuje buku i vibracije koje izazivaju generatori. Također brod ne ispušta otrovne plinove u atmosferu. Baterija se u ovom slučaju može koristiti i za pohranjivanje energije kod male potrošnje, odnosno dok generatori proizvode previše energije koja u tom trenutku nije potrebna. Jedan od nedostataka baterijskog sustava je veći broj pretvornika na kojem se javlja gubitak energije oko 2%. Ako su baterije spojene izravno na pretvornike gubici su smanjeni. Druga prednost ovakvog sustava je u tome što su sustavi međusobno nezavisni.

**Slika 7.** Hibridna propulzija s baterijskim sustavom



Izvor : Rolls Royce Marine Electrical Propulsion System-Electrical System Philosophy, PDF



### 3.4. Hibridna baterijska i mehanička propulzija s DC razdiobom

Također postoji i električno-mehanički i baterijski hibridni sustav propulzije s mogućnošću punjenja i DC razdiobom. Pomoću takvog sustava, ovisno o brzini broda, može se prilagoditi optimalna potrošnja goriva. S obzirom na smanjenu potrošnju goriva, emisija štetnih plinova također je smanjena. Energija se može proizvoditi samo pomoću glavnog dizel generatora PTO (engl. *Power Take Out*) ili kombinacijom generatora i baterije PTI (engl. *Power Take In*). Najjači potisak broda javlja se kada su u radu istovremeno dizel generatori i baterije.

## 4. Zaključak

Prednosti korištenja baterija, bilo kao glavnog sustava napajanja ili pomoćnog sustava, uz standardne dizel agregate su velike.

Prednosti su:

- smanjuje se emisija štetnih plinova;
- smanjuje se buka i vibracije i samim tim se čuva oprema na brodu pa su troškovi održavanja i servisa manji;
- energija koja je višak može se vratiti natrag u bateriju;
- može se puniti preko obalnog priključka ili morskih platformi:

Ukoliko je energija za punjenje baterija dobivena iz obnovljivih izvora energije zaista postoji manja emisija štetnih plinova. Energija je potrebna i za proizvodnju samih baterija i za njihovo recikliranje, iako je ona jako mala pa bez obzira na podrijetlo te energije, utjecaj zagađenja na okoliš je mali. Za razliku od hibridnih automobila, brodovi su dizajnirani za mnogo sati rada pa uzimajući duže razdoblje uštede na gorivu su velike.

Nedostatak se zamjećuje pri samom inženjeringu prilikom projektiranja razvodnih ploča. Kod električnih sustava koji sadrže ESU teže je postići selektivnost zaštite distribucijskih prekidača na razvodnim pločama zbog niske vrijednosti struje kratkog spoja na frekventnim pretvaračima. Nedostatak je također što se baterije zagrijavaju pa pri punom opterećenju može doći do požara. Zato treba dizajnirati učinkovit sustav hlađenja i ventilacije, a temperatura baterije treba biti konstantno kontrolirana.

Sustavi hibridne propulzije daleko su kvalitetnije rješenje od klasične dizel-mehaničke propulzije. Hibridna propulzija ima najveću primjenu kod manjih brodova koji plove na kraćim relacijama, ali s učestalim promjenama brzine. Hibridna propulzija neće doživjeti procvat kod većih brodova koji plove konstantnom brzinom jer bi uštede u gorivu bile neznatne.

## **Literatura**

1. Rolls-Royce - Marine products and systems. [http://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/marine-products-systems - catalogue.pdf](http://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/marine-products-systems-catalogue.pdf) (20.8.2016.)
2. DNV-GL Andreas Kristoffersen, Classification of Battery Powered Vessels, January 2016.
3. DNV-GL, In Focus – The Future is Hybrid, 2015.
4. Asle Solheim, Rolls Royce Marine, Electrical Propulsion System- Electrical System Philosophy, March 2016.