

VOITH-SCHNEIDEROV PORIVNI UREĐAJ

Voith-Schneider Propeller

Žarko Koboević, dipl. ing.

Mentor

Pomorski odjel Sveučilišta u Dubrovniku

zarko.koboevic@unidu.hr

dr. sc. Jadran Šundrica, dipl. ing.

Strojarski odjel Sveučilišta u Dubrovniku

jadran.sundrica@unidu.hr

Tomislav Perišić, diplomant

UDK 629.12:621.313

Sažetak

U ovom radu prikazan je Voith-Schneiderov porivni uređaj kao jedan od čestih propulzijskih uređaja na trajektima, tegljačima i ostalim brodovima gdje su veliki zahtjevi za manevarskim osobinama. Uz opis samog uređaja dan je i pregled sila na lopaticama koje rezultiraju propulzijom broda te pregled materijala za lopatice.

Ključne riječi: porivni uređaj, lopatica, vijak, sile na lopatici, putanja lopatice, materijali lopatica.

Summary

The paper shows Voith-Schneider propeller, as one of the most convenient propulsion devices installed on ferries, tug-boats and other vessels where sophisticated manoeuvrability performance is required. Beside the description of the device, it is given the overview of the forces acting on the blades, resulting in the propulsion of the vessel and review of materials for blade.

Key words: propulsion device, blade, propeller, forces acting on a blade, path of a blade, materials for blade.

UVOD / Introduction

Kao jedan od načina brodske propulzije na brodovima se ugrađuju Voith-Schneiderovi porivni uređaji, i to, zbog svoje skupe i komplicirane izvedbe, na manjim plovilima tipa tegljača, plovnih dizalica, trajekata, ratnih brodova itd. Ova vrsta porivnog uređaja obiluje odlikama kao što su jednostavnost manevriranja brodom, točno i brzo izvršavanje zadanih parametara, te upravljanje sa zapovjedničkoga mosta, pa nema potrebe za ugradnjom dijelova kao što su kormilo, osovinski vod, statvena cijev s brtvenicama itd. Najbitnija prikladnost ovoga uređaja je u tome što su u njemu integrirani poriv i kormilarenje.

VOITH-SCHNEIDEROV PORIVNI UREĐAJ / *Voith-Schneider Propeller*

Prije osamdesetak godina razvijen je ovakav tip broskog poriva, jedini ovakve vrste u svijetu. Usavršen je u tvrtki Voith po zamisli austrijskog inženjera Ernesta Schneidera i omogućava bilo koju veličinu poriva u bilo kojem smjeru, i to brzo i točno, u neprekidno promjenjivu režimu. Na slici 1. je fotografija Voith-Schneiderova propulzora za poriv broda.

Za poriv brodova maloga gaza i onih kojima su potrebna posebna manevarska svojstva koristi se Voith-Schneiderovom porivnom jedinicom. Vijak s vertikalnom osi umjesto glavčine ima valjak na kojemu



manevarske sposobnosti i njegova visoka učinkovitost i trajnost.

Norveško ministarstvo prometa naručilo je opsežne studije o izradbi standardnog broda za svoje trajektne linije. Jedan od ključnih elemenata bilo je određivanje optimalne propulzije. Studijom je dokazano da Voith-Schneiderov porivni uređaj ima najučinkovitiju i najekonomičniju propulziju za takvu namjenu.

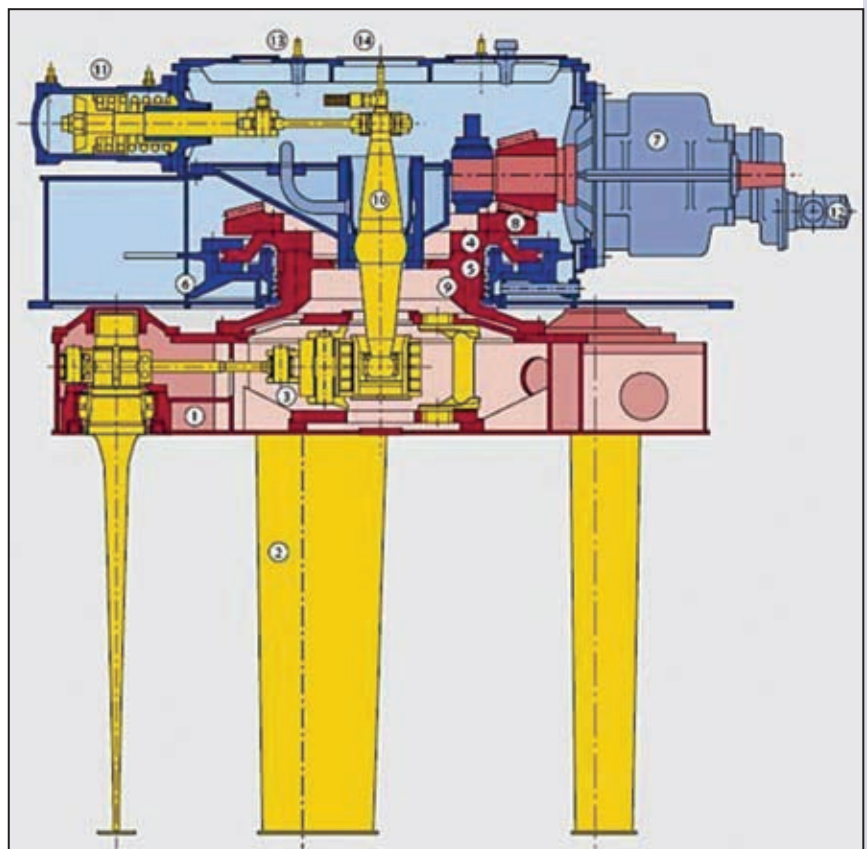
U prošlim vremenima znatno se radilo na ukupnoj učinkovitosti. Opsežna istraživanja i razvoj rezultirali su porastom učinkovitosti ovoga porivnog uređaja u proteklih nekoliko godina. Ključ unapređenja bio je razvoj novog profila lopatica s većim omjerom njihove dužine i tetive, optimalnim dizajnom broskog trupa te poboljšanim međusobnim djelovanjem trupa i samoga porivnog uređaja. Na slici 2. dan je shematski prikaz Voith-Schneiderova porivnog uređaja.

Slika 1. Fotografija Voith-Schneiderova propulzora
Figure 1. Photo of Voith-Schneider propulsion unit

su na donjoj vodoravnoj površini pričvršćene lopatice; one su postavljene okomito na donju površinu bubnja i svaka se od njih sustavom poluga može zakretati oko svoje vertikalne osi, a promjena poriva ostvaruje se zakretanjem vertikalnih lopatica oko vertikalne osi svake lopatice. Na taj način dobiva se porivna sila kojoj se smjer može mijenjati za svaki kut, u krugu od 360°, pa se time postiže velika sposobnost manevriranja. Tako se s dvije Voith-Schneiderove porivne jedinice brod može okretati u mjestu i pri svemu tome nije potrebno kormilo. Pritom, brodski trup na mjestu ugradnje ovoga uređaja mora biti ravan. Sustav Voith-Schneiderova porivnog uređaja dosta je složen, pa se ne ugrađuje na brodove duge plovidbe, nego na one koji plove u zaštićenim vodama, lukama i jezerima.

Ovaj porivni uređaj učinkovit je za trajekte s rampama na pramcu i krmu. Važne su mu značajke odlične

Slika 2. Shema Voith-Schneiderova porivnog uređaja
Figure 2. Scheme of Voith-Schneider propeller



- | | | |
|----------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 - kućište rotora | 8 - konični zupčanik | ■ stacionarni dijelovi |
| 2 - lopatica | 9 - pogonska košuljica | ■ pokretni dijelovi |
| 3 - polužje lopatice | 10 - upravljačka poluga | ■ kormilarski dijelovi |
| 4 - potisna ploča | 11 - servomotor | |
| 5 - kuglični ležaj | 12 - zupčasta pumpa | |
| 6 - kućište vijka | 13 - upravljačka osovina | |
| 7 - reduktor | 14 - ploča indikatora | |

Tako je omjer dužine i tetiva lopatica Voith-Schneiderova porivnog uređaja povećan za 11% uspoređujući s prijašnjom standardnom izvedbom. To omogućuje da se smanji otpor pri gibanju lopatica kroz vodu, pa se u skladu s tim poboljšava učinkovitost.

Uz to, prednost je takva norveškog trajekta u njegovoj pokretljivosti i jednostavnoj propulziji: opremljen je dvama porivnim uređajima, po jednom sa svake brodske strane. Svaki Voith-Schneiderov porivni uređaj pogonjen je dvama dizelskim motorima preko remenskog pogona. Hidrodinamička spojka smještena je između dvaju dizelskih motora i remenskog pogona, i reducira male razlike u brzini i omogućuje da se propulzor pogoni samo jednim motorom. Prema tomu, pri malim opterećenjima brodski pogon može biti ostvaren jednim motorom u radu s

jednim Voith-Schneiderovim porivnim uređajem. Takav sustav omogućuje dizelskom motoru konstantan rad pri optimalnoj brzini vrtnje i snazi. Prednost takve koncepcije je u tome što, za razliku od vijčanih propelera, koji imaju točno određen smjer uspona vijka, Voith-Schneiderov porivni uređaj ima promjenjiv uspon lopatica, pa time i propulziju, i to u bilo kojemu smjeru.

Dosadašnja iskustva stečena u brodogradilištima potvrđuju da je ovaj uređaj mnogo ekonomičniji za trajekt. Izračuni potrošnje goriva obavljeni još u brodogradilištu pokazuju da trajekti opremljeni ovim porivnim uređajem troše 12% manje goriva nego slični novi trajekti s različito upravljanim propulzijskim sustavima na usporedivim trajektnim linijama.

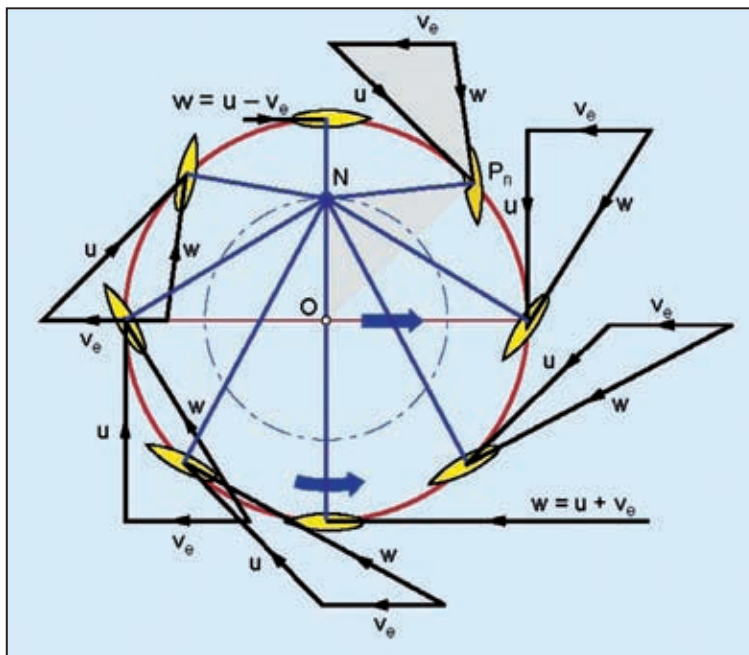
Također, manevriranje je vrlo učinkovito, brzo i sigurno, čak i pri velikim brzinama vjetra.

PRINCIP RADA VOITH-SCHNEIDEROVA PORIVNOG UREĐAJA / Working Principle of the Voith - Schneider Propeller

Brzine na lopatici Voith-Schneiderova porivnog uređaja / Speeds of a Blade of the Voith-Schneider Propeller

U praznom hodu ovoga porivnog uređaja lopaticе su namještene tako da svaka apsolutna brzina w rezultirana obodnom brzinom u i relativnom brzinom v_e , usmjerenom prema osi profila.

Osnovni je zakon kojim je određeno gibanje lopaticе: trokut NOP_n sličan je trokutu brzina uvw za svaki položaj lopaticе.



Slika 3. Dijagram trokuta brzina lopaticе
 O – centar uređaja, N – upravljački centar, P_n – oscilatorni centar lopaticе, u – obodna brzina, v_e – brzina broda umanjena za brazdu, w – rezultanta brzina

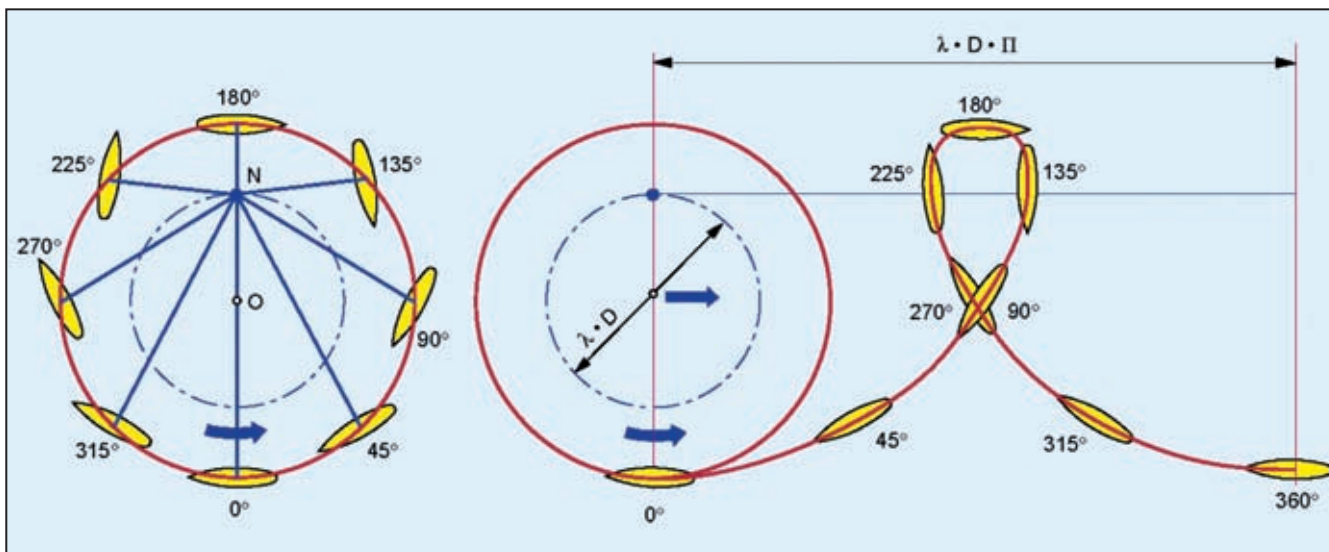
Figure 3. Diagram of a triangle of a blade
 O – center of a device, N – center of management, P_n – oscillating center of a blade, u – speed of a circumference, v_e – speed of a vessel minus line, w – resultant speed

Okomice na os profila, za sve položaje lopaticе, tijekom jednog okreta moraju se sjeći u jednoj točki, upravljačkom centru N . Tijekom stvaranja poriva taj je upravljački centar uvijek pomaknut za pravi kut od smjera poriva za veličinu ON od središta rotacije (ekscentričnost).

Pri praznom hodu točka N odgovara točki O . Omjer udaljenosti ON prema $D/2$ odgovara omjeru relativne brzine v_e prema obodnoj brzini u , što je takozvani koeficijent λ . Dokle god Voith-Schneiderov porivni uređaj ne stvara poriv, koeficijent λ jednak je omjeru uspona.

Stvarna putanja jedne lopaticе Voith-Schneiderova porivnog uređaja (cikloida) / Path of a Blade in the Water

S pomoću preslikavanja kružnoga gibanja Voith-Schneiderova porivnog uređaja na ravnu plohu okomitu na os rotacije (za prikaz gibanja broda), lopatica opisuju cikloidu. Radijus cikloide jednak je umnošku $\lambda x D/2$, a gibanje uređaja prema naprijed za vrijeme jednog okreta jednako je umnošku $\lambda x D x \pi$.

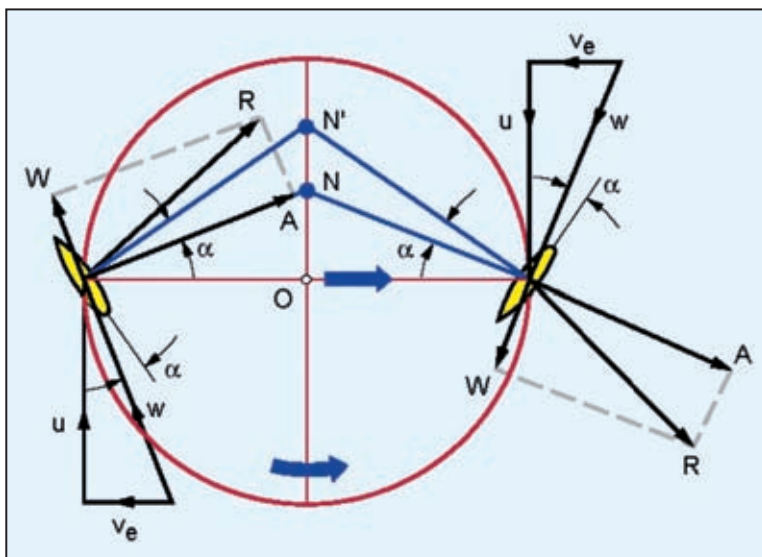


Slika 4. Dijagram cikloidne putanje lopatice
Figure 4. Diagram of cycloid path of a blade

Sile na lopatici Voith–Schneiderova porivnog uređaja / Forces Acting on a Blade of the Voith-Schneider Propeller

Da bi se ostvario poriv, profil lopatice mora biti pomaknut od putanje lopatice za kut α (alfa), s pomoću pomaka upravljačkog centra N do položaja N'. Omjer

ON' prema $D/2$ jednak je koeficijentu λ_0 koji je omjer uspona Voith–Schneiderova porivnog uređaja. Kroz taj kut α hidrodinamički uzgon stvorit će pravi kut prema rezultanti brzina w , tj. okomicu na cikloidnu putanju lopatice. Veličina hidrodinamičkog uzgona ovisi o ulaznom kutu α i ulaznoj brzini w .



Slika 5. Dijagram sila na lopatici NN' – pomak upravljačkog centra, α – ulazni kut, A – hidrodinamički uzgon, W – inducirani pomak profila, R – rezultatna hidrodinamička sila

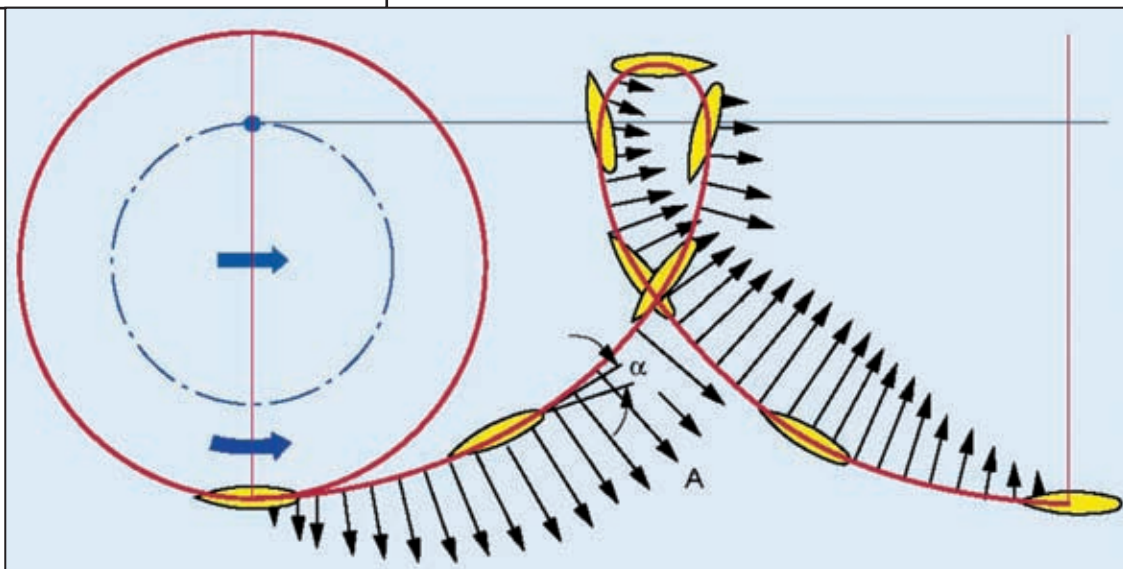
Figure 5. Diagram of forces on the blade NN' – management center movement; α – angle of attack; A – hydrodynamic buoyancy; W – induced movement of a profile; R – resultants of hydrodynamic forces

Stvaranje poriva Voith–Schneiderovim porivnim uređajem / Generating Propulsion by Means of Voith-Schneider Propeller

Hidrodinamički uzgon mijenja se tijekom okretanja lopatice zbog nestacionarnog položaja Voith–Schneiderova porivnog uređaja. Pritom su komponente sile uzgona:

- one koje djeluje u smjeru gibanja rezultiraju porivom uređaja,
- one koje djeluju okomito na smjer gibanja poništavaju se.

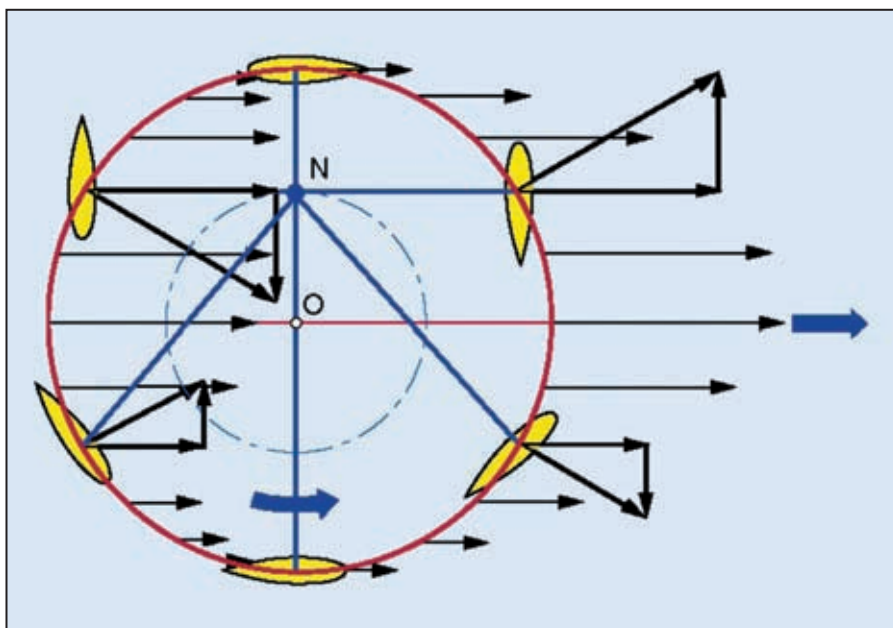
Prema tome, samo sile uzgona koje djeluju u smjeru gibanja, stvaraju poriv.



Budući da je poriv Voith–Schneiderova porivnog uređaja uvijek okomit na liniju ON' ili NN' , on se može ostvariti u bilo kojem smjeru samo pri premještanju upravljačkog centra N' . Zbog svoje kružne simetrije ovaj porivni uređaj nema preferirana smjera poriva.

Slika 6. Dijagram raspodjele sila uzgona uzduž putanje lopatice: A – hidrodinamički uzgon, α – ulazni kut

Figure 6. Diagram of the distribution of the forces of buoyancy along the path of a blade A – hydrodynamic buoyancy, α – angle of attack



Slika 7. Dijagram stvaranja poriva Voith–Schneiderovim porivnim uređajem: O – centar uređaja, N – upravljački centar

Figure 7. Diagram of the formation of Voith–Schneider propulsion device in which O – center of device, N – managing center

ELEMENTI I OPIS RADA VOITH–SCHNEIDEROVA PORIVNOG UREĐAJA / Elements and Description of the Working Principle of the Voith – Schneider Propeller

Elementi Voith–Schneiderova porivnog uređaja / Elements of Voith–Schneider Propeller

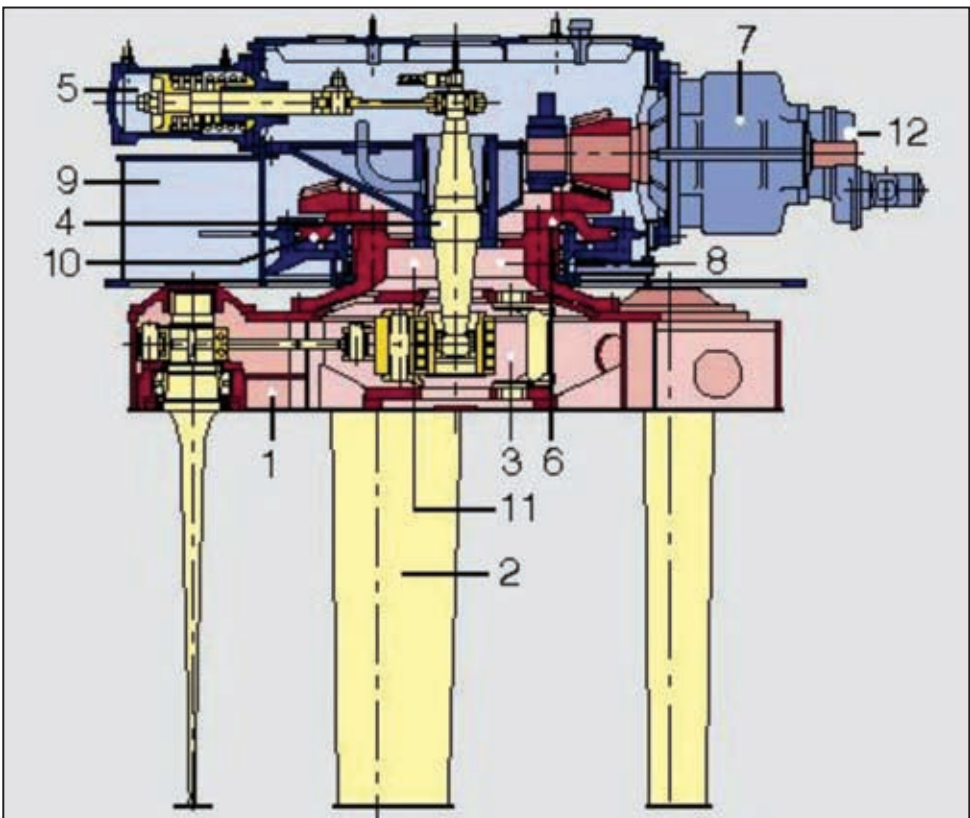
Voith–Schneiderovim uređajem poriv se proizvodi lopaticama koje vertikalno vire iz brodsoga trupa. Lopatice su smještene u kućište rotora, a ono je u istoj ravnini s trupom (slika 8.).

Na slici 9. shema je poprečnog presjeka Voith–Schneiderova porivnog uređaja. Energija potrebna za

poriv prenosi se na kućište rotora 1 preko konusnog zupčanika 6. Klizni ležajevi, ili specijalni kuglični ležajevi, upotrijebljeni su za spajanje lopatica. Aksijalni ležaj 10 središnji je oslonac kućištu rotora. Kuglični ležaj 11 preuzima radijalne sile. Kinematički uređaj 3 omogućuje lopaticama 2 izvođenje oscilatornoga gibanja. Amplituda i faze lopatica tijekom oscilatornoga gibanja izravno utječu na smjer i veličinu poriva, i određene su pozicijom kinematičkog centra, koji se pomiče upravljačkom polugom 4. Na upravljačku polugu djeluju dva okomita hidraulična cilindra 5.



Slika 8. Fotografija kreme broda s Voith-Schneiderovim porivnim uređajem
 Figure 8. Photo of a stern of Voith-Schneider propulsion device



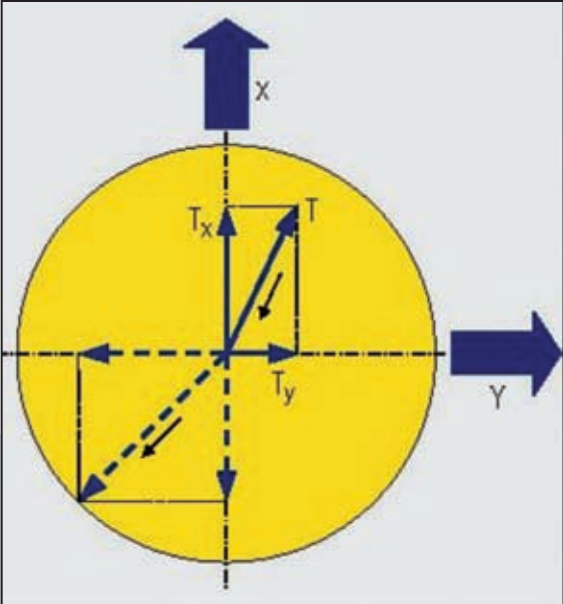
Slika 9. Shema poprečnog presjeka kroz Voith-Schneiderov porivni uređaj
 Figure 9. Scheme of transverse section through Voith-Schneider propulsion device

Opis rada Voith-Schneiderova porivnog uređaja / Description of the Working Principle Voith-Schneider Propeller

Hidraulični su cilindri centrirani tako da jedan određuje poriv u uzdužnom smjeru broda (pramcem – krmom), a drugi prenosi gibanje kormila (lijeve i desne sile). Ti centrirani hidraulični cilindri određuju upravljanje brodom na x-y koordinatama, koje se podudaraju s glavnim osima broda (slika 10.).

Moguće je ostvariti nulti poriv čak i dok porivni uređaj rotira.

Slika 10. Shema koordinata za upravljanje koje se podudaraju s glavnim brodskim osima
 Figure 10. Scheme of co-ordinates for management coinciding with main axes of a vessel

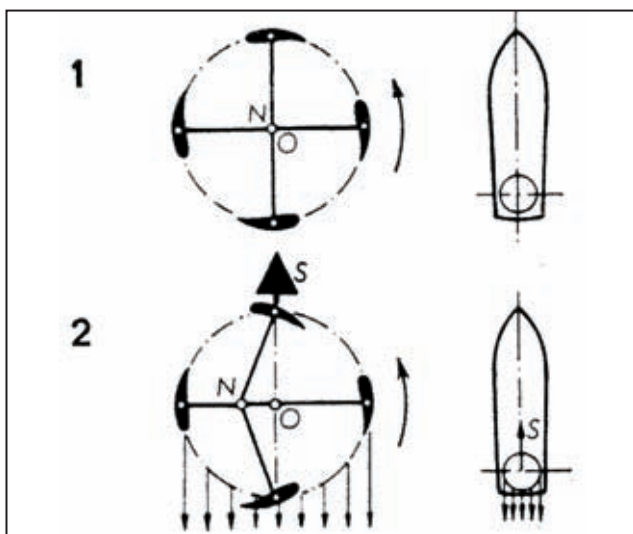


Elementi koji vode do upravljačkoga centra N spojeni su na osovine lopatica unutar kućišta rotora. Kad se upravljački centar N pomakne iz centra kruga O , lopatice izvrše oscilatorno gibanje oko svojih osi, i poriv je vijka podudaran s potiskom u suprotnom smjeru (vidi sljedeće slike).

Na slici 11-1 upravljački centar N postavljen je u središte kružnice O . Pri rotiranju lopatice su položene tangencijalno i ne proizvode poriv (prazan hod vijka).

Na slici 11-2 upravljačko središte N pomaknuto je ulijevo. Lopatice su postavljene tako da se okomice na tetive profila optica sijeku u upravljačkom središtu N . Svaka tad obavlja oscilatorno gibanje oko svoje osi, a ulazni im je brid okrenut prema van na prednjoj polovici kruga i prema unutra na stražnjoj strani kruga. Prema tome, na prednjoj polovici voda se ubacuje u putanju lopatice, u na stražnjoj se polovici izbacuje. U tom slučaju, usmjeren je mlaz vode prema kmi. Kao reakcija nastaje poriv u smjeru S (brod se giba prema naprijed).

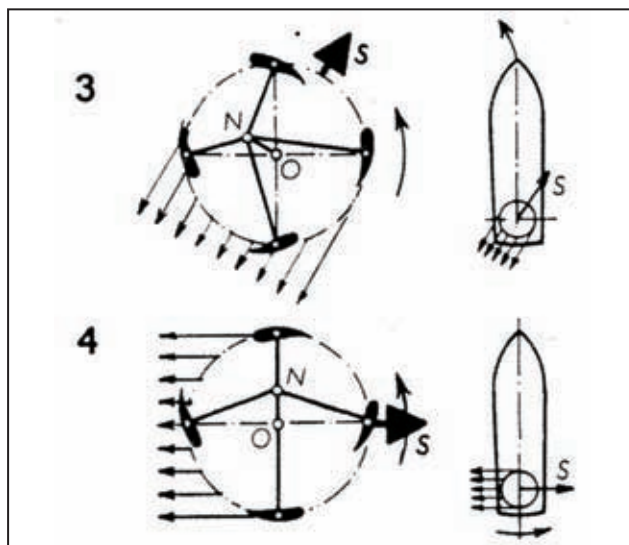
Sila poriva djeluje pod pravim kutom na liniju $O-N$, i njezina je veličina proporcionalna udaljenosti $O-N$. Zbog kružne simetrije oko osi propulzora, slično razmatranje odnosi se na svaki drugi položaj upravljačkog središta N .



Slika 11. 1 - prazan hod vijka, 2 - gibanje broda prema naprijed
 Figure 11. 1 - propeller stopped, 2 - movement of a vessel ahead

Na slici 12-3 upravljačko središte pomaknuto je ulijevo i istovremeno naprijed. Mlaz propulzora i poriv S pod pravim kutom s linijom $O-N$. Pored uzdužnih komponenta poriv uključuje i poprečne; komponente, drugim riječima, porivni uređaj omogućuje upravljačku silu (brod okreće ulijevo).

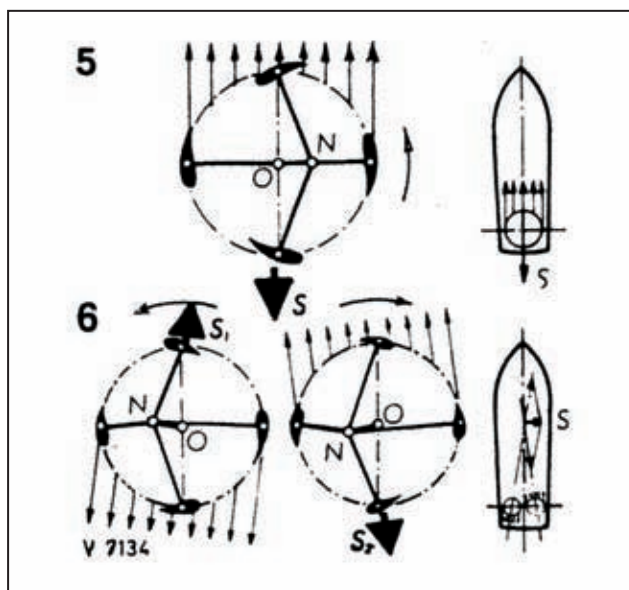
Kad je upravljačko središte, kako je pokazano na slici 12-4, pomaknut naprijed, ostvaren je poprečni poriv udesno (brod se okreće krmom udesno).



Slika 12. 3 - brod okreće ulijevo, 4 - brod okreće krmom udesno
 Figure 12. 3 - vessel turning to port, 4 - vessel turning to starboard

Ako je upravljačko središte N pomaknut udesno, kako je pokazano na slici 13-5, rezultirajuće stanje je obrnuto od onoga prikazanog na slici 11-2. Poriv je usmjeren prema kmi (brod se kreće krmom).

Ako je brod opremljen dvama Voith-Schneiderovnim porivnim uređajima (sl.13-6), od kojih jedan daje poriv naprijed i udesno (poriv S_1), a drugi natrag i desno (poriv S_2), to rezultira porivom S , koji djeluje po sredini broda (brod se giba poprečno).



Slika 13. 5 - kretanje broda krmom, 6 - gibanje broda poprečno s uporabom dvaju vijka
 Figure 13. 5 - movement of a vessel astern, 6 - movement of a vessel abeam with two propellers

MATERIJALI ZA LOPATICE PORIVNOG UREĐAJA / Propeller Blade Materials

Izbor materijala općenito / Materials Selection General

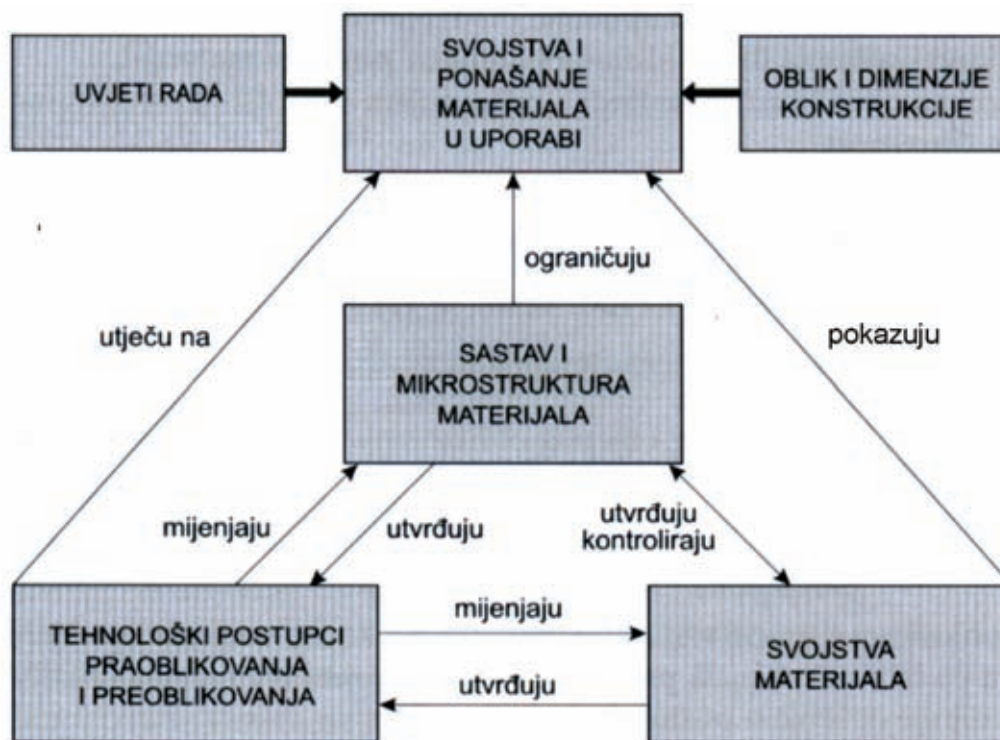
Općeniti utjecaj kemijskog sastava, postupka proizvodnje i mikrostrukture materijala na svojstva i ponašanje u uporabi i njihovo međudjelovanje prikazani su na slici 14 [11].

Pri konstrukciji lopatica porivnog uređaja za plovilo posebne namjene, određuje se broj lopatica, njihov oblik i debljina te materijal.

[13] i CRS (Hrvatski registar brodova) [14]. Za napredne materijale, poput ugljenim vlaknima ojačanih polimera, podatci su najčešće zaštićeni patentima [15 i 16].

Materijali na bazi željeza / Ferrous metals

Skupina materijala na bazi željeza za lopatice porivnog uređaja obuhvaća ugljično-manganske, niskolegirane i nehrđajuće čelike. Ovdje će se navesti zahtjevi za kemijski sastav ugljično-manganske čelike, dok je za niskolegirane i nehrđajuće čelike pri traženju odobrenja za uporabu potrebno predložiti detaljnu specifikaciju



Slika 14. Utjecajni činitelji na svojstva i ponašanje materijala [11]
 Figure 14. Factors influencing the characteristics and behaviour of a material

Za izradbu lopatica mogu poslužiti metalni, nemetalni i kompozitni materijali. Metalni materijali na bazi željeza (čelici) i obojeni metali (mjeđi i bronce) uži su izbor za lopatice porivnog uređaja. Detaljni podatci o kemijskom sastavu i svojstvima strukture te mehaničkim svojstvima tih materijala mogu se naći u pravilima registara brodova. U ovom su radu uzeti podatci iz dostupnih pravila LR (Lloyd’s Register of Shipping) [12], BV (Bureau Veritas)

s podacima o kemijskom sastavu, toplinskoj obradi, mikrostrukтури i mehaničkim svojstvima, uključujući i postupke popravaka.

Kemijski sastavi

Zahtjevi za kemijski sastav ugljično-manganskog čelika (uzorak izuzet iz lonca) LR (Lloyd’s Register of Shipping) navedeni su u tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Zahtijevane količine legiranih elemenata u ugljično-manganskom čeliku za lopatice porivnog uređaja prema pravilima LR (Lloyd’s Register of Shipping)
 Table 1. Required quantities of alloy elements in carbon-mangan steel for the bales of propulsion device according to LR regulations

Ugljik C	Silicij Si	Mangan Mg	Sumpor S	Fosfor P
0,25% max.	0,60% max.	0,50 - 1,60%	0,040% max.	0,040% max.

Tablica 2. Dopuštene količine ostalih elemenata u ugljično-manganskom čeliku za lopatice porivnog uređaja prema pravilima LR (*Lloyd's Register of Shipping*)

Table 2. Allowed quantities of other elements in carbon-mangan steel for the blades of propulsion device according to LR regulations

Bakar Cu	Krom Cr	Nikal Ni	Molibdem Mo	Ukupno
0,30% max.	0,30% max.	0,40% max.	0,15% max.	0,80% max.

Mehanička svojstva

Zahtjevi za mehanička svojstva čelika za lopatice porivnog uređaja prema pravilima LR (*Lloyd's Register of Shipping*) i CRS (Hrvatskog registra brodova) dani su u tablici 3.

Toplinska obrada

Ugljično-manganski čelici moraju biti potpuno žareni, normalizirani ili normalizirani i popušteni na temperaturi ne nižoj od 550 °C. Za ostale čelike toplinska se obrada

provodi prema posebnome odobrenju registra.

Obojeni metali / Non-ferrous metals

Skupina obojenih metala za lopatice porivnog uređaja obuhvaća dvije vrste mjedi visoke

čvrstoće i dvije vrste bronca. Ovdje će se navesti zahtjevi za njihov kemijski sastav i metalografska svojstva (mikrostrukturu) te mehanička svojstva i toplinsku obradu.

Kemijski sastav i svojstva strukture

Zahtjevi za kemijski sastav bakrenih slitina za lopatice porivnog uređaja prema pravilima LR (*Lloyd's Register of Shipping*), CRS (Hrvatskog registra brodova) i BV-a (*Bureau Veritasa*) dani su u tablici 4.

Tablica 3. Mehanička svojstva čelika za lopatice porivnog uređaja prema pravilima LR (*Lloyd's Register of Shipping*)

Table 3. Mechanical features of the steel for the blades of propulsion device according to LR

Vrsta čelika	Granica tečenja $R_{0,2}$, min., N/mm ²	Rastezna čvrstoća R_m , min., N/mm ²	Relativno produljenje A_5 , min. %	Kontrakcija Z, min. %	Udarni rad loma KV, min. J *
Ugljično-manganski	200	400	25	40	20
Nisko-legirani	240	440	20	25	20
Nehrđajući martenzitni (13% Cr 1% Ni)	380	540	19	20	20
Nehrđajući martenzitni (13% Cr 4% Ni)	550	750	19	-	30
Nehrđajući austenitni	180	450	35	35	-
Nehrđajući duplex	370	590	25	35	20

* Za opću uporabu ili za materijal klase 1D, udarni rad loma (žilavost) mora se provjeravati na 0 °C, a za ostale klase na -10 °C.

Tablica 4. Kemijski sastav bakrenih slitina za lopatice porivnog uređaja prema pravilima LR-a (*Lloyd's Register of Shipping*), CRS-a (Hrvatskog registra brodova) i BV-a (*Bureau Veritasa*)*

Table 4. Chemical characteristics of copper alloys for the blades of propulsion device according to the regulations LR (*Lloyd's Register of Shipping*), CRS i BV (*Bureau Veritas*)*

Oznaka slitine	Cu 1	Cu 2	Cu 3	Cu 4	
Kemijski sastav % (uzorak izuzet iz lonca)	Bakar, Cu	52 - 62	50 - 57	77 - 82	70 - 80
	Mangan, Mn	0,5 - 4,0	1,0 - 4,0	0,5 - 4,0	8,0 - 20,0
	Cink, Zn	35 - 40	33 - 38	maks. 1	maks. 6
	Olovo, Pb	maks. 0,5	maks. 0,5	maks. 0,03	maks. 0,05
	Nikal, Ni	maks. 1	3 - 8	3 - 6	1,5 - 3
	Željezo, Fe	5 - 2,5	0,5 - 2,5	2,0 - 6,0	2,0 - 5,0
	Aluminij Al	0,5 - 3,0	0,5 - 2,0	7,0 - 11,0	6,5 - 9,0
	Kositar, Sn Silicij, Si *	0,1 - 0,15 maks. 1,5	maks. 0,15 maks. 1,5	maks. 0,1 maks. 0,1*	maks. 1 maks. 1

* BV umjesto zahtjeva za kositar Sn navodi zahtjev za silicij Si, koji za lopatice manje od 2,5 m može biti do 0,20%.

Metalografska svojstva (mikrostruktura)

Glavni sastojci mikrostrukture za bakrene slitine Cu 1 i Cu 2 su alfa i beta faza.¹ Budući da udjel beta faze nepovoljno utječe na duktilnost i otpornost na korozijski zamor, on mora biti što manji. Zbog toga se zahtijeva da te bakrene slitine imaju najmanje 25% udjela alfa faze.

Mikrostruktura slitine Cu 3 (CuAl9Ni, DIN 1714, Werkstoff-Nr.: 2.0970.20) prema katalogu proizvođača Piel + Adey Metal-Kokillen-Giessere [17] prikazana je na slici 15.



Izvor: katalog proizvođača [17]

(povećanje 50:1)

(magnifying 50:1)

Slika 15. Mikrostruktura slitine Cu 3 (CuAl9Ni DIN 1714, Werkstoff-Nr.: 2.0970.20)

Figure 15. Microstructure of alloy Cu3 (CuAl9Ni DIN 1714, Werkstoff-Nr.: 2.0970.20)

Mehanička svojstva

Zahtjevi za mehanička svojstva bakrenih slitina za lopatice porivnog uređaja prema pravilima LR (Lloyd's Register of Shipping) i CRS (Hrvatskog registra brodova) dani su u tablici 5.

Tablica 5. Mehanička svojstva bakrenih slitina za lopatice porivnog uređaja prema pravilima LR (Lloyd's Register of Shipping) i CRS (Hrvatskog registra brodova)
Table 5. Mechanical characteristics of copper alloys for the blades of propulsion device according to the regulations LR (Lloyd's Register of Shipping) and CRS

Oznaka i vrsta bakrene slitine	Granica tečenja $R_{0,2}$, min.* N/mm ²	Rastezna čvrstoća R_m , min. N/mm ²	Relativno produljenje A_5 , min., %
Mjed visoke čvrstoće			
Cu 1 magnezijska	175	440	20
Cu 2 nikal-magnezijska	175	440	20
Bronca			
Cu 3 nikal-aluminijska	245	590	16
Cu 4 mangan-aluminijska	275	630	18
* Ako nije drukčije dogovoreno, ova je vrijednost dana samo za obavijest i ne mora se potvrditi ispitivanjima.			

¹ Alfa faza je kristal mješanic nastao otapanjem cinka u bakru. Beta faza je kristal mješanic nastao otapanjem bakra u cinku.

Granica tečenja ili naprezanje pri kojemu je produljenje 0,2% u pravilima BV-a (Bureau Veritasa) je 5 N/mm² a rastezna čvrstoća 10 N/mm² je veća od vrijednosti navedenih u tablici 5.

Toplinska obrada

Nakon skrućivanja očišćene odljevke treba žariti kako bi se smanjila unutarnja naprezanja. Temperatura žarenja kreće se od 350 do 600 °C ovisno o tipu materijala. Potrebno vrijeme progrijavanja određuje tip materijala i njegova debljina.

ZAKLJUČAK / Conclusion

Propulzija broda ostvaruje se jednim od temeljnih brodskih sustava. U današnje vrijeme uglavnom se rabi brodski vijak u kombinaciji s kormilom. Kad se zahtijevaju veće manevarske sposobnosti, kombinira se s brodskim vijkom na krmi i pramčanim mlaznim vijcima (thruster).

Tvrtka Voith Turbo Marine GmbH godinama proizvodi Voith-Schneiderov porivni uređaj, koji se sve češće ugrađuje na plovne objekte, najviše na tegljače i trajekte, diljem svijeta. Osim toga ti se uređaji ugrađuju i na ratne brodove, poput minolovaca, te putničke brodove, protupožarne brodove, ploveće dizalice itd.

Za izradbu lopatica porivnog uređaja, bitnog dijela Voith-Schneiderova porivnog uređaja, najviše se koriste metalnim materijalima i naprednim kompozitima.

Same činjenice da je s ovim porivnim uređajem smanjena potrošnja goriva, a uređaj ima i porivne i kormilarske mogućnosti te se jednostavno održava, ima jednoličan rad pogonskog stroja uz jednostavan manevar brodom - trebale bi pri izboru poticati brodare da se odluče za njega, pogotovo u trajektnome prometu.

LITERATURA / References

1. Operating and maintenance instructions - Voith-Schneider propeller G 24 II
2. VSP efficient propulsion systems for double-ended ferries, Dr. Dirk Jürgens
3. VSP Safety for your ship, Brošura tvrtke Voith Turbo
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Voith-Schneider>
5. <http://www.voithturbo.com/vt-en-pua-marine-vspropeller.htm>
6. Voith Turbo, Voith Schneider propeller for Offshore Supply Vessels, G 1986 e 09.2006
7. Bartels, Jens-Erk, Dirk Jürgens, Voith Schneider propeller Current Applications and New Developments, Voith Turbo, G 1849 e 12/2006.
8. http://www.voithturbo.de/vt_en_pua_marine_vspropeller_marine_minehunter.htm
9. Voith Turbo, Voith Water Tractor G 1811 en MSW/WA 03.2007
10. Voith Turbo, Product Range Marine, G 2012 en (RTS/WA) 12/2007
11. Filetin, Tomislav, Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2006.
12. Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part 2 – Manufacture, Testing and Certification of Materials, Lloyd's Register of Shipping, London, 1996
13. Rules and Regulations for the Classification of Ships and Offshore Installations, Materials, Ref. NR 216 DNC R01 E, Pariz, 1992
14. Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 25. – Metalni materijali, Hrvatski registar brodova, Split, 2005.
15. <http://www.freepatentsonline.com/4380170.html>
16. <http://www.patentstorm.us/patents/5632661/description.html>
17. PIAD guss-information 685 PIAD NORM PIAD A 012, Solingen, 1982.

Rukopis primljen: 16. 6. 2008.

