

Marin Vundać, dipl. ing., FSB, Ivana Lučića 5, Zagreb
Doc. dr. sc. Ante Šestan, dipl. ing., FSB, Ivana Lučića 5, Zagreb

ANALIZA STUPNJA KORISNOSTI NEKIH PORIVNIH SUSTAVA SUVREMENIH RIBARSKIH BRODOVA

Sažetak

Jedan od temeljnih ciljeva suvremene ribolovne djelatnosti je povećavanje ekonomičnosti ribolovnih operacija. Eksploatacijske značajke koje su karakteristične za suvremene ribarske brodove su relativno velika brzina plovidbe, relativno velike sile tegljenja u režimu ribolovnih operacija, povećana autonomnost plovidbe, dobra fleksibilnost pogona, dobra upravljivost kod malih brzina, povećana sigurnost i pouzdanost uz relativno niske operativne troškove, troškove amortizacije i održavanja. Na veličinu operativnih troškova značajno utječu troškovi goriva. Zato je stupanj korisnosti porivnog sustava najvažnija značajka za ocjenu porivnog sustava.

Za porivne sustave suvremenih ribarskih brodova karakteristična je primjena više vrsta i tipova propulzora, pogonskih strojeva i prijenosnika snage. U radu su prikazane osnovne značajke nekih porivnih sustava sa pogonskim dizelskim motorom. Prikazani su osnovni parametri koji najviše utječu na ukupni stupanj korisnosti porivnih sustava i izveden je zaključak o energetski najpovoljnijoj porivnoj strukturi.

Ključne riječi: ribarski brod, porivni sustavi, stupanj korisnosti

EFFICIENCY ANALYSIS OF SOME PROPULSION SYSTEMS ON MODERN FISHING BOATS

Summary

One of the basic goals of modern fishing operations is to increase their efficiency. Typical exploitation characteristics of modern fishing boats are: relatively high service speed, relatively high towing forces in the fishing operations, increased cruising autonomy, good propulsion flexibility, good manoeuvrability at low speeds, increased safety and reliability combined with relatively low operating and maintenance costs. The level of operating costs is directly related to the costs of fuel. Therefore, the efficiency rate of propulsion system is the most important characteristic in determining its power efficiency, and in turn the efficiency of the ship exploitation.

Propulsion systems of modern fishing boats have different types of propulsors, driving engines and power transmitters. In this paper are described basic characteristics of some propulsion systems with diesel engines. Basic parameters that mostly influence efficiency of propulsion systems are shown and conclusion about power-most favourable is derived.

Key words: fishing boat, propulsion systems, efficiency

1. Uvod

Morsko ribarstvo je gospodarska djelatnost od prvorazrednog nacionalnog interesa za Republiku Hrvatsku što potvrđuje i odluka Sabora RH o proglašenju zaštićene ribolovno-ekološke zone u Jadranskom moru. Upravo zbog toga potrebno je na državnoj razini definirati strategiju razvoja ribarstva i koordinirati aktivnosti u procesu provedbe strategije. Pod tim se podrazumijeva razvoj ribarske flote, uzgoja ribe i školjaka, te industrije za preradu ribe i donošenje odgovarajućih zakona koji će spriječiti nekontrolirani izlov ribe i ostalih organizama u Jadranskom moru. Naročito je aktualno pitanje razvoja ribarske flote. Na osnovu podataka iz tablice 1., jasno je da je obnova i razvoj ribolovne flote nužna, ako se želi ostvariti razvoj suvremene ribolovne djelatnosti.

Table 1 Basic parameters of fishing fleet in Republic of Croatia

Tablica 1. Osnovne značajke ribolovne flote u republici Hrvatskoj

godina izgradnje trupa broda	broj brodova	prosječna LOA [m]	prosječna brzina [čv]	prosječna godina proizvodnje pogonskog DM-a
do 1949	63	19.51	8.4	1978
1950 – 1959	95	19.17	8.6	1977
1960 – 1969	44	20.1	8.9	1981
1970 – 1979	34	25.73	9.8	1978
1980 – 1989	30	21.8	9.6	1988
1990 – 1999	22	21.05	9.4	1990
2000 do danas	3	21.2	9.7	1989

Na osnovu podataka iz tablice vidljivo je da u Hrvatskoj postoji 291 ribarski brod duljine $L_{OA} > 12$ m. Prosječna starost ribarskog broda je 42 godine, prosječne duljina preko svega $L_{OA} = 20.6$ metara sa prosječnom brzinom od 8.9 čvorova. Prosječna starost pogonskog dizelskog motora je 24 godine. Propulzor broda je vijak s konstantnim usponom.

Podaci o godišnjem ulovu ribe hrvatskih ribara u Jadranskom moru su upravo odraz stanja ribarske flote. U tablici 2. dan je prikaz godišnjeg ulova hrvatskih ribara u razdoblju od 1992. g. do 2001. g. (podaci FAO-a, međunarodne organizacije za hranu i poljoprivredu).

Table 2 Annual fish capture in Republic of Croatia from 1992. till 2001.

Tablica 2. Godišnji ulov ribe Republike Hrvatske u razdoblju od 1992. do 2001. godine

godina	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
godišnji ulov [t]	26530	26342	17137	15901	17799	16627	21928	18890	20701	18056

Premda su, prema neslužbenim podacima, gornji iznosi godišnjeg ulova ribe čak duplo veći, svejedno su mnogo manji od godišnjeg ulova talijanske ribarske flote u Jadranu, koji iznose oko 150 000 tona.

Održivi razvoj ribolova je uvjetovan bogatstvom sirovinske baze i dozvoljenom razinom njezinog iskorištavanja. Stoga, kod razvoja ribolovne flote treba prije svega, voditi brigu da ribarski brodovi i ribolovni alati budu prilagođeni proizvodnim i obnovljivim mogućnostima mora i specifičnostima ribolovnih područja te vrstama ribe i drugih morskih organizama. Osim toga, kod razvoja ribolovne flote bitno je voditi računa i o pravilnom odabiru porivnog sustava, kojeg čine pogonski motor, prijenosnici snage te propulzor, a čime se mogu postići znatne uštede u potrošnji goriva pogonskih motora, jer je cijena goriva jedan od najbitnijih faktora koji utječu na rentabilnost ribolova, što potvrđuju i stalna negodovanja ribara zbog čestih poskupljenja goriva. U radu će biti analizirani stupnjevi korisnosti porivnih sustava, s dizelskim motorom kao pogonskim strojem, koji se u današnje vrijeme pojavljuju na modernim ribarskim brodovima približne duljine preko svega 25-35 metara [1].

2. Stupanj korisnog djelovanja porivnog sustava ribarskog broda

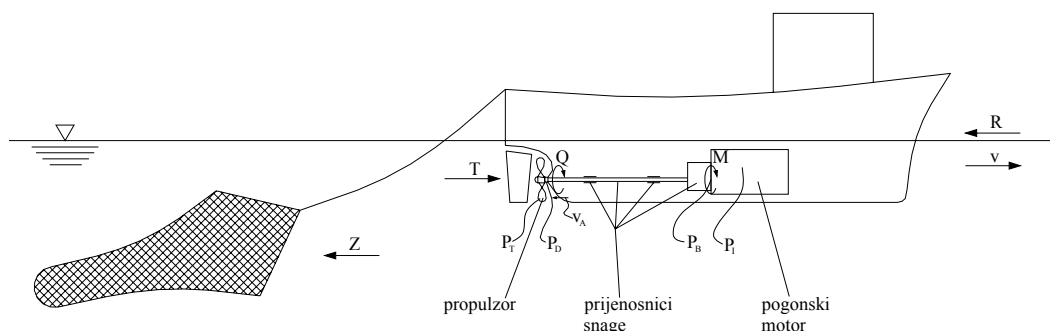


Fig. 1 Fishing boat propulsion system

Slika 1. Porivni sustav ribarskog broda

Porivni sustav broda prema slici 1. čine pogonski stroj, prijenosnici snage i propulzor.

Ukupna snaga otpora P_E ribarskog broda koji tegli mrežu brzinom v je:

$$P_E = (R + Z) \cdot v, \text{ gdje je:}$$

R – otpor tegljenja broda brzinom v , Z – otpor tegljenja mreže brzinom v .

Snaga poriva P_T koja je potrebna za poriv broda brzinom v je:

$$P_T = T \cdot v_A, \text{ gdje je:}$$

T - sila poriva koju proizvodi propulzor, v_A - brzina napredovanja propulzora.

Mehaničku energiju potrebnu za rad propulzora proizvodi pogonski motor iz kemijske energije sadržane u gorivu. Ukupnu snagu koju dobijemo izgaranjem određene količine goriva u jedinici vremena nazivamo dovedena snaga i označavamo je sa P_{dov} . Dovedenu snagu motor ne može iskoristiti u cjelosti već se dio nje gubi odvođenjem topline hlađenjem motora i ispušnim plinovima. Snagu umanjenu za iznos tih gubitaka zovemo indicirana snaga dizelskog motora i označavamo je sa P_I . Zbog mehaničkih gubitaka u dizelskom motoru, snaga mjerena na prirubnici koljenastog vratila manja je od P_I i naziva se kočena snaga motora P_B . Motor snagu predaje prijenosnicima snage, tj. reduktoru broja okretaja i vratilu koje snagu predaje propulzoru. Snaga koju vratilo predaje propulzoru označava se sa P_D i manja je od snage P_B za iznos mehaničkih gubitaka u reduktoru i ležajevima vratila. Snagu P_D propulzor zbog vlastitih gubitaka nije u stanju u potpunosti iskoristiti za poriv. Snagu koju propulzor iskorištava označavamo sa P_0 . Dakle imamo:

$$P_{dov} = B \cdot H_d, \text{ gdje je:}$$

B – potrošnja goriva u jedinici vremena, H_d – donja ogrijevna moć goriva.

P_I - indicirana snaga dizelskog motora, $\eta_I = \frac{P_I}{P_{dov}}$, indicirana korisnost motora,

$P_B = 2\pi Mn$, - kočena snaga dizelskog motora, gdje je M moment vrtnje mjeran na prirubnici koljenastog vratila, a n je brzina vrtnje motora,

$\eta_M = \frac{P_B}{P_I}$, stupanj mehaničke korisnosti dizelskog motora,

$P_D = 2\pi Qn$, - snaga koju vratilo predaje propulzoru, gdje je Q moment vrtnje propulzora,

$\eta_S = \frac{P_D}{P_B}$, stupanj korisnosti prijenosnika snage,

P_0 – snaga koju propulzor iskorištava u "slobodnoj vožnji",

$$\eta_0 = \frac{P_0}{P_D} = \frac{T_0 v_A}{P_D}, \text{ stupanj korisnosti propulzora u slobodnoj vožnji, gdje je } T_0 \text{ sila poriva}$$

vijka u slobodnoj vožnji. Umnoškom $\eta_I \eta_M \eta_S \eta_0$ određen je ukupni stupanj korisnosti porivnog sustava kod rada propulzora u uvjetima slobodne vožnje. Međutim, pri radu propulzora na krmi broda, stupanj korisnosti porivnog sustava nije jednak onom u uvjetima slobodne vožnje. Usljed strujanja mora oko broskog trupa dolazi do promjene polja tlaka i polja brzina na krmi broda. Koeficijenti koji nam kvantificiraju te promjene su:

η_R – koeficijent prijelaza koji pokazuje koliko se mijenja stupanj korisnosti propulzora u slobodnoj vožnji, pri smještaju propulzora na krmi broda, a određuje se ispitivanjima modela broda u bazenu,

$$\eta_H - \text{koeficijent utjecaja forme broda, } \eta_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{(R+Z)v}{T v_A} = \frac{(R+Z)/T}{v_A/v} = \frac{1-t}{1-w}, \text{ gdje je:}$$

$$t = \text{koeficijent smanjenog poriva, } t = 1 - \frac{R+Z}{T}, \quad w = \text{koeficijent sustrujanja, } w = 1 - \frac{v_A}{v}.$$

Ukupni stupanj korisnog djelovanja porivnog sustava je:

$$\eta_T = \eta_I \eta_M \eta_S \eta_0 \eta_R \eta_H, \quad (1)$$

ili

$$\eta_T = \eta_I \eta_M \eta_S \eta_B \eta_H. \quad (2)$$

Koeficijent propulzora pri radu na krmi broda je :

$$\eta_B = \eta_0 \eta_R = \frac{P_T}{P_D}. \quad (3)$$

Ukupni stupanj korisnog djelovanja porivnog sustava možemo izraziti i u sljedećem obliku:

$$\frac{P_E}{P_{dov}} = \frac{P_I}{P_{dov}} \frac{P_B}{P_I} \frac{P_D}{P_B} \frac{P_T}{P_D} \frac{P_E}{P_T}. \quad (4)$$

Koeficijent propulzije je:

$$\eta_D = \eta_0 \eta_R \eta_H = \frac{P_E}{P_D}. \quad (5)$$

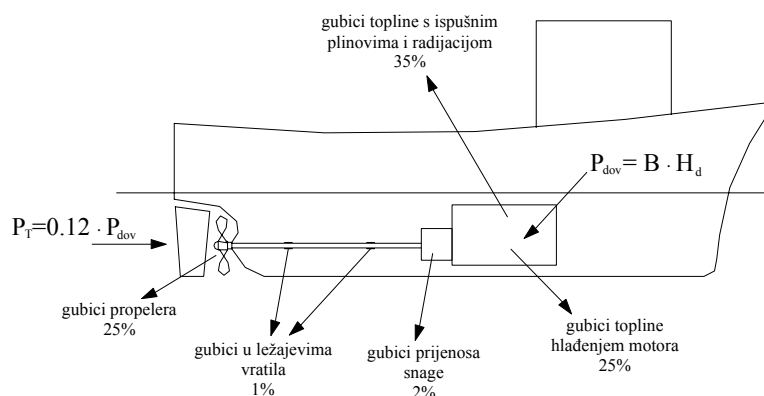


Fig. 2 Energy losses in fishing boat propulsion system Slika 2. Gubici u porivnom sustavu ribarskog broda

Ukupni stupanj korisnosti porivnog sustava ovisi o nizu sljedećih faktora: formi broda, stanju trupa, uvjetima plovidbe, režimima plovidbe, vrsti propulzora, izvedbi propulzora, vrsti i izvedbi pogonskog stroja, vrstama i izvedbama prijenosnika snage, te o njihovoj interakciji. Na slici 2. je prikazana struktura gubitaka cjelokupnog porivnog sustava ribarskog broda.

Značajna poboljšanja ukupnog stupnja korisnosti, u okvirima standardnih izvedbi porivnih sustava na modernim ribarskim brodovima, postižu se uglavnom pravilnim odabirom propulzora. Zajednički rad propulzora i pogonskog stroja treba biti takav, da se radna točka dizelskog motora uvijek nalazi unutar područja rada za koje je taj motor predviđen, kako bi se pored povećanja ukupnog stupnja korisnosti porivnog sustava, povećala i pouzdanost porivnog sustava, tj. smanjili troškovi amortizacije i održavanja.

3. Područje rada pogonskog stroja

Često se u brodograđevnoj praksi sve ono što čini energetska sustav broda promatra kao zasebna cjelina. Pogonski stroj (najčešće se radi o dizelskom motoru) promatra se kao "crna kutija" sa značajkama dimenzija, mase, maksimalne trajne snage motora P_{MCR} , te broja okretaja n kod P_{MCR} . Kod većine trgovačkih brodova pogonski stroj se odabire na temelju poznate radne karakteristike propulzora za karakteristični režim plovidbe. U slučaju trgovačkih brodova koji velikim dijelom svog životnog vijeka plovo u istom režimu, takav pristup je zadovoljavajući. Međutim, u slučaju kad se radi o specijalnim tipovima brodova, čija namjena podrazumijeva plovidbu u različitim režimima, a čiji je tipični predstavnik ribarski brod, potrebno je izvršiti detaljniju analizu interakcije propulzora i pogonskog stroja u različitim režimima plovidbe. Radno područje dizelskog motora prikazano je u dijagramu $P=f(n)$ na slici 3. [2]. Faktori koji određuju radno područje dizelskog motora su: minimalna brzina vrtnje pri kojem je rad motora još uvijek stabilan, minimalni prosječni tlak u cilindru motora, prosječni maksimalni tlak u cilindru motora, maksimalna brzina vrtnje motora te maksimalna snaga koju razvija motor pri određenoj brzini vrtnje motora.

4. Osnovne značajke tipičnih vrsta propulzora ribarskih brodova

Propulzori koji se koriste na suvremenim ribarskim brodovima su vijak s konstantnim usponom, vijak s promjenjivim usponom i sustav vijka i sapnice.

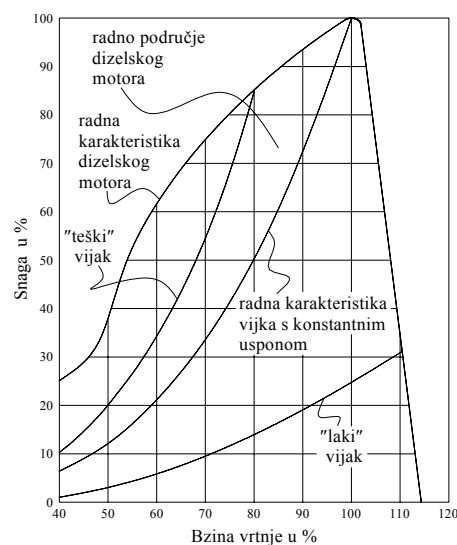


Fig. 3 Rate of revolution versus power diagram showing high-speed diesel engine operating area and typical fixed-blade propeller characteristic curves

Slika 3. Dijagram područja rada brzohodnog dizelskog motora za pogon ribarskog broda te tipične radne karakteristike brodskih vijaka s konstantnim usponom

4.1. Vijak s konstantnim usponom

Vijak s konstantnim usponom je jednostavne izvedbe i vrlo velike pouzdanosti. Treba imati takve značajke da iskorištava energiju koju mu pogonski dizelski motor preko prijenosnika snage predaje, i pretvara je u snagu poriva. Slika 3. prikazuje radnu karakteristiku vijka s konstantnim usponom unutar radnog područja dizelskog motora. "Teški" vijak je slučaj u kojem je uspon vijka prevelik tako da vijak ne može razviti maksimalnu snagu pri maksimalnoj brzini vrtnje. "Laki" vijak je slučaj u kojem je uspon vijka premalen, a to rezultira smanjenom snagom poriva pri maksimalnoj brzini vrtnje dizelskog motora. Karakteristika vijka se mijenja ukoliko dođe do promjena značajki vijka, npr. oštećenjem vijka. Također, do promjene karakteristike vijka može doći i usljed promjena uvjeta plovidbe. Tako npr., u slučaju plovidbe s povećanim gazom, s povećanom pretegom, kod valovitog mora, u plitkoj vodi, pri zakretanju broda, pri plovidbi u ledu, pri tegljenju, pri plovidbi protiv vjetra ili struje, kada je brodski trup obrastao itd., karakteristika vijka se pomiče ulijevo i odgovara karakteristici "teškog" vijka. Taj slučaj nazivamo "plovidba prema teškoj propelerskoj karakteristici". Rezultati analiza pokazuju da na proces "otežavanja" vijka najviše utječe obraštanje trupa i krila vijaka za vrijeme stajanja broda u toplim morima. U slučaju plovidbe u balastu, u smjeru vjetra ili struje itd., karakteristika vijka se pomiče udesno i odgovara karakteristici "lakog" vijka. Taj slučaj nazivamo "plovidba prema lakoj propelerskoj karakteristici". Osnovne geometrijske značajke broskog vijka su: D - promjer vijka, P - uspon krila vijka, P/D - omjer uspona, z - broj krila vijka, A_E - raširena površina krila, $A_0 = (D^2 \pi)/4$ - površina diska vijka, A_E/A_0 - omjer površina vijka, d - promjer glavine vijka. Dijagram na slici 4. [3] prikazuje utjecaj promjera vijka, brzine vrtnje vijka, omjera površina vijka te omjera uspona i promjera vijka, na stupanj korisnosti vijka.

Jednostavno rečeno, sa stajališta korisnosti vijka, bolje je potiskivati veću količinu vode manjom brzinom, nego manju količinu vode većom brzinom, a da bi se postigla ista sila poriva. To znači da treba težiti vijku što većeg promjera. Parametri koji utječu na veličinu promjera vijka su minimalna zračnost između krila vijka i trupa broda (manja zračnost uzrokuje veće vibracije), te gaz broda (slaba uronjenost vijka broda rezultira gubicima uslijed stvaranja krmenog vala, a izranjanje propelera uzrokuje vibracije). Što je veći promjer vijka to će brzina vrtnje potrebna za stvaranje određene veličine sile poriva biti manja. Treba težiti manjem omjeru površina vijka, ali smanjenjem omjera površina povećava se vjerojatnost pojave kavitacije. Za određenu brzinu vrtnje vijka povoljniji je veći omjer uspona i promjera vijka, a taj omjer je ograničen radnim područjem dizelskog motora.

Također je bolje da vijak ima što manje krila (slika 5.) [3]. Međutim, to znači da kod vijka s manje krila svako krilo vijka podnosi veće opterećenje, a to može rezultirati pojavom vibracija i kavitacije.

Smještaj vijka na krmi broda također utječe na korisnost vijka, a utjecaj jednog od parametara smještaja vijka na koeficijent propulzije prikazan je na slici 6. [3].

Kod ribarskih brodova, koji plovo u različitim režimima plovidbe (odlazak na ribolov, kočarenje tj. tegljenje mreže smanjenom brzinom, podizanje mreže na brod, povratak sa ribolova punih spremišta), odabir vijka s konstantnim usponom vrši se prema radnoj točki koja odgovara jednom od spomenutih režima plovidbe. U slučaju da se vijak odabire za plovidbu brzinama 10-13 čvorova, jasno je da će taj vijak u slučaju tegljenja mreže brzinom 5 čvorova (pri toj brzini riba ne može pobjeći iz mreže) imati karakteristiku plovidbe prema "teškoj propelerskoj karakteristici", što će rezultirati povećanom specifičnom potrošnjom goriva. Nedostaci vijka s konstantnim usponom mogu se izbjeći upotrebom vijka s promjenjivim usponom.

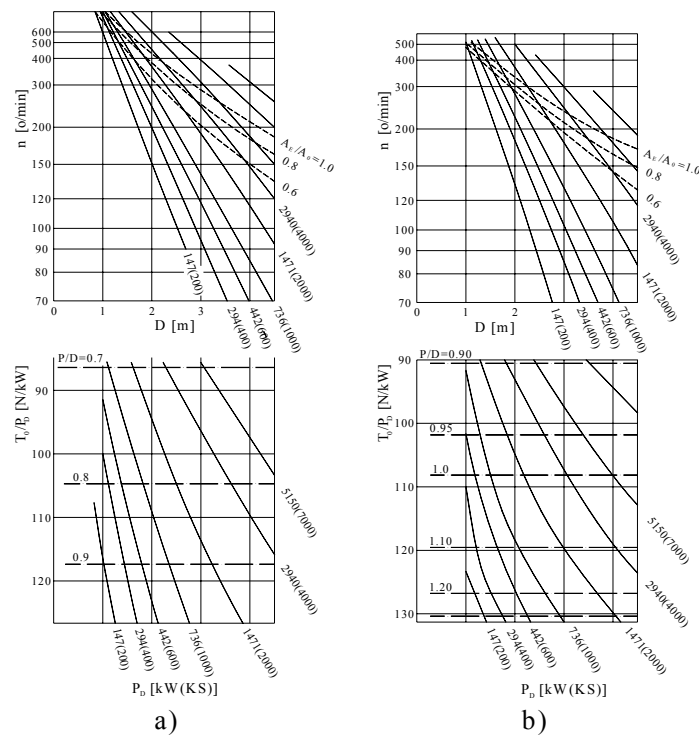


Fig. 4 Diagram for preliminary determination of fixed-blade propeller basic characteristics and rate of revolutions at $v_A=10$ kn: a) open propeller; b) propeller in nozzle

Slika 4. Dijagram za preliminarno određivanje osnovnih značajki vijka i brzine vrtnje kod $v_A=10$ čv: a) vijak bez sapnice; b) vijak u sapnici

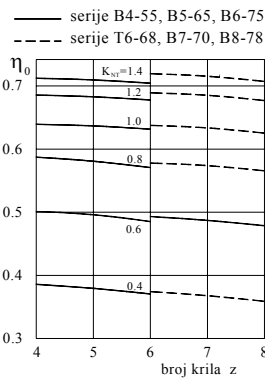


Fig. 5 Influence of number of propeller blades at efficiency in open water

Slika 5. Utjecaj broja krila vijka na stupanj korisnosti

jednovijčani brod
V-rebra krmnog pika
 $L/B=5.5, B/T=2.6, D/T=0.6, \varphi=0.6, \beta=0.92$

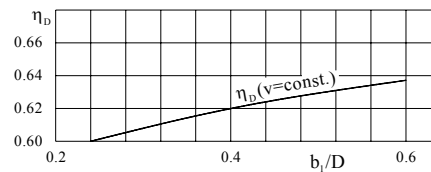
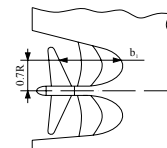


Fig. 6 Influence of distance from propeller to stern at propulsion efficiency

Slika 6. Utjecaj udaljenosti vijka od krmene statve na koeficijent propulzije

4.2. Vijak s promjenjivim usponom

Vijak s konstantnim usponom ima veći stupanj korisnosti od vijka s promjenjivim usponom istog oblika krila, istog promjera i istog uspona (slika 7). [3]. Razlog manjem stupnju korisnosti vijka s promjenjivim usponom je veći promjer glavine vijka, koji je nužan kako bi u njega stao mehanizam koji služi za preokretanje krila. Unatoč tom nedostatku, kod ribarskih brodova koji plovo u različitim režimima plovidbe, upotreba vijka s promjenjivim usponom omogućava da se u svakom režimu plovidbe maksimalno iskoristi snaga pogonskog dizelskog motora.

Na slici 8. [3], u lijevom dijagramu, dana je zavisnost sile poriva T , otpora broda R (odnosno $R+Z$) te omjera P/D vijka, u ovisnosti o brzini broda a uz vrijednosti snage $P_S=P_{nom}$ te $n=n_{nom}$, pri čemu je specifična potrošnja goriva najmanja. Ti podaci odgovaraju crtkanoj liniji u desnom dijagramu na slici 8. , tj. crtkana linija odgovara najekonomičnijem režimu rada (za pojedine odnose P/D i n) što se tiče potrošnje goriva pogonskog motora.

Pored već spomenutih prednosti vijka s promjenjivim usponom treba spomenuti i ostale dobre osobine kao što su: izvrsna mogućnost ubrzavanja i zaustavljanja broda, izvrsna mogućnost manevriranja, vožnja krmom moguća je bez prekretnog uređaja, jednostavnim zakretanjem krila vijka, mijenjanjem uspona krila vijka, moguće je mijenjanje brzine broda bez promjene brzine vrtnje motora, što omogućuje spajanje generatora na pogonski motor. Treba spomenuti i nedostatke vijka s promjenjivim usponom, a one su: složena konstrukcija, učestaliji kvarovi u odnosu na vijak s konstantnim usponom (tablica 3.) [4], veća cijena u odnosu na vijak s konstantnim usponom (slika 10.) [5].

Table 3 Failures for 143 controllable pitch propellers during 1.086×10^6 operating hours

Tablica 3. Kvarovi na 143 vijka s promjenjivim usponom tijekom 1.086×10^6 sati rada

	ukupni broj kvarova	neplanirana dokovanja
spoj krila vijka s glavinom	2	1
mehanizam za prekretanje krila	1	1
sustav vratila	6	4
spremnik ulja	1	
hidraulički sustav, ventili	15	
hidraulički sustav, ostalo	8	
UKUPNO	33	6

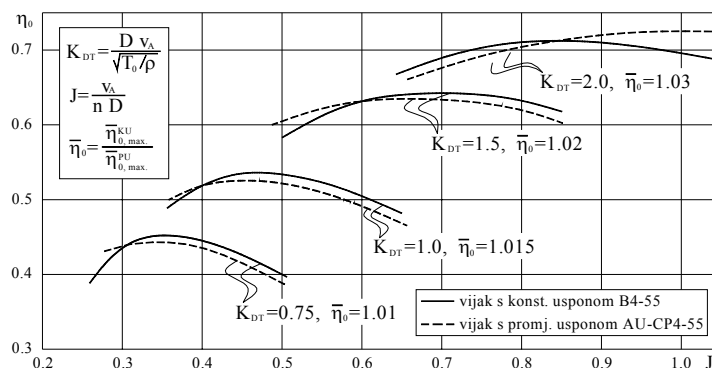


Fig. 7 Comparison of controlable pitch propeller and fixed-blade propeller efficiency in open water

Slika 7. Usporedba stupnjeva korisnog djelovanja u slobodnoj vožnji vijka s promjenjivim usponom i vijka s konstantnim usponom

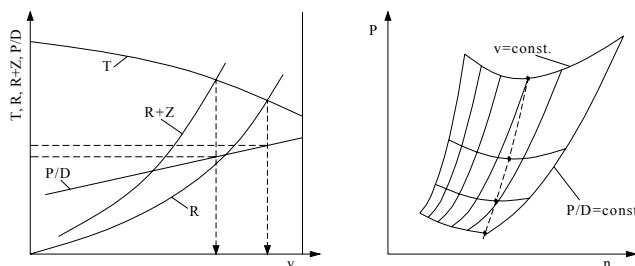


Fig. 8 Controllable pitch propeller thrust curve versus ship's speed and determination of economic working regimes of controllable pitch propeller

Slika 8. Karakteristika sile poriva vijka s promjenjivim usponom i određivanje ekonomičnih režima rada vijka s promjenjivim usponom

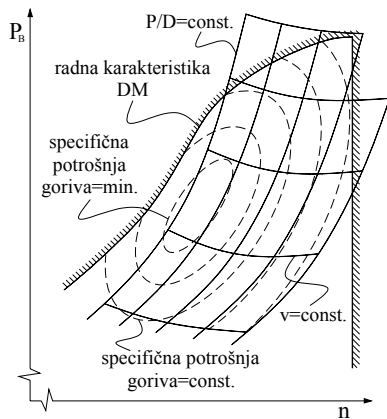


Fig. 9 Controllable pitch propeller characteristic curves superimposed on a diesel engine operating area

Slika 9. Radna karakteristika vijaka s promjenjivim usponom unutar radnog područja dizelskog motora

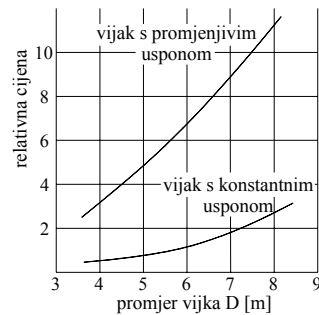


Fig. 10 Aproximate relative price of fixed-blade propellers and controllable pitch propellers

Slika 10. Usporedba relativnih cijena vijaka

4.3. Sustav vijka i sapnice

Smještanje vijka u sapnicu, bilo da se radi o vijku s konstantnim usponom ili vijku s promjenjivim usponom, danas je gotovo uobičajena praksa na suvremenim ribarskim brodovima. Razlog tome je povećani stupanj korisnosti propulzora pri velikim opterećenjima brodskog vijka prilikom kočarenja.

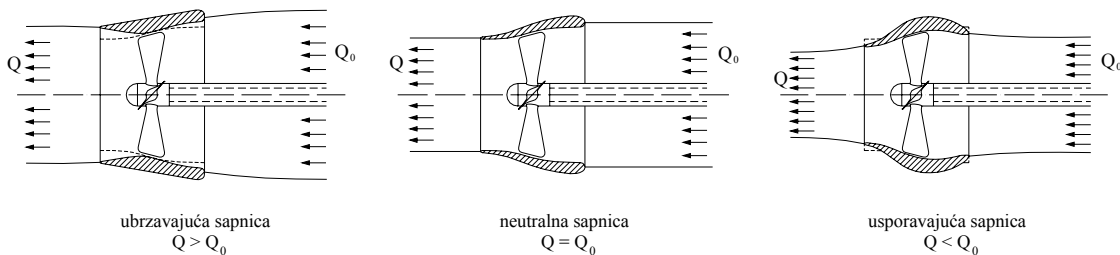


Fig. 11 Types of nozzles

Slika 11. Vrste sapnica

Postoji mnogo vrsta sapnica, a one se dijele s obzirom na to da li njihov oblik povećava protok kroz sapnicu (ubrzavajuće), smanjuje protok kroz sapnicu (usporavajuće) ili je protok nepromijenjen (neutralne). Ubrzavajuće sapnice koriste se za povećanje stupnja korisnosti vijka pri velikim opterećenjima vijka broda, dok se usporavajuće sapnice koriste u slučajevima kada je od primarne važnosti izbjegavanje pojave kavitacije. Vrste sapnica su prikazane na slici 11. [6].

Nizozemska tvornica brodskih vijaka LIPS, svojedobno je napravila analizu promjene vučne sile u ovisnosti o brzini broda za krmeni kočar duljine između okomica 21 m, i snage stroja 368 kW pri 375 min⁻¹, i to za dvije vrste propulzora; vijak konstantnim usponom bez sapnice i vijak s konstantnim usponom u sapnici. Rezultati te analize prikazani su u tablici 4. [7], i jasno ukazuju na prednosti smještanja vijka u sapnicu. Također, vidljivo je i odstupanje vrijednosti vučnih sila u ovisnosti o tome za koji je režim plovidbe vijak projektiran. O tome je bilo riječi u prethodnim poglavljima, a i ovaj primjer ukazuje na nužnost instaliranja vijka s promjenjivim usponom na ribarskim brodovima kako bi se izbjegla ta odstupanja.

Table 4 Towing forces of fixed-blade propeller, open and in nozzle**Tablica 4.** Vučne sile vijka s konstantnim usponom, u sapnici i bez sapnice

optimalni vijak projektiran za:		vučna sila				brzina u slobodnoj vožnji	
		na stupu		kod 4 čv			
		[kN]	%	[kN]	%	[čv]	%
slobodnu vožnju	bez sapnice	50	64.1	46	72.3	13.4	100
	u sapnici	71	91.2	60	93.8	13.3	99.3
tegljenje sa 4 čvora	bez sapnice	57	72.9	53	83.1	12.2	91.0
	u sapnici	77	98.7	64	100	12.4	92.5
silu na stupu	bez sapnice	59	75.5	45	70.7	11.0	82.1
	u sapnici	78	100	59	92.3	11.8	88.0

U tablici 5. [8] dani su podaci vučnih sila na stupu za konkretne vijke s promjenjivim usponom sa i bez sapnice i pogonske motore koji pokreću te vijke.

Ostale dobre strane ugradnje sapnice su smanjenje buke pri radu vijka, smanjenje vibracija, zaštita vijka od mehaničkih oštećenja.

Loša strana ugradnje sapnice je povećanje otpora broda pri plovidbi većim brzinama.

Table 5 Bollard pulls of some combination of controllable pitch propellers, open and in nozzle, and diesel engines**Tablica 5.** Vučne sile mjerene na stupu za različite izvedbe vijaka s promjenjivim usponom sa i bez sapnice, i pogonskih motora koji ih pokreću

DIZELSKI MOTOR				VIJAK S PROMJENJIVIM USPONOM			
proizvođač	model	broj okretaja u minuti	snaga [kW]	otvoreni		u sapnici	
				promjer [m]	sila na stupu [kN]	promjer [m]	sila na stupu [kN]
VOLVO	D25AMS	1600	440	1.94	73	1.75	92
VOLVO	D49AMS	1600	880	3.02	156	2.67	195
CATERPILLAR	2412C	1800	375	1.67	59	1.51	75
CATERPILLAR	3508B	1800	476	2.5	123	2.26	155
CUMMINS	KTA19-M3	1800	440	1.89	72	1.71	91
CUMMINS	KTA38-M2	1800	880	2.8	148	2.5	186

5. Primjer odabira porivnog sustava ribarskog broda i određivanje ukupnog stupnja korisnog djelovanja za odabrane sustave

U [5] je dan primjer približnog određivanja sile otpora ribarskog broda i potrebne snage pogonskog motora P_B potrebne za poriv tog broda. Taj primjer poslužit će da se ilustrira sve ono što je rečeno u prethodnim poglavljima.

Glavni parametri trupa broda su:

$$L_{PP} = 29.1 \text{ m, duljina broda između okomica,}$$

$$B = 7.15 \text{ m, širina broda,}$$

$$T = 3.00 \text{ m, gaz broda}$$

$$V = 295 \text{ m}^3, \text{ volumen istisnine.}$$

Rezultati proračuna, koji je detaljno objašnjen u [5], su prikazani u tablici 6.

Table 6 Results from resistance calculation for fishing boat**Tablica 6.** Rezultati približnog proračuna sile otpora ribarskog broda

v [m/s]	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
R [kN]	2.9	4.2	6.0	8.3	12.0	20.1	33.1	47.5	73.2	129.2

Uz pretpostavljene koeficijente $\eta_H = 1.00$, ($w = 0.17$, $t = 0.17$), $\eta_R = 0.99$, $\eta_S = 0.98$, i uz brzinu plovidbe broda $v = 6.19$ m/s = 12 čv ($v_A = 5.144$ m/s = 10 čv), pri čemu je sila otpora broda $R = 57.3$ kN, mogu se iz dijagrama pod a), na slici 4., odrediti sljedeći parametri vijka s konstantnim usponom:

$$D = 2.2 \text{ m}; n = 240 \text{ min}^{-1}; A_E/A_0 = 0.5; P/D = 0.93; T_0/P_D = 121 \text{ N/kW}.$$

Iz gornjih vrijednosti, prema izrazima iz 2. poglavlja, lako se izračuna da je $P_D = 576$ kW i $P_B = 588$ kW. Na osnovu dobivenih vrijednosti odabire se pogonski dizelski motor MAN D 2842 LE 412 s glavnim parametrima:

$P_{MCR} = 588$ kW, maksimalna trajna snaga dizelskog motora,

$n_{MCR} = 1800 \text{ min}^{-1}$, brzina vrtnje motora pri P_{MCR} ,

$B_{MCR} = 212$ g/kWh, specifična potrošnja goriva pri P_{MCR} .

Za odabrani porivni sustav ribarskog broda ukupni stupanj korisnog djelovanja je, prema (2):

$$\eta_T = \eta_I \eta_M \eta_S \eta_0 \eta_R \eta_H = \frac{P_{MCR}}{B_{MCR} H_d} \eta_S \frac{T_0 v_A}{P_D} \eta_R \eta_H = 0.144$$

Istu silu poriva T_0 moguće je dobiti i s vijkom manjeg promjera ukoliko se on smjesti u sapnicu. U tom slučaju, uz isti pogonski motor MAN D 2842 LE 412, iz dijagrama pod b) na slici 4., dobiju se sljedeći parametri vijka u sapnici:

$$D = 1.8 \text{ m}; n = 300 \text{ min}^{-1}; A_E/A_0 = 0.6; P/D = 1.12; T_0/P_D = 121 \text{ N/kW}.$$

Odabrani porivni sustav s vijkom u sapnici ima isti ukupni stupanj korisnog djelovanja kao i prethodni porivni sustav bez sapnice, jer su T_0/P_D , η_H , η_R , η_S , jednaki u oba slučaja.

Kada bi vijak u sapnici imao jednaki promjer kao i vijak bez sapnice, uz isti pogonski motor MAN D 2842 LE 412, iz dijagrama pod b), na slici 4., dobiju se sljedeći parametri vijka u sapnici:

$$D = 2.2 \text{ m}; n = 215 \text{ min}^{-1}; A_E/A_0 = 0.5; P/D = 1.2; T_0/P_D = 126 \text{ N/kW}.$$

Ukupni stupanj korisnog djelovanja porivnog sustava je:

$$\eta_T = 0.15.$$

Veći iznos T_0/P_D uzrokuje i veću brzinu plovidbe. Tada je $v_A > 10$ čv, pa podaci očitani iz dijagrama pod b), na slici 4., nisu u potpunosti točni, pa nije u potpunosti točan ni gore dobiveni iznos ukupnog stupnja korisnog djelovanja. Međutim, ti podaci su u dovoljnoj mjeri točni, da ilustriraju ono što je rečeno u prethodnim poglavljima, tj. da upotreba vijka u sapnici, u odnosu na vijak bez sapnice, podrazumijeva veći ukupni stupanj korisnog djelovanja porivnog sustava. To vrijedi do one brzine plovidbe do koje otpor sapnice još uvijek nije toliki da poništava pozitivni učinak sapnice na propulziju.

Ukoliko se umjesto vijka s konstantnim usponom, upotrijebi vijak s promjenjivim usponom, može se prema slici 7. pretpostaviti da će ukupni stupanj korisnog djelovanja porivnog sustava pri plovidbi broda brzinom $v = 12$ čv, biti približno u granicama 0.139 – 0.141.

Gornji rezultati jasno pokazuju da je vijak s konstantnim usponom smješten u sapnicu najbolje rješenje sa stajališta ukupnog stupnja korisnog djelovanja. Međutim, to vrijedi samo za onaj režim plovidbe za koji je proveden proračun. Kako je već istaknuto ribarski brod plovi u nekoliko tipičnih režima. Ukoliko je vijak s konstantnim usponom, u sapnici ili bez,

odabran prema jednom od tih režima plovidbe, ni u jednom drugom režimu ne može maksimalno iskoristiti raspoloživu snagu motora. To ilustrira sljedeći primjer.

Ribarski brod, pri nekom manevru, plovi nekom brzinom manjom od nominalne, pri čemu je pretpostavljena maksimalna snaga P_B koju proizvodi motor MAN D 2842 LE 412, $P_B = 300$ kW, pri čemu je, prema podacima proizvođača, $n = 940 \text{ min}^{-1}$ i $B = 218 \text{ g/kWh}$, uz jednaki prijenosni omjer kao i u gore opisanom slučaju pri P_{MCR} , snaga poriva koju proizvodi gore spomenuti vijak s konstantnim usponom, poznatih parametara, može se izračunati ukoliko se radna karakteristika vijka aproksimira s kubnom parabolom. Tada je, uz $(P_{0_1} / P_{0_2}) = (n_1^3 / n_2^3)$, snaga poriva koju proizvodi vijak $P_0 = 50$ kW, a snaga koju je motor predao osovini je $P_B = 83$ kW. Dakle, od raspoloživih 300 kW pri 940 min^{-1} , vijak s konstantnim usponom je u stanju iskoristiti samo 83 kW.

Upotreba vijka s promjenjivim usponom omogućuje da se u svakom režimu plovidbe maksimalno iskoristi raspoloživa snaga pogonskog dizelskog motora. Također, kako pokazuju slika 8. i slika 9., moguće je kombiniranjem uspona vijka i brzine vrtnje vijka, odabrati upravo onu kombinaciju koja će rezultirati najvećim ukupnim stupnjem korisnog djelovanja. Smještanjem vijka s promjenjivim usponom u sapnicu moguće je postići dodatna poboljšanja (tablica 5).

6. Zaključak

Pokazano je da je upotreba vijka s promjenjivim usponom u kombinaciji s brzohodnim dizelskim motorom, najpovoljnije rješenje sa stajališta ukupnog stupnja korisnosti porivnih sustava suvremenih ribarskih brodova. Smještanjem vijka s promjenjivim usponom u sapnicu mogu se postići dodatna poboljšanja, ali treba voditi računa o tome da sapnica svojim oblikom utječe na znatno povećanje otpora broda prilikom plovidbe većim brzinama.

LITERATURA

- [1] Alkan, A.D., The Turkish Fishing Fleet; Technical Features and Design Evaluations, Brodogradnja 52(1)2004, pp. 21-29.
- [2] MAN – Schiffsdieselmotoren Einbauanleitung, katalog proizvođača.
- [3] Vojtkunski, J.I., Spravočnik po Teorij Korablja, Sudostroenie, Leningrad, 1984.
- [4] Brownlie, K., Lönngren, S.F., Controllable Pitch Propellers for Future Naval Ships, INEC 94 Cost Effective Maritime Defence, The Institute of Marine Engineers, 1994, pp. 227-235.
- [5] Haarvald, Sv. Aa., Resistance and Propulsion of Ships, John Wiley & Sons, 1983.
- [6] Carlton, J.S., Marine Propellers and Propulsion, Butterworth Heinemann, 1994.
- [7] Grubiša, O., Tipovi brodova za ribolov na Jadranu, Morsko ribarstvo (4)1979, pp. 111-117.
- [8] MEKANORD, katalog proizvođača.