Provjera dimenzija i čvrstoće brodskog vijka prema pravilima IACS klasifikacijskih društava

Šuljić, Ivor

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:902620

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository - Faculty of Maritime Studies - Split - Repository - Faculty of Maritime Studies Split for permanent storage and preservation of digital resources of the institution

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET

IVOR ŠULJIĆ

PROVJERA ČVRSTOĆE BRODSKOG VIJKA PREMA PRAVILIMA KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA

DIPLOMSKI RAD

Split ,2018.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET

BRODOSTROJARSTVO

PROVJERA ČVRSTOĆE BRODSKOG VIJKA PREMA PRAVILIMA KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

prof. dr.sc. Nenad Vulić

Student:

Ivor Šuljić

Split, 2018.

SAŽETAK

U brodskom propulzijskom sustavu brodski vijak obavlja temeljnu funkciju: pretvorbu okretnog momenta, kojega proizvede brodski pogonski stroj, u porivnu silu. Osim što je brodski vijak jedan od najbitnijih dijelova brodskog propulzijskog sustava, također se njegova važnost ističe i u utjecaju na funkcionalnost rada brodskog motora. Brodski vijak postaje vrlo važna sigurnosna komponenta broda u slučaju oluja i vremenskih nepogoda. Zbog toga razloga sva međunarodno priznata klasifikacijska društva koja su okupljena u Međunarodno udruženje klasifikacijskih društva (IACS) propisuju potrebne zahtjeve za minimalnu čvrstoću brodskog vijka, kao i same procedure za izračun u njihovom pravilniku. Svako klasifikacijsko društvo ima svoj pristup za izračun čvrstoće brodskog vijka, a zajedničko im je modeliranje iste fizičke pojave, a to je ponašanje brodskog vijka u vodenom toku. Cilj ovog rada je usporediti izračune za različite brodske vijke od strane raznih klasifikacijskih društava, fokusirajući se na njihove rezultate koji su provjereni na nekolicini brodskih vijaka koji su izvedeni u praksi, kako bi saznali u kojim iznosima se razlikuju proračuni za čvrstoću brodskog vijka. U radu se pokazalo da, iako modeliraju isti fizikalni sustav, proračuni prema tehničkim pravilima različitih klasifikacijskih zavoda daju s gledišta zahtijevanih debljina pojedinih karakterističnih presjeka krila brodskog vijka bitno različite rezultate.

Ključne riječi: *Čvrstoća brodskog vijka, IACS, klasifikacijska društva*

ABSTRACT

In any ship propulsion system the propeller performs the essential function: transformation of torque, produced by the prime mover, into thrust force. Marine propeller, as an essential part of the ship propulsion system, is the essential component from the functional point of view. The propeller becomes an important safety ship component in case of storm and heavy weather. For this reason all of the world wide recognized marine classification societies gathered in the International Association of Classification Societies (IACS), prescribe the requirements for minimal propeller blade thickness from strength point of view and the procedure for its calculation in their Classification Rules and Guidelines. Each society has it own approach, where all of them are modelling the same physical phenomenon: ship propeller in water stream. The aim of this thesis is to compare the propeller calculation procedures by various IACS calculation societies, focusing on their results validated on a few selected propellers that have been proven in practice, to find out in what amount the different classification societies procedures really provide different calculation results for the thickness of propeller blades. The thesis shows that, though modelling the same physical system, calculations of required blade thickness in order to meet the stress criteria in accordance with various IACS classification societies give significantly different results.

Key words: *Marine propeller strength, IACS, Classification Societies*

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. BRODSKI VIJAK 3

2.1. Brodski vijak s nepromjenljivim usponom 4

2.2. Brodski vijak s upravljivim usponom 5

3. MEĐUNARODNO UDRUŽENJE KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA 8

3.1. Proračun debljine krila brodskog vijka prema pravilima Hvatskog registra brodova 11

3.2. Germanischer Lloyd 15

3.3. Lloyd's Register of Shipping 15

3.4. Registro Italiano Navale 16

3.5. China classification society ship register 17

3.6. Korean Register of Shipping 17

3.7. Russian Maritime Register of Shipping 18

3.8. Polish Register of Shipping 18

3.9. Indian Register of Shipping 19

3.10.Nippon Kaiji Kyokai (Class NK) 19

3.11.Bureau Veritas 20

3.12.American Bureau of Shipping 21

4. MICROSOFT EXCEL I VISUAL BASIC ZA APLIKACIJE (VBA) 22

4.1. Općenito o Microsoft Excel-u 22

4.2. Visual Basic za aplikacije (VBA) u Excel-u 22

4.3. Opis računalnog programa 23

5. REZULTATI 29

5.1. Verifikacijski primjeri 29

5.2. Validacijski primjer 32

6. ZAKLJUČAK 35

LITERATURA 37

POPIS SLIKA 39

POPIS TABLICA 40

POPIS KRATICA 41

PRILOG A: Prikaz rezultata proračuna za m/b "Karlovac" 42

PRILOG B: Prikaz rezultata proračuna za m/b "Kastav" 55

PRILOG C: Prikaz rezultata proračuna za m/b "Pojišan" 68

1. UVOD

Ovaj rad se bavi provjerom čvrstoće brodskog vijka prema različitim klasifikacijskim društvima koji su članovi IACS-a .

Cilj rada je provjeriti ima li smisla potaknuti klasifikacijska društva članove IACS-a na unificiranje proračuna čvrstoće krila brodskog vijka, s obzirom na moguće razlike zahtijevanih debljina pojedinih karakterističnih presjeka krila brodskog vijka, kako bi se udovoljilo kriterijima čvrstoće.

Zadatak rada je provjeriti čvrstoću brodskog vijka prema različitim klasifikacijskim društvima na nekoliko praktičnih primjera brodskih vijaka za strane brodove, koji su već dulje vrijeme u službi, kao verifikacijskim i validacijskim primjerima. Rezultati će na kraju moguće biti međusobno različiti, iako se njima modelira identičan fizikalni sustav, a to je brodski vijak u struji fluida, što će svakako predstavljati zamjerku IACS-ovom pristupu prema kojemu svako klasifikacijsko društvo propisuje svoje zahtjeve za debljinu krila.

Na početku rada govori se o samom brodskom vijku i najčešće korištenom materijalu za izradu vijka. Nadalje se opisuje funkcija vijka i njegovi različiti konstrukcijski oblici s obzirom na karakter uspona, kao i o prednostima i nedostacima pojedinih konstrukcijskih oblika. Valja razlikovati brodske vijke s upravljivim i nepromjenljivim usponom. Na kraju ove cjeline opisuje se utjecaj i pojedine vrste sila koje se javljaju na krilu brodskog vijka.

U nastavku rada se govori o međunarodnim udrugama klasifikacijskih društava, a potom i o programu potrebnom za izračun debljina krila brodskog vijka prema pojedinim IACS klasifikacijskim društvima izrađenom u Microsoft Excel-u uz primjenu Visual Basic for Applications (VBA). Međunarodno udruženje klasifikacijskih društava (International Association of Classification Societies, IACS) je sustav koji promovira sigurnost života na moru, kao i imovine i okoliša prvenstveno uspostavljanjem i provjerom usklađenosti s tehničkim i inženjerskim standardima za projektiranje, izgradnju i održavanje životnog ciklusa brodova, pomorskih jedinica i drugih pomorskih objekata. Stoga je vrlo bitno ocijeniti što pojedine članice IACS udruženja propisuju za tako bitan element brodskoga propulzijskog sustava, kao što je brodski vijak.

Nadalje, obrađuje se Excel i posebna verziju Visual Basic-a koju je Microsoft nazvao Visual Basic for Applications - VBA (Visual Basic za aplikacije), kako bi se objasnile neke

od temeljnih Excel/VBA funkcija i naredbi korištenih pri izradbi računalnog programa. Koristeći osnovne funkcije u Excelu, a i Visual Basic-u za aplikacije dolazimo do potrebnog izračuna za čvrstoću brodskog vijka.

Nakon toga slijedi opis računalnog programa. Kao primjer uzet je proračun kojega propisuje Hrvatski registar brodova (HRB), koji je detaljnije prikaza , kao i formule iz tehničkih pravila HRB-a za čvrstoću krila brodskog vijka. Također je u najosnovnijim crtama prikazan postupak proračuna prema ostalim klasifikacijskim društvima (osim Det Norske Veritas-a, uz objašnjenje zašto je on izostavljen).

Posljednji dio rada se odnosi na rezultate i usporedbu dobivenih rezultata za tri različita broda. Kao verifikacijski primjeri poslužili su brodski vijci jednoga velikog tankera za ulje i kemikalije s dvostrukom oplatom, kao i jednoga manjega javnog broda. Budući su brodovi već dugo u službi oba su se ova primjera mogla proglasiti validacijskim, ali je ipak kao zaseban validacijski primjer uzet dobro poznati manji putnički brod izrađen davne 1956. god. na kojemu nikad nije bilo potrebe izmijeniti brodski vijak. Provjeravalo se je li krilo brodskog vijka predimenzionirano ili poddimenzionirano prema pojedinom klasifikacijskom društvu, kao i udovoljava li zadani brodski vijak današnjim tehničkim pravilima određenog klasifikacijskog društva.

U zaključku je ukratko prikazan osvrt na sve što se obradilo u radu. Naime, zaključak daje odgovor na temeljno pitanje postoje li razlike u proračunskim rezultatima prema različitim društvima, ali ne i na čemu se doista temelje takve razlike. U zaključku je obrazloženo i zašto je jedno klasifikacijsko društvo moralo biti izostavljeno iz razmatranja, a također i preporuke što bi još trebalo učiniti kako bi se potaklo članice IACS-a na raspravu u smjeru ujednačavanja kriterija za debljinu krila brodskog vijka s gledišta čvrstoće.

Na kraju je popis literature koja se koristila pri izradi ovog rada, a koja uglavnom obuhvaća tehnička pravila klasifikacijskih zavoda koja propisuju postupak proračuna potrebnih debljina krila brodskog vijka. Prilozi sadrže detaljne rezultate proračuna za svaki od tri broda koji su uzeti kao verifikacijski i validacijski primjeri.

2. BRODSKI VIJAK

Vijak je na suvremenim brodovima najraširenij tip brodskog propulzora i gotovo jedino sredstvo poriva. Mehaničku energiju potrebnu za poriv broda proizvodi pogonski motor iz kemijske energije sadržane u gorivu. Motor preko vratila prenosi snagu na propulzor. Propulzor (brodski vijak) se okreće u vodi i snagu brodskog stroja, pri odgovarajućoj brzini vrtnje, pretvara u gibanje, tj.ostvaruje poriv.

Veliki brodski vijci s nepromjenljivim usponom izrađuju se tako da se lijevaju u kalup i kao takav se kasnije postavljaju na pripadajuće vratilo brodskog vijka. Osim što mora imati savršeno izrađenu liniju glavine, također moraju biti i ispravno obrađena sama krila brodskog vijka. Brodski vijak mora imati mogućnost vrtnje u vodi te mu dio opterećenja koje se može smanjiti treba biti smanjeno na minimum. Veliki propeler mogu težiti i do čak 140 000kg. [8]

Većina brodskih vijaka za brodove se izrađuje od različitih slitina metala. Za ograničeno područje nacionalne plovidbe, jahte, te za male brodove još se koriste materijali kao što je lijevano željezo, slitine aluminija, nehrđajući čelik, te različiti sintetski proizvodi.

Od velike važnosti je sama preciznost izrade glave te površine krila brodskog vijka. To je potrebno da se osiguraju optimalne operacije, kao i sprječavanje pojave određenih vibracija koje mogu imati negativan učinak na propulziju broda.

Osnovne značajke materijala potrebnog za izradu brodskog vijka[8]:

- nehrđajući
- čvrst
- lako se lijeva
- lako obradiv

Najpoznatija legura za izradu brodskog vijka je tzv.: „*CuNiAl*“, odnosno slitina nastala slijevanjem bakra, nikla te aluminija, poznata pod uobičajenim nazivom aluminijska bronca.

Tablica 1. Mehanička svojstva „*CuNiAl*“ materijala [8]

Mehanička svojstva “*CuNiAl*“ materijala	
Gustoća	7650 kg/m^3
Youngov modul elastičnosti (na 20ºC)	121000 N/mm^2
Poissonov koeficijent	0,33
Vlačna čvrstoća, min.	650N/mm^2
Granica tečenja, min.	250 N/mm^2
Relativno produljenje, min.	18%
Koeficijent temperaturnog širenja	$16 \cdot 10^{-6} K^{-1}$

Osnovni konstrukcijski oblici brodskih vijaka odnosi se na:

- brodski vijak s nepromjenljivim usponom (**FPP**– **F**ixed **P**itch **P**ropeller)
- brodski vijak s upravljivim usponom (**CPP**– **C**ontrollable **P**itch **P**ropeller)

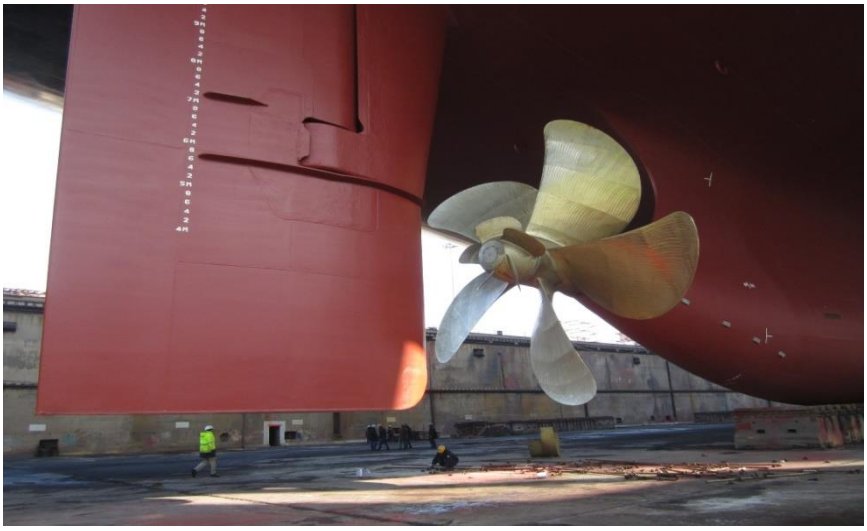
2.1. Brodski vijak s nepromjenljivim usponom

Prednosti:[8]

- jednostavnost i cijena
- veoma čvrst
- velika efikasnost s obzirom na malu glavinu

Nedostaci:[8]

- brodski vijak mora imati mogućnost vrtnje u oba smjera
- za vrijeme velikih nevremena propeler može biti znatno više opterećen



Slika 1. Brodski vijak s nepromjenljivim usponom[16]

Najčešće se koriste kod velikih dvotaktnih sporokretnih brodskih motora, ali i kod manjih brodova s četverotaktnim srednjekretnim i brzokretnim motorima. U prvu skupinu spadaju brodovi kao što su kontejnerski brodovi, brodovi za prijevoz rasutog tereta i tankeri za prijevoz ulja. Ovaj tipovi brodskih vijaka se obično lijevaju kao jednodijelni zajedno s glavinom i izrađuju se od bakrenih slitina (aluminijske bronce ili manganske bronce).

Kutni položaj krila i uspon brodskog vijka uvijek su fiksni i ne mogu se mijenjati tijekom rada. Stoga kad brodski vijak radi u teškim uvjetima plovidbe, npr. u nevremenu, može zbog promjene u krivulji otpora plovidbe doći do nepotpunog iskorištenja raspoložive snage motora. [8]

2.2. Brodski vijak s upravljivim usponom

Krila brodskog vijka se mogu modificirati u fazama tako da se vrte u jednakom smjeru rotacije brodskog vijka, te mogu biti upravljane od plovidbe punom snagom naprijed (“fullahead“), preko neutralnog položaja krila („nule“) do plovidbe punom snagom natrag (“fullastern“).

Prednosti koje posjeduje brodski vijak sa upravljivim usponom. [8]

- omogućava brzo manevriranje
- postiže sve brzine bez da je potrebno prethodno zaustaviti motor
- povećava stupanj djelovanja kod brodova kojima se opterećenje značajnije mijenja.
- s pravim smanjenjem prijenosa brzina motora se može smanjiti na brzinu brodskog vijka koja omogućuje najveću djelotvornost i efikasnost
- mogućnost podvodne zamjene oštećenog brodskog vijka, ako je potrebno

Nedostaci koji se javljaju kod navedenih brodskih vijaka. [8]

- djelotvornost brodskog vijka je manje nego kod brodskog vijka s nepromjenljivim usponom zbog povećane glavine vijka
- veća mogućnost oštećenja od raznih objekata pod vodom
- 3-4 puta skuplji od brodskog vijka s nepromjenljivim usponom
- hidraulički sustav nije dovoljno pouzdan te može zakazati.



Slika 2. Primjer brodskog vijka sa upravljivim usponom[16]

Najčešće se koriste kod velikih četverotaktnih dizelskih motora s većom snagom.

Brodski vijci se izrađuju prema potrebama kupaca, odnosno u ovisnosti o samome brodu.

Ostvaruje dodatni stupanj slobode zbog mogućnosti promjena uspona krila s ciljem promjene brzine broda ili smjera plovidbe broda. Plovidba natrag ostvaruje se prekretanjem krila pomoću hidrauličkog servouređaja ugrađenog u glavini vijka.

Materijal kojim se izrađuju ovakvi tipovi vijaka su obično izrađeni od aluminijske bronce legirane s niklom ili nehrđajućeg čeličnog lijeva s kromom i niklom.

Svako klasifikacijsko društvo sadrži vlastiti izračun za čvrstoću brodskog vijka. Provjera čvrstoće prema različitim klasifikacijskim društvima, koja su članovi IACS-a, zahtijeva različite ulazne veličine. Dobiveni rezultati biti će različiti iako se radi o istom modelu brodskog vijka.

Sila poriva jedina je korisna sila koju stvara brodski vijak. Sve su ostale komponente zapravo parazitske, ali i neizbježne. Po snazi je najveći efekt porivne sile i čini oko 95% energije koju proizvodi vijak. Djeluje u smjeru osi vijka i ostvaruje vožnju broda. Na vijak osim poriva djeluju i ostale sile koje djeluju negativno na sam brodski vijak, u koje spadaju: [8]

- sila zapljuskivanja kormila
- sila otpora u plovidbi naprijed
- sila zapljuskivanja krme
- sila otpora u vožnji nazad

Brodski vijak je u mirnoj plovidbi čista funkcionalna komponenta, dok u nevremenu on može postati sigurnosna komponenta. Stoga sva klasifikacijska društva propisuju različita pravila kojima debljine presjeka krila brodskoga vijka moraju udovoljiti kako bi brod mogao dobiti Svjedodžbu o klasi i Svjedodžbu o sigurnosti konstrukcija, a samim time i mogućnost plovidbe i poslovanja.[8]

3. MEĐUNARODNO UDRUŽENJE KLASIFIKACIJSKIH DRUŠTAVA

Međunarodno udruženje klasifikacijskih društava (International Association of Classification Societies - IACS) je nevladina organizacija koja se sastoji od 12 članova, pomorskih klasifikacijskih društava. Više od 90% svjetskog prometa brodske tonaže pokriveno je klasifikacijskim standardima koje postavljaju članovi IACS-a. [6]

Međunarodno udruženje klasifikacijskih društava je sustav koji promovira sigurnosti života na moru, kao i imovine i okoliša prvenstveno uspostavljanjem i provjerom usklađenosti s tehničkim i inženjerskim standardima za projektiranje, izgradnju i održavanje životnog ciklusa brodova, pomorskih jedinica i drugih pomorskih objekata . Ti su standardi sadržani u tehničkim pravilima koje je utvrdilo svako klasifikacijsko društvo.

IACS osigurava forum unutar kojeg članovi mogu raspravljati, istraživati i usvojiti tehničke kriterije koji poboljšavaju sigurnost na moru. [16]

Klasifikacijska društva postavljaju tehnička pravila na temelju iskustava i istraživanja, potvrđuju da nacrti i proračuni udovoljavaju tim pravilima, te prate stanje broda tijekom procesa izgradnje i za vrijeme puštanja u pogon. Također periodički pregledavaju plovilo kako bi se osiguralo da brod i dalje zadovoljava pravila. Nadzorna tijela klasifikacijskih društava pregledavaju brodove kako bi osigurali da brod, njegovi dijelovi i strojni kompleksi su rađeni i održavaju se prema standardima potrebnim za njihovu klasu. [16]

Nastanak klasifikacijskih društava datira od druge polovice 18. stoljeća i veže se za osnivanje osiguravajućeg društva u kavani Edwarda Lloyda otvorenoj 1691. godine u ulici Lombard Street u Londonu. Vlasnik kavane Edward Lloyd je svojoj stalnoj klijenteli koju su činili osiguratelji, trgovci, brodovlasnici i brodski kapetani, prikupljao i dostavljao pisana izvješća o stanju i događajima na pomorskom tržištu Velike Britanije, koje su potonji proučavali i dogovarali poslove vezane za prijevoz robe brodovima te osiguranje istih po putovanjima.[16]

Udruženi pomorski osiguravatelji bi s brodovlasnicima i trgovcima potpisivali dokument o osiguranju broda i tereta za određeno putovanje. Taj vid osiguranja u pomorskom prijevozu robe je u to vrijeme postala uobičajena praksa prilikom zaključivanja ugovora o prijevozu. Nije trebalo dugo da osiguravatelji shvate da se prilikom potpisivanja dokumenta o osiguranju i definiranju visine premije osiguranja mora uzeti u obzir i cjelovito stanje broda s aspekta kvalitete i pouzdanosti to više što su i trgovci zahtijevali uvjerenje o standardu brodova

kojima su se prevozili njihovi tereti. Stoga su 1760. godine zajednički osnovali društvo pod imenom Lloyd's Register nazvano po imenu vlasnika kavane. Lloyd's Register razvijao sustav za preglede stanja trupa i opreme brodova koje je trebalo osigurati s ciljem da trgovcima i osiguravateljima pribavi pisana izvješća o kvaliteti njihovih brodova.[16]



Slika 3. Oznake logotipa nekih važnijih klasifikacijskih društava[16]

Društvo je formiralo Odbor čiji zadatak je bio prikupljanje izvješća o pregledu stanja brodova i opreme te objave istih u knjizi registra (upisnika) brodova. Registarska knjiga sadržavala je ocjenu stanja trupa i opreme pregledanih brodova. Stanje trupa broda je obzirom na način gradnje, kvalitete ili eventualnih nedostataka istog klasificirano oznakama A, E, I, O ili U. Oprema broda za razliku od trupa je klasificirana oznakama: G, M ili B (*good, middling* ili *bad*) tj. dobra, srednja ili loša. Nakon toga su klase G, M i B zamijenjene brojčanim oznakama klase 1, 2 i 3 , što je u stvari i preteča današnjih oznaka klase „A1“ što znači prvi ili najviši razred. Osim pridodane odgovarajuće klase u sadržaj knjige registra brodova uključivao je prethodno i trenutno ime broda predano abecednim redom u upisniku, broj posade, ime vlasnika broda, broj topova instaliranih na brodu te datum i mjesto kada i gdje je brod građen. Godine 1764. izdana je prva knjiga registra brodova (*RegisterBook*), koja je korištena za razdoblje od 1764-1766 godine. [6]

HRB je od 2011. jedna od 12 organizacija (tvrtki) koje su punopravne članice Međunarodnog udruženja klasifikacijskih društava (IACS). Također, nešto kasnijim postizanjem statusa EU priznate organizacije, između ostalog je omogućeno da statutarnu

certifikaciju brodova hrvatske državne pripadnosti provodi HRB kao nacionalno klasifikacijsko društvo i priznata organizacija.[16]

Hrvatski registar brodova (HRB) je neovisna, neprofitna, prema općem dobru usmjerena javna ustanova koja obavlja djelatnosti u svezi zaštite ljudskih života i imovine na moru, sprečavanja onečišćenja pomorskog okoliša i certifikacije sustava upravljanja kvalitetom.[16]

Članice IACS-asu istodobno i postigle status EU priznatih organizacija. IACS sačinjavaju sljedeća najeminentnija svjetska klasifikacijska društva: [16]

- American Bureau of Shipping (ABS),
- Bureau Veritas (BV),
- China Classification Society (CCS),
- DNV GL Group (ex Det Norske Veritas, DNV i Germanischer Lloyd, GL),
- Korean Register of Shipping (KR),
- Lloyd's Register of Shipping (LR),
- Nippon Kaiji Kyokai (NK),
- Polish Register of Shipping (PRS),
- Registro Italiano Navale (RINA),
- Russian Maritime Register of Shipping (RS),
- Hrvatski registar brodova (HRB),

koja mogu obavljati i poslove statutarne certifikacije, tj. tehničkog nadzora u ime Pomorskih uprava za brodove koji viju zastavu država Europske unije.

Ujedno, brodovi koje certificira Hrvatski registar brodova dobivaju i povoljniji status kod inspekcija lučkih država , jer se smatraju manje rizičnim i rjeđe su predmet inspekcija lučkih vlasti. HRB-u su se otvorile i nove mogućnosti razvoja poslovanja u Europskoj uniji izdavanjem svjedodžbi za brodove država članica, kao i za unaprjeđivanje poslovanja na svjetskoj razini.Time je osigurana opstojnost HRB-a uz povećavanje mogućnosti ostvarivanja propulzivnog razvoja njegove djelatnosti.

Jedno od najistaknutijih klasifikacijskih društava svakako je bio njemački *Germanischer Lloyd* sa sjedištem u Hamburgu. 2013. godine prestaje postojati kao nezavisno društvo nakon spajanja sa norveškim DNV -om (*Det Norske Veritas*), kad je nastao DNV GL.

DNV GL je međunarodno pomorsko klasifikacijsko društvo brodova sa središtem u Oslu. Trenutno imaju oko 13550 zaposlenih sa 350 centara koji rade u preko 100 država diljem

svijeta. DNV GL je najveće klasifikacijsko društvo na svijetu i ima preko 13000 plovila i pokretnih offshore jedinica . Nadziru brodove i pomorske objekte sveukupne bruto tonaže (GT) oko 265,4 milijuna, što predstavlja globalni tržišni udio od oko 21%. Nekih 65% svjetskih offshore cjevovoda projektirano je i ugrađeno prema tehničkim pravilima DNV GL. [19]

Drugo veliko klasifikacijsko društvo koje bi valjalo istaknuti, a ujedno i najstarije, kao prvo na svijetu, je britanski Lloyd¨s Register (LR) koji nadzire preko 100 milijuna bruto tonaže brodova i drugih pomorskih objekata. Lloyd's Register osigurava svjedodžbe i potvrde za brodove, offshore objekte i instalacije na kopnu, kao što su elektrane i željeznička infrastruktura.[16]

Nippon Kaiji Kyokai je japansko klasifikacijsko društvo poznato jos pod nazivom „Class NK“ ili samo „NK“. Ovo klasifikacijsko društvo je osnovano 1899. godine u Tokyu. Do kraja 2007. godine društvo je imalo preko 6500 brodova sa ukupno 152,2 milijuna bruto tonaže, što čini oko 20% globalnog tržišnog udjela. Danas Nippon Kaiji Kyokaiima više od 200 milijuna bruta tonaže.[18]

American Bureau of Shipping (ABS) je jedno od vodećih klasifikacijskih društava u svijetu. Osnovne zadaće ovoga društva su promidžba sigurnosti života na moru, kao i imovine i zaštite prirodnog okoliša. ABS je do kraja 2012. godine bilo drugo najveće klasifikacijsko društvo sa više od 12 000 trgovačkih brodova i brodskih objekata. [17]

Za potrebe ovoga rada prikupljena su pravila svih klasifikacijskih društava članova IACS-a. Kao primjer uzet je proračun krila brodskog vijka za Hrvatski registar brodova (HRB). U daljnjem su tekstu iza toga samo navedene osnovne formule za izračun debljine krila brodskog vijka prema ostalim klasifikacijskim društvima.

3.1. Proračun debljine krila brodskog vijka prema pravilima Hvatskog registra brodova

Debljina presjeka krila (Slika 4.) jednodijelnog brodskog vijka, brodskog vijka s pričvršćenim krilima i brodskog vijka s upravljivim usponom ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu: [14]

$$s = 3{,}67A\sqrt{\frac{k}{z \cdot b} \cdot \frac{P_p}{R'_m \cdot n}} + \frac{c \cdot m \cdot 9{,}81}{R'_m}\left(\frac{D \cdot n}{300}\right)^2 \quad \text{[mm]} \qquad (1)$$

gdje je:

A – koeficijent koji se određuje iz Tablice 2., ovisno o udaljenosti presjeka od središta *r*, i omjera odgovarajućeg uspona i promjera *H/D*, pri čemu se međuvrijednosti, uključivo i vrijednosti prema Tablici, mogu odrediti iz:

A = 235,630127 –89,3916433*r/R* –203,659692·(*r/R*)² +[–167,358511 +157,198164·*r/R* + +60,7248508·(*r/R*)²]·(*H/D*) + (52,732298 –69,0823521·*r/R*)·(*H/D*)²

k – koeficijent iz Tablice 2.;

z – broj krila;

b – širina razvijenog valjkastog presjeka, [m];

P_p – proračunska snaga na vratilu brodskog vijka, [kW];

n – proračunska brzina vrtnje brodskog vijka, [min^{-1}];

R'_m = 0,6 R_m +175 [N/mm²], ali ne više od:
570 N/mm² – za krila od čelika,
608 N/mm² – za krila od obojenih metala;

R_m – vlačna čvrstoća materijala krila, [N/mm²];

c – koeficijent naprezanja uslijed centrifugalnih sila

m – nagib krila , [mm];

D – promjer vijka , [m].

Debljina krila provjerava se za presjek u korijenu krila i za presjek na polumjeru 0,6*R* (vidi Sliku 4.).

Za proračunski presjek krila u korijenu uzima se:

.1 Za jednodijelne brodske vijke:

– presjek na polumjeru 0,2*R*, ako je polumjer glavine <0,2*R*;

– presjek na polumjeru 0,25*R*, ako je polumjer glavine ≥0,2*R*;

.2 Za brodske vijke s pričvršćenim krilima:

– presjek na polumjeru 0,3*R*, pri čemu se koeficijent *A* i *c* uzimaju prema *r* = 0,25*R*;

.3 Za brodske vijke s upravljivim usponom:

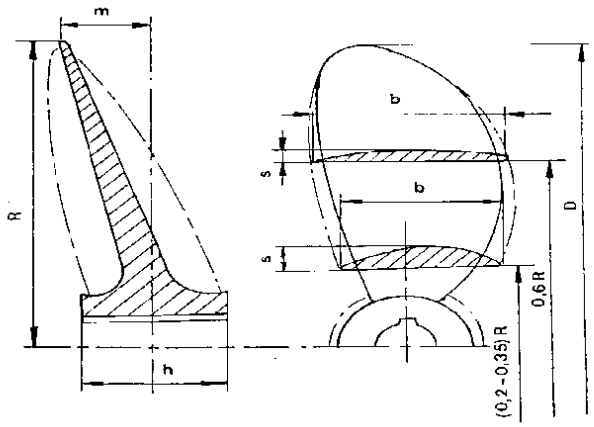
– presjek na polumjeru 0,35*R*.

Napomene:

.4 Za ovakvo određivanje debljine krila ne uzima se u obzir zaobljenje u korijenu krila.

.5 Otvori za pričvrsne elemente brodskog vijka s pričvršćenim krilima ili s upravljivim usponom ne smiju smanjivati proračunski presjek.

.6 Kod brodova područja plovidbe od 2 do 8 (ograničenog područja plovidbe) debljina krila može se smanjiti za 5%.



Slika 4.

Presjek brodskog vijka

Tablica 2.

Veličina koeficijenta *k*

	Vrst broda i materijal brodskog vijka	1D ibez pojačanja za led	1C	1B	1A	1AS
1.	Teretni i putnički:					
	a) Specijalna mjed, ili bronca	7,8	8,5	9,5	10,4	-
	b) Čelični lijev	8,6	9,4	10,5	13	16
2.	Ribarski:					
	a) Specijalna mjed, ili bronca	8,4	9,0	10,2	11,2	-
	b) Čelični lijev	9,2	10,0	11,2	12,2	16
3.	Tegljači:					
	a) Specijalna mjed, ili bronca	8,4	9,0	10,2	11,2	-
	b) Čelični lijev	9,2	10,0	11,2	14	18

pmene:

1. Ako su na brodu ugrađeni motori s brojem cilindara manjim od četiri, vrijednost *k* se uvećava za 7%.
2. Kod postrojenja s motorima koji imaju hidrauličke ili elektromagnetske spojke, vrijednost *k* se može smanjiti za 5%.
3. Za bočne brodske vijke brodova bez pojačanja za led, s kategorijom 1D ili 1C, vrijednost *k* se može smanjiti za 7%

Tablica 3.
Veličina koeficijenta naprezanja od centrifugalnih sila, *c*

r/R =	0,20	0,25	0,35	0,60
c	0,50	0,45	0,30	0,00

Tablica 4.

Veličina koeficijenta *A*

koeficijent *A*, za		*r/R* =			
		0,20	0,25	0,35	0,60
H/D =	0,5	152,6	147,3	134,1	85,9
	0,6	143,5	138,8	126,7	82,0
	0,7	135,2	130,9	120,0	78,4
	0,8	127,7	123,8	113,7	75,0
	0,9	121,0	117,4	108,1	71,8
	1,0	115,0	111,8	103,0	68,8
	1,1	109,9	106,8	98,6	66,0
	1,2	105,5	102,5	94,6	63,5
	1,3	101,8	98,9	91,3	61,2
	1,4	99,0	96,1	88,5	59,1
	1,5	96,9	93,9	86,3	57,3
	1,6	95,6	92,5	84,7	55,7

Napomena:

Kod brodskog vijka s upravljivim usponom *H/D* se uzima u odnosu na osnovni projektirani režim.

3.2.2 Debljina krajnjih rubova krila ne smije biti manja od:

0,0035*D*– za brodove bez pojačanja za led;

0,0050*D*– za brodove s pojačanjem za led kategorije 1AS, 1A, 1B i 1C .

3.2.3 Debljina krila određena u skladu s 3. i 4., u posebnim slučajevima može biti smanjena (npr. kod upotrebe specijalnog profila), uz uvjet da se *Registru* dostavi na odobrenje odgovarajuća dokumentacija s detaljnim proračunom čvrstoće.

3.2.4 Za brodove s pojačanjem za led uvjeti čvrstoće za slučaj loma krila uslijed udarca navedeni su u točki 8.3.3. [14]

Za ostala klasifikacijska društva navedene je glavna formula za izračun čvrstoće brodskog vijka.

3.2. Germanischer Lloyd

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *t*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[4]

$$t \geq K_0 \; k \; K_1 \; C_G \; C_{dyn} \tag{2}$$

gdjeje:

k – koeficijent zadan u tablici u ovisnosti o krilu brodskog vijka

C_G - faktor veličine brodskog vijka

C_{dyn} - faktor naprezanja (dinamički faktor)

Koeficijenti K_0 i K_1 se računaju po sljedećim formulama: [4]

$$K_0 = 1 + \frac{ecosa}{H} + \frac{n_2}{15000} \tag{3}$$

$$K_1 = \sqrt{\frac{P_w 10^5 \; (\; 2 \frac{D}{H} cosa + sina)}{n_2 B z C_w COS^2 \varepsilon}} \tag{4}$$

3.3. Lloyd's Register of Shipping

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *T*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[9]

$$T = \frac{KCA}{EFULN} + \; 100 \sqrt{\frac{3160MP}{EFURLN}} \tag{5}$$

gdje je:

$$K = \; \frac{G \; B \; D^3 R^2}{675} \tag{6}$$

G - gustoća, g/cm^3

U - dopuštena naprezanja, N/mm^2

P - snaga, kW

R - broj okretaja, rpm

D - promjer brodskog vijka, m

P_x - uspon brodskog vijka, m

L_x - širina presjeka krila brodskog vijka, mm

Z - broj krila

A - nagib, mm

Θ - kut nagiba, ° [9]

3.4. Registro Italiano Navale

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa t, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[12]

$$t = 2{,}7 \left[f \frac{1{,}5\ 10^6 \rho\ M_T + 51\ \delta \left(\frac{D}{100}\right)^3 B\ I\ N^2\ h}{I\ z\ R_m} \right]^{0{,}5} \qquad (7)$$

gdje je :

f - faktor u ovisnosti o materijalu

ρ - omjer promjera i uspona (D/H)

M_T - okretni moment, kN

P - snaga, kW

N - brzina okretanja propelera, rev/min

δ - gustoća, kg/dm³

B - omjer proširenog područja

h - nagib, mm

I - širina presjeka krila brodskog vijka, mm

Z - broj krila

R_m - minimalna vlačna čvrstoća, N/mm^2 [12]

3.5. China Classification Society

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *t*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[3]

$$t = \sqrt{\frac{Y}{K-X}} \tag{8}$$

gdje je:

Y - koeficijent snage

K - koeficijent u ovisnosti o materijalu

X - koeficijent brzine [3]

3.6. Korean Register of Shipping

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *t*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[7]

$$t = \sqrt{\frac{0{,}1K_1P}{C_xK_2ZNl_x}} \tag{9}$$

gdje je:

P - snaga, kW

Z - broj krila

N - broj okretaja brodskog vijka, okr/min

C_x - vrijednosti po presjecima izračunate po formuli :

$$C = \frac{actual\ section\ modulus}{l\ t^2} \tag{10}$$

R - promjer, m

Px – uspon krila brodskog vijka, m

Km – vrijednosti zadane tablično

K_1, K_2 – koeficijenti dobiven iz formula [7]

3.7. Russian Maritime Register of Shipping

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *s*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[13]

$$s = 9{,}8\left[a\sqrt{\frac{0{,}14kP}{zb\sigma n}} + c\frac{m}{\sigma}\left(\frac{Dn}{300}\right)^2\right] \quad (11)$$

gdje je:

A - koeficijent koji se određuje po formuli

P - snaga, kW

z - broj krila

b - širina presjeka krila brodskog vijka, m

σ - 0,6 R_m + 175, MPa

n -brzina okretaja, rpm

c - koeficijent centrifugalnih sila

m - nagib, mm

D - radijus propelera, m [13]

3.8. Polish Register of Shipping

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *s*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[11]

$$s = \frac{3{,}65\ k\ A}{\sqrt[3]{\left(0{,}312+\frac{H}{D}\right)^2}}\sqrt{\frac{P}{n\ b\ Z\ M}} \quad (12)$$

gdje je:

k - koeficijent za brodove sa pojačanjem za led

A - koeficijent koji se određuje iz tablice 3.2.2 PRS

P - snaga, kW

n - broj okretaja, rpm

Z - broj krila brodskog vijka

H/D - omjer uspona i promjera

R_m - vlačna čvrstoća, MPa

b - širina presjeka krila brodskog vijka, m [11]

3.9. Indian Register of Shipping

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *t*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[5]

$$t = 1055\sqrt{\frac{AP}{C_n CRN} + \frac{2{,}5BKC_S}{CC_S}} \quad (13)$$

gdje je:

A, B, C - koeficijenti koji se određuju po formulama IRS - a

P - snaga, kW

C_X- širina presjeka krila brodskog vijka, m

R - broj okretaja, rpm

N - broj krila brodskog vijka

K - nagib, mm

P_x - uspon krila, mm [5]

3.10. Nippon Kaiji Kyokai (Class NK)

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *t*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[10]

$$t = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}\frac{H}{ZN_0 l}SW} \quad (14)$$

gdje je:

K_1, K_2 - koristeći dolje naveden formule:

$$K_1 = \frac{30{,}3}{\sqrt{1+k1\,(\frac{P}{D})}}\,(k2\,\frac{P}{D} + k3\,\frac{P}{D}) \quad (15)$$

$$K_2 = K - \left(K4 \frac{E}{t} + k5 \right) \frac{D^2 N^2}{1000} \quad (16)$$

H - izlazna snage stroja, kW

N - broj krila

l - širina presjeka krila brodskog vijka, cm

D - promjer, m

P - uspon krila, m

E - nagib na vrhu krila, cm

t - debljina krila na određenom presjeku, cm

k_1 , k_2 ,k_3 ,k_4 ,k_5 - vrijednosti poprimaju iz tablice D 7.1 [10]

3.11. Bureau Veritas

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *t*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[2]

$$t = 2{,}7 \left[f \frac{1{,}5\ 10^6 \rho\ M_T + 51\ \delta \left(\frac{D}{100} \right)^3 B\ I\ N^2\ h}{I\ z\ R_m} \right]^{0,5} \quad (17)$$

gdje je:

f - faktor u ovisnosti o materijalu

ρ - omjer promjera i uspona (D/H)

M_T- okretni moment, kN

P - snaga, kW

N - brzina okretanja propelera, rev/min

δ - gustoća, kg/dm³

B - omjer proširenog područja

h - nagib, mm

I - širina presjeka krila brodskog vijka, mm

Z - broj krila

R_m - minimalna vlačna čvrstoća, N/mm^2[2]

3.12. American Bureau of Shipping

Debljina presjeka krila brodskog vijka označava se sa *t*, i ne smije biti manja od iznosa dobivenog po izrazu:[1]

$$t = S\left[K_1\sqrt{\frac{A\,H}{C_n\,C\,R\,N}} + \left(\frac{C_s}{C_n}\right)\left(\frac{B\,K}{4\,C}\right)\right] \quad (18)$$

gdje je:

a - omjer presjeka površina

a_x - širina presjeka krila brodskog vijka, mm^2

D - promjer brodskog vijka, m

f , *w* - konstante u ovisnosti o materijalu

H - snaga, kW

I_0- moment inercije na određenom presjeku r/R, mm^4

K - nagib, mm

N - broj krila

R - broj okretaja, rpm

S - faktor zadan tablično [1]

A,B,C - određeni formulama :

$$A = 1{,}0 + \frac{6{,}0}{P_{0,7}} + 4{,}3\,P \quad (19)$$

$$B = \left(\frac{4300\,w\,a}{N}\right)\left(\frac{R}{100}\right)\left(\frac{D}{20}\right) \quad (20)$$

$$C = \left(1 + 1{,}5\,P_{0,25}\right)(W\,f - B) \quad (21)$$

Analizirajući navedeni primjer *Hrvatskog registra brodova*, kao i sva ostala klasifikacijska društva, utvrđeno je da su za izračun čvrstoće brodskog vijka najpogodniji programi Microsoft Excel i Visual Basic za aplikacije (VBA).

4. MICROSOFT EXCEL I VISUAL BASIC ZA APLIKACIJE (VBA)

Za izvedbu proračuna čvrstoće brodskog vijka korišten je Microsoft Excel te njegov zasebni dio VBA (Visual Basic za aplikacije).

4.1. Općenito o Microsoft Excel-u

Microsoft Excel je program za proračunske tablice koji je razvijen od strane Microsofta. Zajedno s Wordom i Power Pointom čini sastavni dio programskog paketa Microsoft Office. Microsoft Excel je alat za analizu podataka. Mogućnosti korištenja Excela su brojne, poput organizacije podataka, stvaranja lista ili baze podataka. On sadrži alate za analizu koji omogućuju kreiranje tablica i generiranje grafikona iz podataka u proračunskim tablicama.

Datoteka MS Excela je većini korisnika poznata kao radna knjiga. Svaka radna knjiga sastoji se od jednog ili više radnih listova (*worksheet*). Svaki radni list sastoji se od redaka i stupaca.

Excel je odličan analitički alat za poslovanje. Proračunske tablice se često koriste za pohranu financijskih podataka. Formule i funkcije koje se koriste za ovu vrstu podataka su:

- izvođenje osnovnih matematičkih operacija, kao što su zbrajanje pojedinih stupaca i redaka,
- pronalaženje vrijednosti kao što su dobit ili gubitak,
- izračun otplatnih planova za kredite ili hipoteke,
- pronalaženje prosjeka, maksimalne ili minimalne vrijednosti u određenom rasponu podataka.

4.2. Visual Basic za aplikacije (VBA) u Excel-u

Visual Basic je programski jezik koji se temelji na najpopularnijem programskom jeziku BASIC-u, ali ga svojim poboljšanim i proširenim mogućnostima te novom koncepcijom s grafičkim sučeljem daleko nadilazi. Excel sadrži posebnu verziju Visual Basic-a koju je Microsoft nazvao Visual Basic for Applications – VBA (Visual Basic za aplikacije). VBA kod se u Excel-u nalazi unutar tzv. VBA makroa.

Za izradu makro programa nije potrebno predznanje o programiranju, te se oni vrlo jednostavno kreiraju snimanjem niza aktivnosti korisnika u samom Excel-u pri čemu Excel automatski generira Visual Basic kod. Isto tako VBA kod se može neposredno upisivati, što je osobito pogodno. Za preuređivanje koda makro programa potrebno je aktivirati Visual Basic Editor te u njemu napraviti željene izmjene programa. Nakon što je makro snimljen, njegov

Visual Basic kod se može u svakom trenutku pogledati odabirom naredbe *Tools-Macro-Visual Basic Editor* ili odabirom tipki <CTRL>+<F11>.

4.3. Opis računalnog programa

U program se unose podaci koji se provode kroz sva klasifikacijska društva koja su poredana po različitim worksheetovima. Izmjenom podataka na stranici sa ulaznim podacima dolazi do promjene na svim ostalima worksheetovima (HRB, LR, GL...) te na taj način dobivamo na uvid rezultate po različitim klasifikacijskim društvima. Za izračun smo koristili brodski vijak "Karlovac" koji se pokazao već u praksi. U ulazni worksheet se unose podaci koji se odnose na sva klasifikacijska društva.

Zadani su ulazni podaci:

D(promjer brodskog vijka)

H (uspon brodskog vijka)

Z (broj krila brodskog vijka)

A/A_0 (omjer površina)

P (snaga brodskog vijka)

n (broj okretaja)

R_m(vlačna čvrstoća)

m (nagib na vrhu oštrice krila brodskoj vijka)

$P_{0,25}$ (uspon brodskog vijka na 0,25r/R krila brodskog vijka)

$P_{0,35}$ (uspon brodskog vijka na 0,35r/R krila brodskog vijka)

$P_{0,60}$ (uspon brodskog vijka na 0,60r/R krila brodskog vijka)

$P_{0,70}$ (uspon brodskog vijka na 0,70r/R krila brodskog vijka)

$L_{0,25}$ (debljina krila brodskog vijka na 0,25R)

$L_{0,35}$ (debljina krila brodskog vijka na 0,35R)

$L_{0,60}$ (debljina krila brodskog vijka na 0,60R)

$L_{0,70}$ (debljina krila brodskog vijka na 0,70R)

q_s (zakretni kut)

μ_s (nagibni kut)

CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS KARLOVAC Reg. Broj 12201 PROPELLER DETAIL - Tip vijka W.B.3.45.							
INPUT DATA							
Diameter of propeller					$D=$	1,53	m
Pitch					$H=$	1,20	m
Number of blades					$Z=$	3	
E.A.R.					$A/A_0=$	0,450	
Power					$P=$	450	kW
Rotetional speed of propeller					$n=$	400	rpm
Tensile strenght					$R_m=$	590	N/mm
Rake at blade tip					$m=$	0,135	m
Pitch at 25% radius					$P_{0,25}=$	1200	mm
Pitch at 35% radius					$P_{0,35}=$	1200	mm
Pitch at 60% radius					$P_{0,6}=$	1200	mm
Pitch at 70% radius					$P_{0,7}=$	1200	mm
Length of blade section at 25% radius					$L_{0,25}=$	381,2	mm
Length of blade section at 35% radius					$L_{0,35}=$	427,9	mm
Length of blade section at 70% radius					$L_{0,7}=$	505,8	mm
Length of blade section at 60% radius					$L_{0,6}=$	510	mm
Rake angle					$\mu_s=$	10	°
Skew angle					$q_s=$	25	°
Moment of inertia at 0,2R					$I_{0,2t}=$	3742070	mm^4
Moment of inertia at 0,3R					$I_{0,3t}=$	3150485	mm^4
Moment of inertia at 0,6R					$I_{0,6t}=$	893467,1	mm^4

	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed t	**62,1**	**54,9**	**33,3**

Slika 5. Početni *worksheet* za unos općih podataka svih klasifikacijskih društava broda „Karlovac“

Također se unose podaci za izračunatu čvrstoću sa samoga nacrta da bi provjerili udovoljava li odgovarajući brodski vijak prema različitim klasifikacijskim društvima.

U ovom programu se unose podaci za moment inercije (tromost) koji se računa u zasebnom Excel programu. Za taj izračun su nam potrebni i podaci sa nacrta o samoj izvedbi krila brodskog vijka. Izračun se vrši na različitim presjecima (slika 6. Primjer je za presjek na 0,2r/R) krila brodskog vijka.

$I_{0,2}$ (moment inercije na 0,20r/R)

$I_{0,3}$ (moment inercije na 0,30r/R)

$I_{0,6}$ (moment inercije na 0,60r/R)

UNIVERSITY OF SPLIT - FACULTY OF MARITIME STUDIES

GEOMETRICAL PROPERTIES OF PLANAR SECTIONS

(area, static moments and moments of inertia)

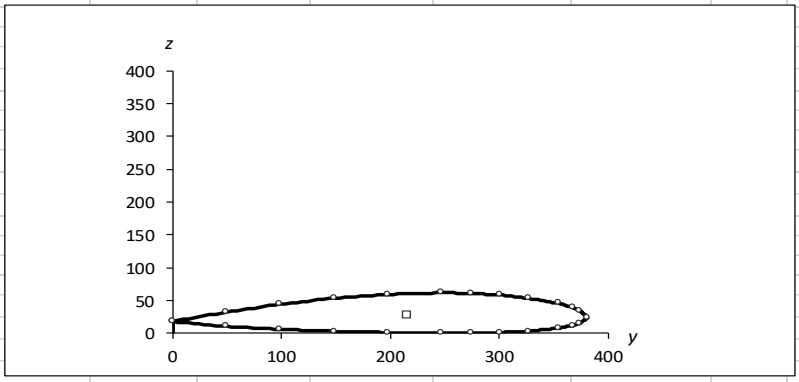
Program: **S20GEPRO.xlsx** Author: N.Vulić Ver: **1.1** (25 FEB 2018)

Title: **m/v KARLOVAC, propeller blade section at 0,2*r/R***

No.	rdinates of points		Radius	oordinates of center		Integration limits	
	y_i	z_i	R_i	$(y_s)_i$	$(z_s)_i$	$(t_A)_i$	$(t_B)_i$
i	mm	mm	mm	mm	mm		
0	0	18,1	-	-	-	-	-
1	49,56	10,6				0	1
2	99,12	6,3				0	1
3	148,68	3,1				0	1
4	198,24	1,3				0	1
5	247,8	0				0	1
6	274,5	0				0	1
7	301,2	1,3				0	1
8	327,8	3,1				0	1
9	354,5	8,1				0	1
10	367,9	11,9				0	1
11	374,5	15,6				0	1
12	381,2	24,4				0	1
13	374,5	34,7				0	1
14	367,9	39,3				0	1
15	354,5	45,9				0	1
16	327,8	53,4				0	1
17	301,2	58,6				0	1
18	274,5	60,9				0	1
19	247,8	62,1				0	1
20	198,24	59,3				0	1
21	148,68	53,7				0	1
22	99,12	44,6				0	1
23	49,56	32,4				0	1
24	0	18,1				0	1
25						0	1

Calculated results

A	S_y	S_z	I_y	I_z	I_{yz}
mm	mm³	mm³	mm⁴	mm⁴	mm⁴
16381,120	**465386,044**	**3511858,433**	**16963643,448**	**883321580,293**	**101976543,013**



Coordinates of the section's centroid		
y_T =	**214,385**	mm
z_T =	**28,410**	mm
Moments of inertia about centroid axes		
$(I_y)_T$ =	**3742070,689**	mm⁴
$(I_z)_T$ =	**130433520,368**	mm⁴
$(I_{yz})_T$ =	**2204982,619**	mm⁴
Principal centroidal moments of inertia		
φ=	**0,997**	°
$(I_1)_{T,f}$ =	**130471885,044**	mm⁴
$(I_2)_{T,f}$ =	**3703706,013**	mm⁴
i_1 =	**89,246**	mm
i_2 =	**15,036**	mm

Slika 6. Izračun momenta inercije u Excel-u na presjeku 0,2r/R

Podaci koji se unose su u ovisnosti o udaljenostima od koordinatnih osi *y* i *z*. Unesenim podacima dobit ćemo izgled samog krila brodskog vijka na željenom presjeku. Osim momenta inercije u ovoj Excel izvedbi možemo izračunati i površinu presjeka *A* koji će nam biti potreban za izračun u određenim klasifikacijskim društvima.

Zbog olakšavanja izrade programa u Excel-u, za neke su ulazne podatke načinjene tablice, pa je potrebno ćeliju namijenjenu za ulazni podatak upisati samo odgovarajući broj ili oznaku, koji se nalazi uz željeni podatak.

Unosom broja ili oznake mijenjaju se ulazni podaci, a samim tim i krajnji rezultati. Dolje navedene tablice odnose se na Hrvatski registra brodova.

Tablica 5. Materijal izrade brodskog vijka

Redni broj	*Materijal*
1.	Specijalna mjed,ili bronca
2.	Čelični lijev

Tablica 6. Područje plovidbe

Redni broj	*Područje plovidbe*
1.	Neograničena plovidba
2.	Velika obalna plovidba
3.	Mala obalna plovidba
4.	Obalna plovidba Jadranskim morem
5.	Nacionalna plovidba
6.	Nacionalna obalna plovidba
7.	Nacionalna priobalna plovidba
8.	Lokalna plovidba

Tablica 7. Pojačanje za plovidbu u ledu

Oznaka	*Pojačanje za plovidbu u ledu*
1AS	debljina leda od 1 m
1A	debljina leda od 0,8 m
1B	debljina leda od 0,6 m
1C	debljina leda od 0,4 m
1D	debljina leda od 0,2 m

Tablica 8. Tip broda

Redni broj	*Tip broda*
1.	Teretni i putnički
2.	Ribarski
3.	Tegljač

S ovim podacima se ulazi u proračun u kojem se neke vrijednosti računaju izravno u Excel-u, a neke je pogodnije računati u VBA u obliku funkcija. U ovom slučaju kao u primjeru HRB-a mijenjaju se podaci vezani za koeficijent *k*.

Vrijednosti izračunate u Visual Basic-u za aplikacije se odnose na Hrvatski te Ruski registar brodova (RMRS).

Koeficijent *A* (HRB) koji se određuje iz Tablice 3.2. 1-3 (HRB), ovisno o udaljenosti presjeka od središta *r*, te omjera odgovarajućeg uspona i promjera *H/D*.

a_{ij}		*j*				
		0	1	2	3	4
i	0	709,29796	−1988,09402	2866,42279	−2021,48724	547,82587
	1	−3780,43298	14440,53576	−22809,83724	16918,28525	−4715,66016
	2	9066,98223	−36165,14189	59184,72549	−45171,89303	12819,32337
	3	−7404,99029	29254,14486	−48753,36019	37837,58962	−10848,55838

Slika 7. Vrijednosti koeficijenta a_{ij} potrebnog za izračun koeficijenta *A*(RMRS)

Koeficijent *A* (RMRS) koji se određuje iz Tablice na slici 7., ovisno o udaljenosti presjeka od središta *r*, te omjera odgovarajućeg uspona i promjera *H/D*. Također je potrebno izračunati koeficijent *c* koji se odnosi na centrifugalna naprezanja koja se javljaju za vrijeme rada brodskog vijka. Vrijednost koeficijenta *c* se dobiva iz Tablice 6.2.1-3 (*RMRS*).

Za dobivanje potrebnoga koeficijenta *A* bilo je potrebno pretvoriti jednodimenzionalno polje koeficijenata polinoma u dvodimenzionalno polje. To je prikazano sljedećim kodom u VBA:

```
FunctionA_fact(r_rel, H_D)
   Dim Afact As Variant
   Dim A(4, 5)
   Afact = Array(709.2976, -1988.09402, 2866.42279, -
2012.48724, 547.82587, _
   -3780.43298, 14440.53576, -22809.83724, 16918.28525, -
4715.66016, _
      9066.98223, -36165.14189, 59184.72549, -45171.89303,
12819.32337, _
```

```
      -7404.99029, 29254.14486, -48752.36019, 37837.58962, -
10848.55838)
      For i = 1 To 4
      For j = 1 To 5
          A(i, j) = Afact(5 * (i - 1) + j)
      Next j
      Next i
      Zbroj = 0
      For i = 0 To 3
      For j = 0 To 4
          Zbroj = Zbroj + A(i + 1, j + 1) * r_rel ^ i * H_D ^ j
      Next j
      Next i
      A_fact = Zbroj
EndFunction
```

5. REZULTATI

U rezultatima su prikazana dva verifikacijska i jedan validacijski primjer staroga broda "Karlovac".

5.1. Verifikacijski primjeri

Kao verifikacijske primjere korišteni su brodovi "Pojišan" i "Kastav". U nastavku su navedeni osnovni podaci o brodu kao i izračun u Excel-u za svaki od brodova.

Tablica 9. Podaci o brodu "Pojišan" i "Kastav"

Ime broda	***POJIŠAN***	***KASTAV***
Vrsta broda	Javni brod	Tanker za ulje / kemikalije
Područje plovidbe	3 - Mala obalna plovidba	1 - neograničena plovidba
Materijal gradnje trupa	Čelik	Čelik
Datum gradnje	1999-11-08	2009-05-05
Vrsta i broj porivnih strojeva	Dizel četverotaktni, 2	Dizel dvotaktni, jednoradni, 1
Duljina preko svega	18,08m	195,09m
Širina	5,9m	32,2m
Visina	2,48m	17,79m
Brzina	20čv	14,5čv
Ukupna snaga	1220kW	9650kW

Navedeni verifikacijski primjeri većinom ne udovoljavaju klasifikacijskim društvima. Plavom bojom na slikama su označene konstruirane vrijednosti krila brodskog vijka izražene u milimetrima (mm). Crvena boja pokazuje negativna odstupanja, odnosno pokazuje da vijak ne zadovoljava kriterije toga klasifikacijskog društva.

Prikaz izračuna za brod "Kastav" iz Excela prikazuje velika odstupanja kod *American Bureau of Shipping* (ABS) I *Indian Register of Shipping* (IRS). U odnosu na ABS zapaža se predimenzioniranost, a IRS prikazuje veliku poddimenzioniranost. Treba naglasiti kako zahtjevima Hrvatskog registra brodova udovoljavaju brod "Kastav", kao i "Pojišan".

Za razliku od broda "Kastav" koji je prema većini klasifikacijskih društava poddimenzioniran , brod "Pojišan" je prema većini predimenzioniran.

Velika odstupanja kod broda Pojišan se javljaju kod *China Classification Society ship register*, kao i kod *Lloyds Registera* i *Germanisher Lloyd-a.*

CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
m/v KASTAV (CRS No. 15921)
PROPELLER DETAIL - Type W. B.3.45.

INPUT DATA

Diameter of propeller	$D=$	6,00	m
Pitch	$H=$	4,04	m
Number of blades	$Z=$	4	
E.A.R.	$A/A_0=$	0,507	
Power	$P=$	9650	kW
Rotetional speed of propeller	$n=$	123	rpm
Tensile strenght	$R_m=$	650	N/mm²
Rake at blade tip	$m=$	-0,15	m
Pitch at 25% radius	$P_{0,25}=$	3272	mm
Pitch at 35% radius	$P_{0,35}=$	3806	mm
Pitch at 60% radius	$P_{0,6}=$	4173	mm
Pitch at 70% radius	$P_{0,7}=$	4229	mm
Length of blade section at 25% radius	$L_{0,25}=$	924,8	mm
Length of blade section at 35% radius	$L_{0,35}=$	1127,2	mm
Length of blade section at 70% radius	$L_{0,7}=$	1792,8	mm
Length of blade section at 60% radius	$L_{0,6}=$	1688	mm
Rake angle	$\mu_s=$	5	°
Skew angle	$q_s=$	28,8	°
Moment of inertia at 0,2*R*	$I_{0,2t}=$	8,5E+08	mm^4
Moment of inertia at 0,3*R*	$I_{0,3t}=$	615923175	mm^4
Moment of inertia at 0,6*R*	$I_{0,6t}=$	1,6E+08	mm^4

CALCULATION RESULTS

Propeller blade thickness

Absolute thickness	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	**273,6**	**228,4**	**126,1**
Required, *t*	mm	mm	mm
CRS	272,6	**229,6**	116,3
ABS	231,0	164,9	110,4
BV	254,9	194,8	112,0
CCS	**295,5**	**231,3**	119,7
GL	**309,0**	**242,2**	**142,4**
IRS	**396,8**	**275,2**	-
KRS	**320,2**	**258,2**	**129,1**
LR	**285,4**	222,3	**129,9**
NKK	266,1	**242,2**	114,1
PRS	**284,3**	**241,6**	**131,8**
RINA	254,9	194,8	112,0
RMRS	**280,1**	**235,6**	122,3
Mean value	**287,6**	227,7	121,8
Stand. dev. ±	42,2	30,2	10,3

Ref. thickness	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	0,0%	0,0%	0,0%
Required, *t*	%	%	%
CRS	0,3%	**-0,5%**	8,4%
ABS	18,4%	38,5%	14,2%
BV	7,3%	17,2%	12,5%
CCS	**-7,4%**	**-1,2%**	5,4%
GL	**-11,4%**	**-5,7%**	**-11,4%**
IRS	**-31,0%**	**-17,0%**	-
KRS	**-14,5%**	**-11,5%**	**-2,3%**
LR	**-4,1%**	2,7%	**-3,0%**
NKK	2,8%	**-5,7%**	10,5%
PRS	**-3,8%**	**-5,5%**	**-4,3%**
RINA	7,3%	17,2%	12,5%
RMRS	**-2,3%**	**-3,0%**	3,1%

Slika 8. Početni *worksheet* za unos općih podataka svih klasifikacijskih društava broda "Kastav"

CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
m/v POJIŠAN (CRS No. 12201)
PROPELLER DETAIL - Type W. B.3.45.

IACS International Association of Classification Societies

INPUT DATA

Diameter of propeller	$D=$	0,83	m
Pitch	$H=$	1,08	m
Number of blades	$Z=$	5	
E.A.R.	$A/A_0=$	0,940	
Power	$P=$	610	kW
Rotetional speed of propeller	$n=$	1034	rpm
Tensile strenght	$R_m=$	650	N/mm²
Rake at blade tip	$m=$	0	m
Pitch at 25% radius	$P_{0,25}=$	967	mm
Pitch at 35% radius	$P_{0,35}=$	1005	mm
Pitch at 60% radius	$P_{0,6}=$	1078	mm
Pitch at 70% radius	$P_{0,7}=$	1084	mm
Length of blade section at 25% radius	$L_{0,25}=$	189,6	mm
Length of blade section at 35% radius	$L_{0,35}=$	232,2	mm
Length of blade section at 70% radius	$L_{0,7}=$	382,7	mm
Length of blade section at 60% radius	$L_{0,6}=$	358,3	mm
Rake angle	$\mu_s=$	7	°
Skew angle	$q_s=$	25	°
Moment of inertia at 0,2*R*	$I_{0,2t}=$	1182255	mm^4
Moment of inertia at 0,3*R*	$I_{0,3t}=$	651213	mm^4
Moment of inertia at 0,6*R*	$I_{0,6t}=$	28010	mm^4

CALCULATION RESULTS

Propeller blade thickness

Absolute thickness	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	**35,2**	**29,0**	**13,6**
Required, *t*	mm	mm	mm
CRS	33,7	28,5	**13,8**
ABS	30,2	28,6	**17,5**
BV	31,4	24,0	**13,6**
CCS	28,3	23,1	11,5
GL	**38,4**	**30,3**	**17,7**
IRS	34,1	25,6	-
KRS	32,8	28,7	11,7
LR	27,6	21,4	12,4
NKK	30,2	27,4	11,7
PRS	**38,1**	**32,4**	**17,5**
RINA	31,4	24,0	**13,6**
RMRS	**39,1**	**33,5**	**18,9**
Mean value	32,9	27,3	14,5
Stand. dev. ±	3,9	3,8	2,8

Rel. thickness desig. to req.	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	0,0%	0,0%	0,0%
Required, *t*	%	%	%
CRS	4,7%	2,0%	**-2,1%**
ABS	16,6%	1,6%	**-22,6%**
BV	12,2%	21,2%	**-0,1%**
CCS	24,7%	25,5%	17,5%
GL	**-8,1%**	**-4,1%**	**-23,2%**
IRS	3,4%	13,2%	-
KRS	7,5%	1,0%	15,5%
LR	27,6%	35,4%	9,2%
NKK	16,8%	6,0%	15,9%
PRS	**-7,4%**	**-10,3%**	**-22,4%**
RINA	12,2%	21,2%	**-0,1%**
RMRS	**-9,8%**	**-13,5%**	**-28,2%**

Slika 9. Početni *worksheet* za unos općih podataka svih klasifikacijskih društava broda "Pojišan"

5.2. Validacijski primjer

Kao validacijski primjer smo koristili brodski vijak izrađen za stari brod "m/b Karlovac". Vijak je izgrađen u Brodogradilištu Brodosplit u Splitu. Godine 1954. je odobren od strane *Jugoslavenskog registra brodova* (JR). Potrebno je provjeriti debljinu brodskog vijka koristeći se formulama svih navedenih klasifikacijskih društava i provjeriti udovoljava li taj brodski vijak kriterijima. Kao primjer korišten je izračun čvrstoće krila brodskog vijka za Hrvatski registar brodova.

Sa slike 10. je vidljivo da današnji brodski vijak koji smo uzeli kao primjer ne udovoljava kriterijima današnjeg HRB-a.

CROATIAN REGISTER OF SHIPPING (CRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 7 - Machinery installation, Section 3

Name of ship	**M/N KARLOVAC**		**Tip vijka W.B.3.45.**	
SHIP DATA				
Type of ship		sh_type=	1	
Navigational area (1....8)		navarea=	1	
Ice strengthening category (1AS, 1A, 1B, 1C , none)		ice_cat=	1A	
PROPULSION PLANT DATA				
Number of main engine cylinders		num_cyl=	6	
Hydraulic or electromagnetic coupling (yes, no)		coupling=	yes	
Shaft power at rated output of main engine		P=	450	kW
Rotational speed of propeller		n =	400	rpm
PROPELLER DATA				
Service (main propulsion, side truster)		serv=	mp	
Type (S , DB, CP)		prop_type=	S	
Number of blades		z=	3	
Diameter of propeller		D=	1,53	m
Pitch (mean, or designed service operation for CP)		H=	1,200	m
Rake at blade tip		m=	0,135	m
Diametar of hub		D_h =	**274**	mm
Blades material designation				
Blades material (special bronze..a..cast steel...b)		mat_type=	a	
Tensile strength of blades material		R_m =	590	N/mm²

PROPELLER DIMENSIONS

position of section	ratio ***r/R*** for A, c	section values [mm] width b	calculated coeff.A	cent. Forces coeff.c	thickness *s* [mm] designed	thickness *s* [mm] **required**	satisfactory yes/no
blade root	0,20	0,381	128,76	0,5	62,1	**64,06**	NO
cp-propeller	0,30	0,428	120,05	0,3	54,9	**56,53**	NO
mid radius	0,60	0,510	75,20	0	33,3	**34,43**	NO

CALCULATED COEFFICIENTS

Ratio pitch/diametar	**H/D=**	0,7843
Material tensile streenth value for calculation	**R'm=**	529
Coefficient dependent on ship type, ice strenthening and propeller material	**k=**	9,88

Slika 10. Primjer izračuna u Excelu za Hrvatski registar brodova

U sljedećoj tablici prikazane su proračunske vrijednosti za debljinu krila brodskog vijka svih gore navedenih klasifikacijskih društava. Vrijednosti označene plavom bojom se odnose na debljinu krila na različitim presjecima (0,25*r/R*, 0,35*r/R* i 0,60*r/R*) odgovarajućeg broda "Karlovac".

Tablica 10. Konačni rezultati svih klasifikacijskih društava iz Excel-aza brod "Karlovac"

CALCULATION RESULTS						
Propeller blade thickness						
	Absolutethickness, mm			Relative: designed to required, %		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	**62,1**	**54,9**	**33,3**	0,0%	0,0%	0,0%
Required, *t*	mm	mm	mm			
CRS	60,9	53,8	32,7	2,0%	2,0%	1,7%
ABS	52,3	41,0	26,8	18,8%	34,0%	24,1%
BV	50,9	40,5	26,1	22,0%	35,5%	27,5%
CCS	51,1	44,9	27,1	21,6%	22,4%	22,7%
GL	60,3	50,2	**33,3**	3,0%	9,3%	**-0,1%**
IRS	**66,8**	53,6	-	**-7,0%**	2,4%	-
KRS	60,1	50,6	27,7	3,3%	8,5%	20,4%
LR	**63,7**	54,5	**35,0**	**-2,5%**	0,8%	**-5,0%**
NKK	49,2	44,7	22,9	26,2%	22,7%	45,4%
PRS	58,1	51,4	31,4	7,0%	6,8%	5,9%
RINA	50,9	40,5	26,1	22,0%	35,5%	27,5%
RMRS	**68,7**	**61,2**	**37,7**	**-9,6%**	**-10,3%**	**-11,6%**

Iako je brodski vijak provjeren i odobren od strane Jugoslavenskoga registra brodova (JR) još 1954. godine, i dalje je u funkciji i uspješno plovi bez obzira što ne udovoljava današnjim kriterijima Hrvatskog registra brodova. Cijelo vrijeme radi besprijekorno i dalje je to isti vijak s istim motorom. Iako je većina pravila preuzeta iz JR brodova, sama gradnja brodskog vijka ne bi zadovoljila današnje kriterije. U slučaju nesreće ili onečišćenja okoliša, jer je brodskom vijku iz nekog razloga puklo krilo, ili je u nevremenu izgubio poriv, pa se nasukao i sudario, državno bi odvjetništvo tražilo krivca slijedom činjenice da brodski vijak ne zadovoljava Pravila koja su danas na snazi.

Vidljivo je da proračun tadašnjeg JR brodova i njegova pravila najviše odgovaraju današnjem *Russian Maritime Register of Shipping* (RMRS), a u samome izračunu se vide male razlike koje su izražene u postocima. U tablici je prikazano kako ovaj validacijski primjer prema ruskom registru (RMRS) je u negativnom trendu (označeno crvenom bojom),

odnosno da je jako poddimenzioniran i pokazuje kako iako ovaj primjer vijka ne udovoljava današnjim zahtjevima HRB-a, prolazi kod RMRS-a koji je većinom prihvatio pravila tadašnjeg JR brodova.

Veća odstupanja, odnosno sama predimenzioniranost brodskog vijka broda "Karlovac" zapažase prema *American Bureau of Shipping* (ABS), *Bureau Veritas* (BV), *China Classification Society Ship Register* (CCS), *Nippon Kaiji Kyokai* (NK), *Polish Register of Shipping* (PR) i *Registro Italiano Navale* (RINA).

U radu se nije koristio izračun prema pravilima *Det Norske Veritasa* (DNV). DNV ima drugačiju metodologiju provjere za razliku od ostalih gore navedenih registara. Za razliku od ostalih pravila , DNV uspoređuje dobivena naprezanja s dopuštenim, tako da njihov pristup uopće nije pogodan za dimenzioniranje krila brodskog vijka. Za DNV su potrebni izračuni sila i momenata koje se javljaju na krilu brodskog vijka.

6. ZAKLJUČAK

Sva priznata klasifikacijska društva koja su okupljena u Međunarodno udruženje klasifikacijskih društva tj. IACS propisuju potrebne zahtjeve za minimalnu čvrstoću brodskog vijka, kao i same procedure za izračun u njihovim tehničkim pravilima. Zahtjevi se kod svih klasifikacijskih društava (osim *Det Norske Veritasa*) osnivaju na propisanoj minimalnoj debljini presjeka krila na pojedinim karakterističnim promjerima (uglavnom 20% ili 25%, zatim 35%, kao i 60% promjera vijka).

Svako klasifikacijsko društvo ima svoj pristup za izračun čvrstoće brodskog vijka, a zajedničko im je modeliranje iste fizičke pojave, a to je ponašanje brodskog vijka u vodenom toku. Zadatak rada bio je provjeriti hoće li se za isti realan fizikalni sustav proračunom prema pravilima različitih klasifikacijskih zavoda dobiti različite zahtijevane debljine presjeka krila i u kolikoj mjeri. Veće međusobne razlike ukazale bi na neprikladnost neujednačenog pristupa ovakvom modeliranju brodskih vijaka prema tehničkim pravilima s gledišta njegove čvrstoće.

Izrađen je program u Microsoft Excel-u za provjeru čvrstoće krila brodskog vijka prema različitim klasifikacijskim društvima iz IACS-a, koji prema unesenim podacima određuje i prikazuje rezultate po različitim postupcima i njihovu međusobnu usporedbu.Program nam omogućuje dobiti rezultat čvrstoće vijka za sva klasifikacijska društva. Obrađena su dva verifikacijska primjera i jedan validacijski. Iz primjera je vidljivo kako se rezultati mijenjaju i u ovisnosti o veličini brodskog vijka. Kod velikog brodskog vijka broda tankera za ulje i kemikalije (m/b "Kastav") zapaža se velika predimenzioniranost. S druge strane za mali brodski vijak javnog ophodnog broda (m/b "Pojišan") je prema većini klasifikacijskih društava poddimenzioniran.

Iz navedenih rezultata proračuna koji su detaljno prikazani može se zaključiti da se rezultati razlikuju među klasifikacijskim društvima, iako se radi o istom brodskom vijku u istom fluidu pod jednakim uvjetima. Za različite brodove prema nekim tehničkim pravilima brodski vijak je predimenzioniran, a prema nekim drugim poddimenzioniran, pri čemu iznosi odstupanja zahtijevanih od izvedenih dimenzija variraju od pravila jednog klasifikacijskog društva do drugoga, bez jasnog obrasca. Samim time ovakvi rezultati rada ukazuju na značajnu neusklađenost tehničkih pravila članova Međunarodnog udruženja klasifikacijskih društava na kojima se s gledišta čvrstoće osnivaju dimenzije temeljnog elementa brodskog porivnog sustava-brodskog vijka.

Iako već ovakvi rezultati ukazuju na postojanje značajnog problema, koji u krajnjem slučaju može ugroziti funkcionalnost i sigurnost brodskoga porivnog sustava, a posljedično i samoga broda, dopunska ispitivanja bi trebalo provesti na još više validacijskih primjera kako bi se još preciznije i bolje dobio uvid u odstupanja među rezultatima.

Zbog gore navedenih razloga zaključuje se kako bi rad trebalo prezentirati Hrvatskom registru brodova (HRB) te ukazati na probleme koji su vidljivi na primjeru brodskog vijka "Karlovac". Treba predložiti Hrvatskom registru brodova da na IACS Machinery Panelu pokrene projektni zadatak koji će potaknuti razvijanje IACS usuglašenog zahtjevana kojemu će klasifikacijska društva temeljiti svoja tehnička pravila za dimenzioniranje brodskog vijka s gledišta čvrstoće.

LITERATURA

[1] … ABS Rules for Building and Classing of Steel Vessels, Part 4 – Vessel Systems and Machinery, American Bureau of Shipping, Houston, 2016

[2] … BV Rules for the Classification of Steel Ships, Part C - Machinery, Electricity, Automation and Fire Protection, Bureau Veritas, Neuilly-sur-Seine, 2017

[3] … CCS RULES FOR CLASSIFICATION OF SEA-GOING STEEL SHIPS, Vol. 3, Part 3 - Machinery Installations, China Classification Society, Beijing, China, 2015

[4] … GL Rules for Classification and Construction, I-Ship Technology, Part 1-Seagoing Ships, Chapter 2- Machinery Installations, DNV GL SE (Germanischer Lloyd), Hamburg, 2015

[5] … IRS Rules and Regulations for the Construction and Classification of Steel Ships, Part 4 - Main and Auxiliary Machinery, Indian Register of Shipping, Mumbai, 2015

[6] Komar, I.: Predavanja sa nastave„Tehnički nadzor i klasifikacija“

[7] … KRS Rules for the Classification of Steel Ships, Part 5 - Machinery Installations, Chapter 3 - Propulsion shafting and power transmission, Korean Register of Shipping, Busan, 2007

[8] Kuiken Kees , *DIESEL ENGINES I for ship propulsion and power plants from 0 to 100000 kW* ,Onnen, 2008, str. 367-391.

[9] … LR Rules and Regulations for the Classification of Ships, (LR), Part 5 – Main and Auxiliary Machinery, Lloyd's Register of Shipping, London, 2017

[10] … NKK Rules for the Survey and Construction of Steel Ships, Chapter 7 – Propellers, Nippon Kaiji Kyokai, Tokyo, 2009

[11] … PRS Rules for Classification and Construction of Sea-Going Ships, Part VI - Machinery installations and refrigerating plants, Chapter 3 – Propellers, Polish Register of Shipping, Gdansk, 2016

[12] … RINA Rules for the Classification of Ships, Part C - Machinery, Systems and Fire Protection, Registro Italiano Navale, Genoa, 2016

[13] … RMRS Rules for Classification and Construction of Sea-Going Ships, Part seven - Machinery installations, Saint Petersburg, 2016

[14] http://www.crs.hr/en-us/links/rulesfortheclassification.aspx, Part7 - Machinery Installation, siječanj 2018.

[15] https://en.wikipedia.org/wiki/Propeller, 17. veljače 2018.

[16] https://en.wikipedia.org/wiki/International_Association_of_Classification_Societies, 13. veljače 2018.

[17] https://en.wikipedia.org/wiki/American_Bureau_of_Shipping, 24.veljače 2018.

[18] https://en.wikipedia.org/wiki/Nippon_Kaiji_Kyokai, 15.siječnja 2018.

[19] https://en.wikipedia.org/wiki/Germanischer_Lloyd, 24.veljače 2018.

POPIS SLIKA

Slika 1. Brodski vijak s nepromjenljivim usponom.....5

Slika 2. Primjer brodskog vijka sa upravljivim usponom.....7

Slika 3. Oznake logotipa nekih važnijih klasifikacijskih društava.....10

Slika 4. Presjek brodskog vijka 13

Slika 5. Početni *worksheet* za unos općih podataka svih klasifikacijskih društava broda „Karlovac“.....25

Slika 6. Izračun momenta inercije u Excel-u na presjeku 0,2r/R 26

Slika 7. Vrijednosti koeficijenta a_{ij} potrebnog za izračun koeficijenta *A*(RMRS).....28

Slika 8. Početni *worksheet* za unos općih podataka svih klasifikacijskih društava broda „Kastav“.....31

Slika 9. Početni *worksheet* za unos općih podataka svih klasifikacijskih društava broda „Pojišan“.....32

Slika 10. Primjer izračuna u Excelu za Hrvatski registar brodova.....33

POPIS TABLICA

Tablica1. Mehanička svojstva "*CuNiAl*" materijala 5
Tablica 2. Veličina koeficijenta k.....13
Tablica 3. Veličina koeficijenta naprezanja od centrifugalnih sila, c.....14
Tablica 4. Veličina koeficijenta A.....14
Tablica 5. Materijal izrade brodskog vijka.....27
Tablica 6. Područje plovidbe 27
Tablica 7. Pojačanje za plovidbu u ledu.....27
Tablica 8. Tip broda 27
Tablica 9. Podaci o brodu „Pojišan" i „Kastav".....30
Tablica 10. Konačni rezultati svih klasifikacijskih društava iz Excel-aza brod „Karlovac"... 32

POPIS KRATICA

ABS	American Bureau of Shipping
BV	Bureau Veritas
CCS	China Classification Society
DNV	Det Norske Veritas DNV
EU	Europska unija
GL	Germanischer Lloyd
HRB	Hrvatski registar brodova
IACS	International Association of Classification Societies
JR	Jugoslavenski registar brodova
KR	Korean Register of Shipping
LR	Lloyd's Register of Shipping
NK	Nippon Kaiji Kyokai
PRS	Polish Register of Shipping
RINA	Registro Italiano Navale
RS	Russian Maritime Register of Shipping
VBA	Visual Basic for Applications

PRILOG A: Prikaz rezultata proračuna za m/b "Karlovac"

CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
m/v KARLOVAC (CRS No. 12201)
PROPELLER DETAIL - Type W. B.3.45.

IACS International Association of Classification Societies

INPUT DATA

Diameter of propeller	D =	1,53	m
Pitch	H =	1,20	m
Number of blades	Z =	3	
Expanded areas ratio (E. A. R.)	A/A_0 =	0,450	
Power	P =	450	kW
Rotational speed of propeller	n =	400	rpm
Tensile strength	R_m =	440	N/mm²
Rake at blade tip	m =	0,135	m
Pitch at 25% radius	$P_{0,25}$ =	1200	mm
Pitch at 35% radius	$P_{0,35}$ =	1200	mm
Pitch at 60% radius	$P_{0,60}$ =	1200	mm
Pitch at 70% radius	$P_{0,70}$ =	1200	mm
Length of blade section at 25% radius	$L_{0,25}$ =	381,2	mm
Length of blade section at 35% radius	$L_{0,35}$ =	427,9	mm
Length of blade section at 70% radius	$L_{0,70}$ =	505,8	mm
Length of blade section at 60% radius	$L_{0,60}$ =	510	mm
Rake angle	μ_s =	10	°
Skew angle	q_s =	25	°
Moment of inertia of blade section at 20% radius	$I_{0,20\,t}$ =	3742070	mm⁴
Moment of inertia of blade section at 30% radius	$I_{0,30\,t}$ =	3150485	mm⁴
Moment of inertia of blade section at 60% radius	$I_{0,60\,t}$ =	893467	mm⁴

CALCULATION RESULTS

Propeller blade thickness

Absolute thickness	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	**62,1**	**54,9**	**33,3**
Required, *t*	mm	mm	mm
CRS	60,9	53,8	32,7
ABS	52,3	41,0	26,8
BV	50,9	40,5	26,1
CCS	51,1	44,9	27,1
GL	60,3	50,2	**33,3**
IRS	**66,8**	53,6	-
KRS	60,1	50,6	27,7
LR	**63,7**	54,5	**35,0**
NKK	49,2	44,7	22,9
PRS	58,1	51,4	31,4
RINA	50,9	40,5	26,1
RMRS	**68,7**	**61,2**	**37,7**
Mean value	57,7	48,9	29,7
Stand. dev. ±	6,7	6,6	4,6

Ref. thickness	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	0,0%	0,0%	0,0%
Required, *t*	%	%	%
CRS	2,0%	2,0%	1,7%
ABS	18,8%	34,0%	24,1%
BV	22,0%	35,5%	27,5%
CCS	21,6%	22,4%	22,7%
GL	3,0%	9,3%	**-0,1%**
IRS	**-7,0%**	2,4%	-
KRS	3,3%	8,5%	20,4%
LR	**-2,5%**	0,8%	**-5,0%**
NKK	26,2%	22,7%	45,4%
PRS	7,0%	6,8%	5,9%
RINA	22,0%	35,5%	27,5%
RMRS	**-9,6%**	**-10,3%**	**-11,6%**

CROATIAN REGISTER OF SHIPPING (CRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 7 - Machinery installation, Section 3

Name of ship	**m/v KARLOVAC**		**Type W. B.3.45.**	
SHIP DATA				
Type of ship		sh_type=	1	
Navigational area (1....8)		navarea=	1	
Ice strengthening category (1AS, 1A, 1B, 1C , none)		ice_cat=	none	
PROPULSION PLANT DATA				
Number of main engine cylinders		num_cyl=	6	
Hydraulic or electromagnetic coupling (yes, no)		coupling=	yes	
Shaft power at rated output of main engine		*P*=	450	kW
Rotational speed of propeller		*n* =	400	rpm
PROPELLER DATA				
Service (main propulsion, side truster)		serv=	mp	
Type (S , DB, CP)		prop_type=	S	
Number of blades		z=	3	
Diameter of propeller		*D*=	1,53	m
Pitch (mean, or designed service operation for CP)		*H*=	1,200	m
Rake at blade tip		*m*=	0,135	m
Diameter of hub		D_h =	**210**	mm
Blades material designation				
Blades material (special bronze..a..cast steel...b)		mat_type=	a	
Tensile strength of blades material		R_m =	440	N/mm²

PROPELLER DIMENSIONS

position of section	ratio ***r/R*** for A, c	section values [mm] width b	calculated coeff.A	cent. Forces coeff.c	thickness *s* [mm] designed	thickness *s* [mm] **required**	satisfactory yes/no
blade root	0,20	0,381	128,76	0,5	62,1	**60,90**	YES
cp-propeller	0,30	0,428	120,05	0,3	54,9	**53,81**	YES
mid radius	0,60	0,510	75,20	0	33,3	**32,73**	YES

CALCULATED COEFFICIENTS

Ratio pitch/diametar	**H/D=**	0,7843	
Material tensile streenth value for calculation	**R'm=**	439	N/mm²
Coefficient dependent on ship type, ice strenthening and propeller materia	**k=**	7,41	

American Bureau of Shipping (ABS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 4, Chapter 3, Section 3

Name of ship	**m/v KARLOVAC**	**Type W. B.3.45.**	
Blades material type	*mat_ABS=*	**NiAlCu**	
Expanded blade area	*a=*	0,45	
Area of expanded cylindrical section at 0,25R	$a_{0,25}$=	16381	mm²
Area of expanded cylindrical section at 0,35R	$a_{0,35}$=	16731	mm²
Section modulus at 0,25R	$C_{0,25}$=	0,0755	
Section modulus at 0,35R	$C_{0,35}$=	0,0611	
Section area coefficient at 0,25R	$C_{0,25S}$=	0,691	
Section area coefficient at 0,35R	$C_{0,35S}$=	0,712	
Propeller diametar	*D=*	1,53	m
Material constant *f*	*f=*	**2,6**	
Material constant *w*	*w=*	**7,5**	
Power of rated speed	*H=*	450	kW
Moment of inertia at 0,25R	$I_{0,25}$=	3742070	mm⁴
Moment of inertia at 0,35R	$I_{0,35}$=	3150485	mm⁴
Rake of propeller blade	*K=*	135	mm
Coefficient K1 as given	K_1=	337	
Number of blades	*N=*	3	
Pitch at 0,25R	$P_{0,25}$=	1,2	m
Pitch at 0,35R	$P_{0,35}$=	1,2	m
Pitch at 0,70R	$P_{0,70}$=	1,2	m
RPM at rated speed	*R=*	400	rpm
Factor	*S=*	1,0	
Coefficient K2 as given	K_2=	271	
Expanded width at 0,25R	$W_{0,25}$=	381,2	mm
Expanded width at 0,35R	$W_{0,35}$=	427,9	mm
Expanded width at 0,60R divided by diameter	$C_{0,60}$=	0,33	mm
Expanded width at 0,90R divided by diameter	$C_{0,90}$=	0,25	mm
Coefficient K3 as given	K_3=	12,6	
Rake angle	ϕ=	10	°
Skew angle	Θ=	25	°
Minimum specified yield strength	*Y=*	**245**	N/mm²
Pitch at the 0,6 radius divided by propeller diameter	$P_{0,6R}$=	0,78	
Pitch at the 0,9 radius divided by propeller diameter	$P_{0,9R}$=	0,78	
	T=	**231,37**	

R	0,25	0,35	0,60
A	11,16	9,60	
B	34,65	39,49	
C	2699,46	3042,05	

t	**52,26**	**40,96**	**26,83**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

Bureau veritas (BV)

CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS

Chapter 1, Section 8 , Propellers

Name of ship	**m/v KARLOVAC**		**Type W. B.3.45.**	
Blades material type	mat_BV=	**AlCu**		
SHIP DATA				
Minimum tensile strength	R_m =	590	N/mm^2	
Density	δ =	7,6	kg/dm^3	
Material factor	f=	8,3		
Ratio diameter/pitch	ρ=	1,275		
Pitch at 25% radius	$H_{0,25}$ =	1,2	m	
Pitch at 35% radius	$H_{0,35}$ =	1,2	m	
Pitch at 60% radius	$H_{0,60}$ =	1,2	m	
Pitch at 70% radius	$H_{0,70}$ =	1,2	m	
Propeller diameter	D=	1,53	m	
Continued transmitted torque	M_T =	10,74375	kN	
Maximum contionous power of propeller	P=	450	kW	
Rotaional speed of the propeller	N=	400	rev/min	
Developed area ratio	B=	0,45		
Rake	h=	0,135	mm	
Width of blade at the 0,25R	$l_{0,25R}$ =	381,2	mm	
Width of blade at the 0,35R	$l_{0,35R}$ =	427,9	mm	
Width of blade at the 0,60R	$l_{0,60R}$ =	510,0	mm	
Number of blades	Z=	3		

Thickness of propeller blades t			
R	0,25	0,35	0,60
t	**50,88**	**40,52**	**26,12**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

China classification society ship register (CCS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 3, Chapter 11 , Shafting and Propellers

Name of ship	**m/v KARLOVAC**	**Type W. B.3.45.**	
Input data			
Blades material type	mat_ccs=	**CU3(NiAl)**	
Y - Power cofficient			
Propeller diameter	*D*=	1,53	m
Pitch at 25% radius	$P_{0,25}$=	1,200	m
Pitch at 35% radius	$P_{0,35}$=	1,200	m
Pitch at 60% radius	$P_{0,60}$ =	1,200	m
Pitch at 70% radius	$P_{0,70}$=	1,200	m
Propeller radius	*R*=	0,765	m
Rated power of the main engine	N_e =	450	kW
Number of blades	*Z*=	3	
Blade width at the section 0,25R	$b_{0,25}$ =	0,3812	m
Blade width at the section 0,35R	$b_{0,35}$ =	0,4279	m
Blade width at the section 0,60R	$b_{0,60}$ =	0,5100	m
Speed of propeller at rated power of main engine	n_e =	400,000	r/min
X - Speed coefficient			
Rake angle of propeller blade	*ε*=	10	°
Density of the propeller material	*G*=	**7,6**	g/cm^3
Expanded area ratio	A_d =	0,45	
K - material coefficient	*K*=	**1,38**	

r/K	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
0,25R	634	250	1410	4	82	34	41	380
0,35R	520	285	1320	16	64	28	57	420
0,6R	207	151	635	34	23	12	65	330

Calculated results

	0,25	0,35	0,60
A1=	2690,08	2329,52	1016,73
A2=	1328,05	1428,60	1162,33
Y =	3599,00	2776,48	1016,73
X =	0,46	0,36	0,13
Thickness of propeller blades t			
t	**51,06**	**44,85**	**27,14**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

Germanischer lloyd (GL)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Rules 1, Chapter 2, Section 6

Name of ship	**m/v KARLOVAC**					**Type W. B.3.45.**	
Blades material type					mat_gl=	**NiAlCu**	
Input data							
Developed blade width of cylindrical secitons at radii 0.25R					$B_{0.25}$=	381,2	mm
Developed blade width of cylindrical secitons at radii 0.35R					$B_{0.35}$=	427,9	mm
Developed blade width of cylindrical secitons at radii 0.60R					$B_{0.60}$=	510	mm
Charasteristic material value for propeller materia					C_w=	**590**	
Diametar of propeller					D=	1530	mm
Blade rake to aft acc.					e=	0,135	mm
Factors in formulae (7,2 for solid propellers and 6,2 for seperatly cast blades)					f_1=	7,2	
Factors in formulae					f_2=	0,5	
Pressure side pitch propeller blade at radii 0.25R					$H_{0.25}$=	1200	mm
Pressure side pitch propeller blade at radii 0.35R					$H_{0.35}$=	1200	mm
Pressure side pitch propeller blade at radii 0.60R					$H_{0.60}$=	1200	mm
Mean effective pressure side pitch for pitch varying wth the radius					H_m=	1200	mm
Propeller speed					n_2=	400	min^{-1}
Nominal power of driving engine					P_w=	450	kW
Values of k for varius profile shapes at 0.25R					$k_{0.25}$=	77	
Values of k for varius profile shapes at 0.35R					$k_{0.35}$=	66	
Values of k for varius profile shapes at 0.60R					$k_{0.60}$=	47	
Number of blades					z=	3	
Angle between lines of face generatrix and normal					ε=	20	°
Pitch angle of profile at radii 0.25R					$\alpha_{0.25}$=	44,8874348	°
Pitch angle of profile at radii 0.35R					$\alpha_{0.35}$=	35,5164178	°
Pitch angle of profile at radii 0.60R					$\alpha_{0.60}$=	22,5719855	°
Wake fraction					w=	0,25	

$\sin\alpha_{0.25}$=	0,705716211	$\cos\alpha_{0.25}$=	0,708494622
$\sin\alpha_{0.35}$=	0,580936212	$\cos\alpha_{0.35}$=	0,813949088
$\sin\alpha_{0.60}$=	0,383843877	$\cos\alpha_{0.60}$=	0,923398006

R	0,25	0,35	0,60
K_0	1,0385	1,0402	1,0421
K_1	0,8195	0,7953	0,7397

t	**60,27**	**50,22**	**33,32**
satisfactory	**YES**	**YES**	**NO**

CALCULATED COEFFICIENTS							
size factor					C_G=	0,846	$1,1>C_g>0,8$
dynamic factor					C_{Dyn}=	1,087	$C_{dyn}>1,0$
σ_{max}/σ_m					σmax/σm=	1,627	
					cosε=	0,66031671	
					E_T=	**1,255**	
					T=	54000	
					V_S=	14,67	

Indian Register of Shipping (IRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 4, Chapter 4, Section 7

Name of ship	**m/v KARLOVAC**		**Type W. B.3.45.**	
Blades material type		mat_typeIRS=	**NiAl(CU3)**	
SHIP DATA				
Minimum tensile strength		R_m=	590	N/mm²
Material constant		w=	7,5	
Material constant		f=	25,7	
Maximum shaft power		P=	450	kW
Revolutions per minute of propeller		R=	400	rpm
Diameter		D=	1,53	m
Length of blade section at 0,25R		$L_{0,25}$=	381,2	mm
Length of blade section at 0,35R		$L_{0,35}$=	427,9	mm
Length of blade section at 0,70R		$L_{0,7}$=	505,8	mm
Rake at blade tip		K=	-135	mm
Number of blades		N=	3	
Developed area ratio		a=	0,450	
Pitch at 25% radius		$P_{0,25}$=	1,2	m
Pitch at 35% radius		$P_{0,35}$=	1,2	m
Pitch at 60% radius		$P_{0,6}$=	1,2	m
Pitch at 70% radius		$P_{0,7}$=	1,2	m
Section modulus at 0,25R		$C_{0,25R}$=	0,0755	
Section modulus at 0,35R		$C_{0,35R}$=	0,0611	
Section modulus at 0,60R		$C_{0,60R}$=	0,0486	
Section area coefficient at 0,25R		$C_{S0,25R}$=	0,691	
Section area coefficient at 0,35R		$C_{S0,35R}$=	0,712	
Section area coefficient at 0,60R		$C_{S0,60R}$=	0,726	

R	0,25	0,35
A	12,02	11,00
B	34,65	39,49
C	11485,93	12892,23
t	**66,75**	**53,59**
satisfactory	**NO**	**YES**

0,25 for fixed pitch propellers
0,35 for controllable-pitch propellers

Korean Register of Shipping (KRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Machinery installation, Chapter 3

Name of ship	**m/v KARLOVAC**		**Type W. B.3.45.**
Blades material type	mat_kr=	**CU3(NiAlCu)**	
Input data			
Output of main propulsion machinery	*P*=	450	kW
Number of blades	*Z*=	3	
Revolutions per minute (/100)	*N*=	4,000	
Section modulus values	C_X=	0,0755	
Width of blade at the 0,25R	$l_{0,25R}$=	0,381	m
Width of blade at the 0,35R	$l_{0,35R}$=	0,428	m
Width of blade at the 0,60R	$l_{0,60R}$=	0,510	m
Radius of propeller	*R*=	0,765	m
Coefficient	***K1,K2***		
Diameter of propeller	*D*=	1,53	m
Rake of blade at propeller shaft	*E*=	0,135	m
Expanded area ratio	*ξ*=	0,244883766	
Expanded area of propeller	A_E=	0,45	
Values given by table	*Km*=	**1,3**	

CALCULATED RESULTS

R	0,25	0,35	0,60
K1=	32,302	25,494	9,620
K2=	1,165	1,156	1,224

Thickness of propeller blades t

t	**60,11**	**50,59**	**27,67**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

Lloyd's Register (LR)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 12, Chapter 1, Propellers

Name of ship:	**m/v KARLOVAC**		**Type W. B.3.45.**	
Blades material type		mat_LR=	**CU2(NiMnCu)**	
Input data				
Maximum shaft power		P=	450	kW
rpm		R=	400	rpm
Propeller diameter		D=	1,53	m
Pitch at 25% radius		$P_{0,25}$=	1,2	m
Pitch at 35% radius		$P_{0,35}$=	1,2	m
Pitch at 60% radius		$P_{0,6}$=	1,2	m
Pitch at 70% radius		$P_{0,7}$=	1,2	m
Length of blade section at 25% radius		$L_{0,25}$=	381,2	mm
Length of blade section at 35% radius		$L_{0,35}$=	427,9	mm
Length of blade section at 60% radius		$L_{0,6}$=	510	mm
Rake at blade tip		A=	135	mm
Number of blades		N=	3	
Developed area ratio		B=	0,45	
Material specified tensile strength		T=	440	N/mm^2
Density		G=	**8,3**	g/cm^3
Alloweble stress		U=	**39**	N/mm^2
Skew angle		q_s=	25	°
Actual face modulus/(0,09T^2 L)		E=	0,5709	

CALCULATED COEFFICIENTS

K= 3170,89

R	C	F	M	*t*	*satisfactory*
0,25	1,0	1,58	3,20	**63,72**	**NO**
0,35	1,4	2,38	3,40	**54,46**	**YES**
0,60	1,6	5,28	3,40	**35,04**	**NO**

Nippon Kaiji Kyokai (NK)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part D , Chapter 7

Name of ship	**m/v KARLOVAC**				**Type W. B.3.45.**	
Input data						
Maximum continuous output of main propulsion machinery			H=	450	kW	
Number of maximum continuous rpm divided by 100			N_0=	4	rpm/100	
Diameter of propeller			D=	1,53	m	
Pitch at radius in question (0,25R)			$P_{0,25}$=	1,2	m	
Pitch at radius in question (0,60R)			$P_{0,60}$=	1,2	m	
Pitch at radius of 0,7R			$P_{0,70}$=	1,2	m	
Expanded area ratio of propeller			a_e=	0,45		
Width of blade at radius in question (0,25R)			L_{25}=	38,12	cm	
Width of blade at radius in question (0,60R)			L_{60}=	51	cm	
Number of blades			Z=	3		
Rake at the tip of the blade			E=	13,5	cm	
Imaginary thickness of blade at propeller shaft centreline			t_0=	6,66	cm	
Value dependent upon propeller material (Rules, Table D7.2)			K=	1,3		
Skew angle (Guidance, item D7.2.1)			ϑ=	25	°	
Depth of ship for strength computation			D_{ds}=	3,3	m	
Load draught			d_s=	2,34	m	
Breadth of ship			B=	7	m	
Block coefficient of ship			C_b=	0,4		
CALCULATED RESULTS						
Coefficient of increase in stress during bad weather			S=	0,811		
Nominal mean wake in the propeller disc			ω=	0,094		
Peak to peak wake fluctuation in the propeller disk at 0,7R			$\Delta\omega$=	0,389		
Coefficients for the calculation of A_1, A_2 and A_3			C_1=	0,348		
			C_2=	0,187		
			C_3=	0,119		
Coefficients for the calculation of W			A_1=	0,881		
			A_2=	1,387		
			A_3=	6,048		

	R	0,25	0,35	0,60	
Thickness of blades (excluding the fillet of blade root)	t=	6,21	5,49	3,33	cm
Coefficient for the calculation of W	A_4=	3,52	2,41	1,26	
Coefficient concerning alternate stress, calculated	W=	3,118	3,183	3,268	
Coefficient concerning alternate stress, taken		2,270	2,270	2,270	
Values for the calculation of K_1 (Rules, Table D7.1)	k_1=	1,62	0,827	0,281	
	k_2=	0,386	0,308	0,113	
	k_3=	0,239	0,131	0,022	
Values for the calculation of K_2 (Rules, Table D7.1)	k_4=	1,92	1,79	1,24	
	k_5=	1,71	1,56	1,09	
Coefficient of the radius in question	K_1=	14,573	12,222	4,514	
Coefficient for the calculation of $t_{required}$	K_2=	1,090	1,106	1,165	
Coefficient, when 25°<θ≤60° (Guidance, item D7.2.1)	A=	1,000	1,000	1,000	
Thickness of blades, required	$t_{required}$=	**4,92**	**4,47**	**2,29**	cm
	$t_{required}$=	**49,20**	**44,74**	**22,90**	mm
Criterion for acceptance	$t \geq t_{required}$=	**YES**	**YES**	**YES**	

Polish Register of Shipping(PRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Machinery installation, Section 3

Name of ship	**m/v Karlovac**		**Type W. B.3.45.**	
Coefficient	$k=$	1		
Coefficient A at 0,25R	$A_{0,25}=$	388		
Coefficient A at 0,35R	$A_{0,35}=$	364		
Coefficient A at 0,60R	$A_{0,60}=$	243		
Propeller shaft power	$P=$	450	kW	
Rated number of propeller shaft revolutions	$n=$	400	rpm	
Number of blades	$Z=$	3		
Width of blade at the 0,25R	$l_{0,25R}=$	0,381	m	
Width of blade at the 0,35R	$l_{0,35R}=$	0,428	m	
Width of blade at the 0,60R	$l_{0,60R}=$	0,510	m	
Diametar of propeller	$D=$	1,53	m	
Radius of propeller	$R=$	0,765	m	
Pitch ratio	$H/D=$	0,784314		
Tensile strength	$M=$	534	MPa	
Ultimate tensile strength	$R_m=$	590	MPa	

R	0,25	0,35	0,60
t	**58,05**	**51,40**	**31,43**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

Registro Italiano Navale (RINA)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Machinery installation, Section 8

Name of ship	**m/v Karlovac**	**Type W. B.3.45.**	
Blades material type	mat_BV=	**AlCu**	
SHIP DATA			
Minimum tensile strength	R_m =	590	N/mm^2
Density	δ =	7,6	kg/dm^3
Material factor	f=	8,3	
Ratio pitch/diameter	ρ=	1,275	
Pitch at 25% radius	$H_{0,25}$ =	1,2	m
Pitch at 35% radius	$H_{0,35}$ =	1,2	m
Pitch at 60% radius	$H_{0,60}$ =	1,2	m
Pitch at 70% radius	$H_{0,70}$ =	1,2	m
Propeller diameter	D=	1,53	m
Continued transmitted torque	M_T =	10,74375	kN
Maximum contionous power of propeller	P=	450	kW
Rotaional speed of the propeller	N=	400	rev/min
Developed area ratio	B=	0,45	
Rake	h=	0,135	mm
Width of blade at the 0,25R	$l_{0,25R}$ =	381,2	mm
Width of blade at the 0,35R	$l_{0,35R}$ =	427,9	mm
Width of blade at the 0,60R	$l_{0,60R}$ =	510,0	mm
Number of blades	Z=	3	

R	0,25	0,35	0,60
t	**50,88**	**40,52**	**26,12**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

Russian Maritime Register of Shipping (RMRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Chapter 6 (6.2), Blade thickness

Name of ship	**m/v KARLOVAC**					**Type W. B.3.45.**	
Ship type			**Ships without ice class**				
Coefficient to be determined by formula					A		
Coefficient					$k=$	**8**	
Coefficient of centrifugal stresses					$c=$	**0,295521**	
Shaft power					$P=$	450	kW
Number of blades					$Z=$	3	
Width of blade at the 0,25R					$b_{0,25R}=$	0,381	m
Width of blade at the 0,35R					$b_{0,35R}=$	0,428	m
Width of blade at the 0,60R					$b_{0,60R}=$	0,510	m
Tensile strength					$R_m=$	440	MPa
Material tensile streenth value for calculation					$\sigma=$	439	MPa
Rated number of propeller shaft revolutions					$n=$	400	rpm
Blade rake					$m=$	135	mm
Propeller diametar					$D=$	1,53	m

R	0,25	0,35	0,60
A	132,31	124,14	79,99
t	**68,66**	**61,23**	**37,66**
satisfactory	**NO**	**NO**	**NO**

PRILOG B: Prikaz rezultata proračuna za m/b "Kastav"

CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
m/v KASTAV (CRS No. 15921)
PROPELLER DETAIL - Type W. B.3.45.

INPUT DATA

Diameter of propeller	$D=$	6,00	m
Pitch	$H=$	4,04	m
Number of blades	$Z=$	4	
E.A.R.	$A/A_0=$	0,507	
Power	$P=$	9650	kW
Rotetional speed of propeller	$n=$	123	rpm
Tensile strenght	$R_m=$	650	N/mm²
Rake at blade tip	$m=$	-0,15	m
Pitch at 25% radius	$P_{0,25}=$	3272	mm
Pitch at 35% radius	$P_{0,35}=$	3806	mm
Pitch at 60% radius	$P_{0,6}=$	4173	mm
Pitch at 70% radius	$P_{0,7}=$	4229	mm
Length of blade section at 25% radius	$L_{0,25}=$	924,8	mm
Length of blade section at 35% radius	$L_{0,35}=$	1127,2	mm
Length of blade section at 70% radius	$L_{0,7}=$	1792,8	mm
Length of blade section at 60% radius	$L_{0,6}=$	1688	mm
Rake angle	$\mu_s=$	5	°
Skew angle	$q_s=$	28,8	°
Moment of inertia at 0,2*R*	$I_{0,2t}=$	8,5E+08	mm^4
Moment of inertia at 0,3*R*	$I_{0,3t}=$	615923175	mm^4
Moment of inertia at 0,6*R*	$I_{0,6t}=$	1,6E+08	mm^4

CALCULATION RESULTS

Propeller blade thickness

Absolute thickness	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	**273,6**	**228,4**	**126,1**
Required, *t*	mm	mm	mm
CRS	272,6	**229,6**	116,3
ABS	231,0	164,9	110,4
BV	254,9	194,8	112,0
CCS	**295,5**	**231,3**	119,7
GL	**309,0**	**242,2**	**142,4**
IRS	**396,8**	**275,2**	-
KRS	**320,2**	**258,2**	**129,1**
LR	**285,4**	222,3	**129,9**
NKK	266,1	**242,2**	114,1
PRS	**284,3**	**241,6**	**131,8**
RINA	254,9	194,8	112,0
RMRS	**280,1**	**235,6**	122,3
Mean value	**287,6**	227,7	121,8
Stand. dev. ±	42,2	30,2	10,3

Rel. thickness desig. to req.	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	0,0%	0,0%	0,0%
Required, *t*	%	%	%
CRS	0,3%	**-0,5%**	8,4%
ABS	18,4%	38,5%	14,2%
BV	7,3%	17,2%	12,5%
CCS	**-7,4%**	**-1,2%**	5,4%
GL	**-11,4%**	**-5,7%**	**-11,4%**
IRS	**-31,0%**	**-17,0%**	-
KRS	**-14,5%**	**-11,5%**	**-2,3%**
LR	**-4,1%**	2,7%	**-3,0%**
NKK	2,8%	**-5,7%**	10,5%
PRS	**-3,8%**	**-5,5%**	**-4,3%**
RINA	7,3%	17,2%	12,5%
RMRS	**-2,3%**	**-3,0%**	3,1%

CROATIAN REGISTER OF SHIPPING (CRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 7 - Machinery installation, Section 3

Name of ship	**m/b KASTAV**	**Type W. B.3.45.**	
SHIP DATA			
Type of ship	sh_type=	1	
Navigational area (1....8)	navarea=	1	
Ice strengthening category (1AS, 1A, 1B, 1C , none)	ice_cat=	none	
PROPULSION PLANT DATA			
Number of main engine cylinders	num_cyl=	7	
Hydraulic or electromagnetic coupling (yes, no)	coupling=	no	
Shaft power at rated output of main engine	*P*=	9650	kW
Rotational speed of propeller	*n* =	123	rpm
PROPELLER DATA			
Service (main propulsion, side truster)	serv=	mp	
Type (S , DB, CP)	prop_type=	S	
Number of blades	z=	4	
Diameter of propeller	*D*=	6	m
Pitch (mean, or designed service operation for CP)	*H*=	4,040	m
Rake at blade tip	*m*=	-0,15	m
Diameter of hub	D_h =	**983,9**	mm
Blades material designation			
Blades material (special bronze..a..cast steel...b)	mat_type=	a	
Tensile strength of blades material	R_m =	650	N/mm²

PROPELLER DIMENSIONS

position of section	ratio ***r/R*** for A, c	section values [mm] width b	calculated coeff.A	cent. Forces coeff.c	thickness ***s*** [mm] designed	**required**	satisfactory yes/no
blade root	0,20	0,925	137,30	0,5	273,6	**272,65**	YES
cp-propeller	0,30	1,127	127,64	0,3	228,4	**229,59**	NO
mid radius	0,60	1,688	79,13	0	126,1	**116,31**	YES

CALCULATED COEFFICIENTS

Ratio pitch/diametar	**H/D=**	0,6733
Material tensile streenth value for calculation	**R'm=**	565
Coefficient dependent on ship type, ice strenthening and propeller materia	**k=**	7,8

American Bureau of Shipping (ABS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 4, Chapter 3, Section 3

Name of ship		**m/b KASTAV**				**Type W. B.3.45.**	
Blades material type					*mat_ABS=*	**NiAlCu**	
Expanded blade area					*a=*	0,507	
Area of expanded cylindrical section at 0,25R					$a_{0,25}$=	185536	mm²
Area of expanded cylindrical section at 0,35R					$a_{0,35}$=	189448	mm²
Section modulus at 0,25R					$C_{0,25}$=	0,053	
Section modulus at 0,35R					$C_{0,35}$=	0,038	
Section area coefficient at 0,25R					$C_{0,25S}$=	0,735	
Section area coefficient at 0,35R					$C_{0,35S}$=	0,737	
Propeller diametar					*D=*	6	m
Material constant *f*					*f=*	**2,6**	
Material constant *w*					*w=*	**7,5**	
Power of rated speed					*H=*	9650	kW
Moment of inertia at 0,25R					$I_{0,25}$=	850229580	mm⁴
Moment of inertia at 0,35R					$I_{0,35}$=	615923175	mm⁴
Rake of propeller blade					*K=*	-150	mm
Coefficient K1 as given					K_1=	337	
Number of blades					*N=*	4	
Pitch at 0,25R					$P_{0,25}$=	545,33	m
Pitch at 0,35R					$P_{0,35}$=	634,33	m
Pitch at 0,70R					$P_{0,70}$=	4,229	m
RPM at rated speed					*R=*	123	rpm
Factor					*S=*	1,0	
Coefficient K2 as given					K_2=	271	
Expanded width at 0,25R					$W_{0,25}$=	924,8	mm
Expanded width at 0,35R					$W_{0,35}$=	1127,2	mm
Expanded width at 0,60R divided by diameter					$C_{0,60}$=	0,28	mm
Expanded width at 0,90R divided by diameter					$C_{0,90}$=	0,27	mm
Coefficient K3 as given					K_3=	12,6	
Rake angle					ϕ=	5	°
Skew angle					Θ=	28,8	°
Minimum specified yield strength					*Y=*	**245**	N/mm²
Pitch at the 0,6 radius divided by propeller diameter					$P_{0,6R}$=	0,70	
Pitch at the 0,9 radius divided by propeller diameter					$P_{0,9R}$=	0,66	
					T=	**158,78**	

R	0,25	0,35	0,60
A	2347,35	1905,42	
B	166,98	190,27	
C	1847664,75	2653940,19	
t	**231,03**	**164,94**	**110,43**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

Bureau veritas (BV)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Chapter 1, Section 8 , Propellers

Name of ship	**m/b KASTAV**	**Type W. B.3.45.**	
Blades material type	mat_BV=	**AlCu**	
SHIP DATA			
Minimum tensile strength	R_m =	590	N/mm^2
Density	δ =	7,6	kg/dm^3
Material factor	f=	8,3	
Ratio diameter/pitch	ρ=	1,485	
Pitch at 25% radius	$H_{0,25}$ =	3,272	m
Pitch at 35% radius	$H_{0,35}$ =	3,806	m
Pitch at 60% radius	$H_{0,60}$ =	4,173	m
Pitch at 70% radius	$H_{0,70}$ =	4,229	m
Propeller diameter	D=	6	m
Continued transmitted torque	M_T =	749,248	kN
Maximum contionous power of propeller	P=	9650	kW
Rotaional speed of the propeller	N=	123	rev/min
Developed area ratio	B=	0,507	
Rake	h=	-0,15	mm
Width of blade at the 0,25R	$l_{0,25R}$ =	924,8	mm
Width of blade at the 0,35R	$l_{0,35R}$ =	1127,2	mm
Width of blade at the 0,60R	$l_{0,60R}$ =	1688,0	mm
Number of blades	Z=	4	

Thickness of propeller blades t			
R	0,25	0,35	0,60
t	**254,94**	**194,84**	**112,04**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

China classification society ship register (CCS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 3, Chapter 11 , Shafting and Propellers

Name of ship			**m/b KASTAV**				**Type W. B.3.45.**	
Input data								
Blades material type						mat_ccs=	**CU3(NiAl)**	
Y - Power cofficient								
Propeller diameter						*D*=	6	m
Pitch at 25% radius						$P_{0,25}$=	3,272	m
Pitch at 35% radius						$P_{0,35}$=	3,806	m
Pitch at 60% radius						$P_{0,60}$ =	4,173	m
Pitch at 70% radius						$P_{0,70}$=	4,229	m
Propeller radius						*R*=	3	m
Rated power of the main engine						N_e =	9650	kW
Number of blades						*Z*=	4	
Blade width at the section 0,25R						$b_{0,25}$ =	0,9248	m
Blade width at the section 0,35R						$b_{0,35}$ =	1,1272	m
Blade width at the section 0,60R						$b_{0,60}$ =	1,6880	m
Speed of propeller at rated power of main engine						n_e =	123,000	r/min
X - Speed coefficient								
Rake angle of propeller blade						ε=	5	°
Density of the propeller material						*G*=	**7,6**	g/cm^3
Expanded area ratio						A_d =	0,507	
K - material coefficient						*K*=	**1,38**	

r/K	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
0,25R	634	250	1410	4	82	34	41	380
0,35R	520	285	1320	16	64	28	57	420
0,6R	207	151	635	34	23	12	65	330

Calculated results

	0,25	0,35	0,60
A1=	4176,52	3118,68	1250,96
A2=	1047,10	1026,60	774,34
Y =	120467,05	73802,49	19768,37
X =	1,42	0,87	0,23
Thickness of propeller blades t			
t	**295,45**	**231,26**	**119,69**
satisfactory	**NO**	**NO**	**YES**

Germanischer lloyd (GL)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Rules 1, Chapter 2, Section 6

Name of ship	**m/b KASTAV**				**Type W. B.3.45.**	
Blades material type				mat_gl=	**NiAlCu**	
Input data						
Developed blade width of cylindrical secitons at radii 0.25R				$B_{0.25}$=	924,8	mm
Developed blade width of cylindrical secitons at radii 0.35R				$B_{0.35}$=	1127,2	mm
Developed blade width of cylindrical secitons at radii 0.60R				$B_{0.60}$=	1688	mm
Charasteristic material value for propeller materia				C_w=	**590**	
Diametar of propeller				D=	6000	mm
Blade rake to aft acc.				e=	-0,15	mm
Factors in formulae (7,2 for solid propellers and 6,2 for seperatly cast blades)				f_1=	7,2	
Factors in formulae				f_2=	0,5	
Pressure side pitch propeller blade at radii 0.25R				$H_{0.25}$=	3272	mm
Pressure side pitch propeller blade at radii 0.35R				$H_{0.35}$=	3806	mm
Pressure side pitch propeller blade at radii 0.60R				$H_{0.60}$=	4173	mm
Mean effective pressure side pitch for pitch varying wth the radius				H_m=	4000	mm
Propeller speed				n_2=	123	min^{-1}
Nominal power of driving engine				P_w=	9650	kW
Values of k for varius profile shapes at 0.25R				$k_{0.25}$=	77	
Values of k for varius profile shapes at 0.35R				$k_{0.35}$=	66	
Values of k for varius profile shapes at 0.60R				$k_{0.60}$=	47	
Number of blades				z=	4	
Angle between lines of face generatrix and normal				ε=	15	°
Pitch angle of profile at radii 0.25R				$\alpha_{0.25}$=	34,705441	°
Pitch angle of profile at radii 0.35R				$\alpha_{0.35}$=	29,9954046	°
Pitch angle of profile at radii 0.60R				$\alpha_{0.60}$=	20,2346431	°
Wake fraction				w=	0,25	

$\sin\alpha_{0.25}$=	0,569357595	$\cos\alpha_{0.25}$=	0,822089976
$\sin\alpha_{0.35}$=	0,499930538	$\cos\alpha_{0.35}$=	0,866065504
$\sin\alpha_{0.60}$=	0,345865583	$\cos\alpha_{0.60}$=	0,938284071

R	0,25	0,35	0,60
K_0	1,0120	1,0116	1,0116
K_1	4,1825	3,8273	3,1590

t	**308,97**	**242,25**	**142,38**
satisfactory	**NO**	**NO**	**NO**

CALCULATED COEFFICIENTS

size factor		C_G=	1,040	$1,1>C_g>0,8$
dynamic factor		C_{Dyn}=	0,911	$C_{dyn}>1,0$
σ_{max}/σ_m		σmax/σm=	1,381	
		cosε=	0,66031671	
		E_T=	**0,763**	
		T=	1381119,92	
		V_S=	12,30	

Indian Register of Shipping (IRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 4, Chapter 4, Section 7

Name of ship			**m/b KASTAV**			**Type W. B.3.45.**	
Blades material type					mat_typeIRS=	**NiAl(CU3)**	
SHIP DATA							
Minimum tensile strength					R_m=	590	N/mm²
Material constant					*w*=	7,5	
Material constant					*f*=	25,7	
Maximum shaft power					*P*=	9650	kW
Revolutions per minute of propeller					*R*=	123	rpm
Diameter					*D*=	6	m
Length of blade section at 0,25R					$L_{0,25}$=	924,8	mm
Length of blade section at 0,35R					$L_{0,35}$=	1127,2	mm
Length of blade section at 0,70R					$L_{0,70}$=	1792,8	mm
Rake at blade tip					*K*=	-150	mm
Number of blades					*N*=	4	
Developed area ratio					*a*=	0,507	
Pitch at 25% radius					$P_{0,25}$=	3,272	m
Pitch at 35% radius					$P_{0,35}$=	3,806	m
Pitch at 60% radius					$P_{0,6}$=	4,173	m
Pitch at 70% radius					$P_{0,7}$=	4,229	m
Section modulus at 0,25R					$C_{0,25R}$=	0,073	
Section modulus at 0,35R					$C_{0,35R}$=	0,070	
Section modulus at 0,60R					$C_{0,60R}$=	0,083	
Section area coefficient at 0,25R					$C_{S0,25R}$=	0,715	
Section area coefficient at 0,35R					$C_{S0,35R}$=	1,334	
Section area coefficient at 0,60R					$C_{S0,60R}$=	0,944	

R	0,25	0,35
A	11,86	11,42
B	166,98	190,27
C	19306,11	23542,03
t	**396,80**	**275,24**
satisfactory	**NO**	**NO**

0,25 for fixed pitch propellers
0,35 for controllable-pitch propellers

Korean Register of Shipping (KRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Machinery installation, Chapter 3

Name of ship	**m/b KASTAV**				**Type W. B.3.45.**		
Blades material type				mat_kr=	**CU3(NiAlCu)**		
Input data							
Output of main propulsion machinery				*P*=	9650	kW	
Number of blades				*Z*=	4		
Revolutions per minute (/100)				*N*=	1,230		
Section modulus values				C_X=	0,058		
Width of blade at the 0,25R				$l_{0,25R}$=	0,925	m	
Width of blade at the 0,35R				$l_{0,35R}$=	1,127	m	
Width of blade at the 0,60R				$l_{0,60R}$=	1,688	m	
Radius of propeller				*R*=	3,000	m	
Coefficient				***K1,K2***			
Diameter of propeller				*D*=	6	m	
Rake of blade at propeller shaft				*E*=	-0,15	m	
Expanded area ratio				*ξ*=	0,017940552		
Expanded area of propeller				A_E=	0,507		
Values given by table				*Km*=	**1,3**		

CALCULATED RESULTS

R	0,25	0,35	0,60
K1=	36,370	28,835	10,805
K2=	1,297	1,298	1,299

Thickness of propeller blades t

t	**320,16**	**258,20**	**129,09**
satisfactory	**NO**	**NO**	**NO**

Lloyd's Register (LR)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 12, Chapter 1, Propellers

Name of ship:	**m/b KASTAV**		**Type W. B.3.45.**
Blades material type	mat_LR=	**CU3(NiAlCu)**	
Input data			
Maximum shaft power	P=	9650	kW
rpm	R=	123	rpm
Propeller diameter	D=	6	m
Pitch at 25% radius	$P_{0,25}$=	3,272	m
Pitch at 35% radius	$P_{0,35}$=	3,806	m
Pitch at 60% radius	$P_{0,6}$=	4,173	m
Pitch at 70% radius	$P_{0,7}$=	4,229	m
Length of blade section at 25% radius	$L_{0,25}$=	924,8	mm
Length of blade section at 35% radius	$L_{0,35}$=	1127,2	mm
Length of blade section at 60% radius	$L_{0,6}$=	1688	mm
Rake at blade tip	A=	-150	mm
Number of blades	N=	4	
Developed area ratio	B=	0,507	
Material specified tensile strength	T=	650	N/mm^2
Density	G=	**7,6**	g/cm^3
Alloweble stress	U=	**56**	N/mm^2
Skew angle	q_s=	28,8	°
Actual face modulus/(0,09T^2 L)	E=	0,2	

CALCULATED COEFFICIENTS

K= 18654,42

R	C	F	M	*t*	*satisfactory*
0,25	1,0	1,35	2,53	**285,40**	NO
0,35	1,4	2,23	3,01	**222,30**	YES
0,60	1,6	5,20	3,17	**129,93**	NO

Nippon Kaiji Kyokai (NK)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part D , Chapter 7

Name of ship	**m/b KASTAV**		**Type W. B.3.45.**			
Input data						
Maximum continuous output of main propulsion machinery		H=	9650	kW		
Number of maximum continuous rpm divided by 100		N_0=	1,23	rpm/100		
Diameter of propeller		D=	6	m		
Pitch at radius in question (0,25R)		$P_{0,25}$=	3,272	m		
Pitch at radius in question (0,60R)		$P_{0,60}$=	4,173	m		
Pitch at radius of 0,7R		$P_{0,70}$=	4,229	m		
Expanded area ratio of propeller		a_e=	0,507			
Width of blade at radius in question (0,25R)		L_{25}=	92,48	cm		
Width of blade at radius in question (0,60R)		L_{60}=	168,8	cm		
Number of blades		Z=	4			
Rake at the tip of the blade		E=	-15	cm		
Imaginary thickness of blade at propeller shaft centreline		t_0=	3,57	cm		
Value dependent upon propeller material (Rules, Table D7.2)		K=	1,3			
Skew angle (Guidance, item D7.2.1)		ϑ=	28,8	°		
Depth of ship for strength computation		D_{ds}=	17,79	m		
Load draught		d_s=	2,34	m		
Breadth of ship		B=	33,2	m		
Block coefficient of ship		C_b=	0,4			
CALCULATED RESULTS						
Coefficient of increase in stress during bad weather		S=	1,399			
Nominal mean wake in the propeller disc		ω=	0,621			
Peak to peak wake fluctuation in the propeller disk at 0,7R		$\Delta\omega$=	-1,256			
Coefficients for the calculation of A_1, A_2 and A_3		C_1=	0,430			
		C_2=	0,231			
		C_3=	0,110			
Coefficients for the calculation of W		A_1=	-1,195			
		A_2=	-1,474			
		A_3=	8,593			
	R	0,25	0,35	0,60		
Thickness of blades (excluding the fillet of blade root)	t=	27,36	22,84	12,61	cm	
Coefficient for the calculation of W	A_4=	3,52	2,41	1,26		
Coefficient concerning alternate stress, calculated	W=	2,800	2,800	2,800		
Coefficient concerning alternate stress, taken		2,270	2,270	2,270		
Values for the calculation of K_1 (Rules, Table D7.1)	k_1=	1,62	0,827	0,281		
	k_2=	0,386	0,308	0,113		
	k_3=	0,239	0,131	0,022		
Values for the calculation of K_2 (Rules, Table D7.1)	k_4=	1,92	1,79	1,24		
	k_5=	1,71	1,56	1,09		
Coefficient of the radius in question	K_1=	16,876	13,801	4,993		
Coefficient for the calculation of $t_{required}$	K_2=	1,646	1,625	1,524		
Coefficient, when 25°<θ≤60° (Guidance, item D7.2.1)	A=	1,013	1,013	1,038		
Thickness of blades, required	$t_{required}$=	**26,61**	**24,22**	**11,41**	cm	
	$t_{required}$=	**266,12**	**242,25**	**114,12**	mm	
Criterion for acceptance	$t \geq t_{required}$=	**YES**	**NO!**	**YES**		

Polish Register of Shipping(PRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Machinery installation, Section 3

Name of ship	**m/b KASTAV**		**Type W. B.3.45.**	
Coefficient	$k=$	1		
Coefficient A at 0,25R	$A_{0,25}=$	388		
Coefficient A at 0,35R	$A_{0,35}=$	364		
Coefficient A at 0,60R	$A_{0,60}=$	243		
Propeller shaft power	$P=$	9650	kW	
Rated number of propeller shaft revolutions	$n=$	123	rpm	
Number of blades	$Z=$	4		
Width of blade at the 0,25R	$l_{0,25R}=$	0,925	m	
Width of blade at the 0,35R	$l_{0,35R}=$	1,127	m	
Width of blade at the 0,60R	$l_{0,60R}=$	1,688	m	
Diametar of propeller	$D=$	6	m	
Radius of propeller	$R=$	3,000	m	
Pitch ratio	$H/D=$	0,673333		
Tensile strength	$M=$	534	MPa	
Ultimate tensile strength	$R_m=$	590	MPa	

R	0,25	0,35	0,60
t	**284,33**	**241,61**	**131,80**
satisfactory	**NO**	**NO**	**NO**

Registro Italiano Navale (RINA)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Machinery installation, Section 8

Name of ship		**m/b KASTAV**			**Type W. B.3.45.**		
Blades material type					mat_BV=	**AlCu**	
SHIP DATA							
Minimum tensile strength					R_m =	590	N/mm^2
Density					δ =	7,6	kg/dm^3
Material factor					f=	8,3	
Ratio pitch/diameter					p=	1,485	
Pitch at 25% radius					$H_{0,25}$ =	3,272	m
Pitch at 35% radius					$H_{0,35}$ =	3,806	m
Pitch at 60% radius					$H_{0,60}$ =	4,173	m
Pitch at 70% radius					$H_{0,70}$ =	4,229	m
Propeller diameter					D=	6	m
Continued transmitted torque					M_T =	749,248	kN
Maximum contionous power of propeller					P=	9650	kW
Rotaional speed of the propeller					N=	123	rev/min
Developed area ratio					B=	0,507	
Rake					h=	-0,15	mm
Width of blade at the 0,25R					$l_{0,25R}$ =	924,8	mm
Width of blade at the 0,35R					$l_{0,35R}$ =	1127,2	mm
Width of blade at the 0,60R					$l_{0,60R}$ =	1688,0	mm
Number of blades					Z=	4	

R	0,25	0,35	0,60
t	**254,94**	**194,84**	**112,04**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

Russian Maritime Register of Shipping (RMRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Chapter 6 (6.2), Blade thickness

Name of ship	**m/b KASTAV**				**Type W. B.3.45.**		
Ship type			**Ships without ice class**				
Coefficient to be determined by formula					*A*		
Coefficient					*k*=	**8**	
Coefficient of centrifugal stresses					*c*=	**0,037479**	
Shaft power					*P*=	9650	kW
Number of blades					*Z*=	4	
Width of blade at the 0,25R					$b_{0,25R}$=	0,925	m
Width of blade at the 0,35R					$b_{0,35R}$=	1,127	m
Width of blade at the 0,60R					$b_{0,60R}$=	1,688	m
Tensile strength					R_m=	650	MPa
Material tensile streenth value for calculation					*σ*=	565	MPa
Rated number of propeller shaft revolutions					*n* =	123	rpm
Blade rake					*m*=	-150	mm
Propeller diametar					*D*=	6	m

R	0,25	0,35	0,60
A	139,67	129,75	82,66
t	**280,06**	**235,57**	**122,35**
satisfactory	**NO**	**NO**	**YES**

PRILOG C: Prikaz rezultata proračuna za m/b "Pojišan"

CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
m/v POJIŠAN (CRS No. 12201)
PROPELLER DETAIL - Type W. B.3.45.

IACS International Association of Classification Societies

INPUT DATA

Diameter of propeller	$D=$	0,83	m
Pitch	$H=$	1,08	m
Number of blades	$Z=$	5	
E.A.R.	$A/A_0=$	0,940	
Power	$P=$	610	kW
Rotetional speed of propeller	$n=$	1034	rpm
Tensile strenght	$R_m=$	650	N/mm²
Rake at blade tip	$m=$	0	m
Pitch at 25% radius	$P_{0,25}=$	967	mm
Pitch at 35% radius	$P_{0,35}=$	1005	mm
Pitch at 60% radius	$P_{0,6}=$	1078	mm
Pitch at 70% radius	$P_{0,7}=$	1084	mm
Length of blade section at 25% radius	$L_{0,25}=$	189,6	mm
Length of blade section at 35% radius	$L_{0,35}=$	232,2	mm
Length of blade section at 70% radius	$L_{0,7}=$	382,7	mm
Length of blade section at 60% radius	$L_{0,6}=$	358,3	mm
Rake angle	$\mu_s=$	7	°
Skew angle	$q_s=$	25	°
Moment of inertia at 0,2*R*	$I_{0,2t}=$	1182255	mm⁴
Moment of inertia at 0,3*R*	$I_{0,3t}=$	651213	mm⁴
Moment of inertia at 0,6*R*	$I_{0,6t}=$	28010	mm⁴

CALCULATION RESULTS

Propeller blade thickness

Absolute thickness	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	**35,2**	**29,0**	**13,6**
Required, *t*	mm	mm	mm
CRS	33,7	28,5	**13,8**
ABS	30,2	28,6	**17,5**
BV	31,4	24,0	**13,6**
CCS	28,3	23,1	11,5
GL	**38,4**	**30,3**	**17,7**
IRS	34,1	25,6	-
KRS	32,8	28,7	11,7
LR	27,6	21,4	12,4
NKK	30,2	27,4	11,7
PRS	**38,1**	**32,4**	**17,5**
RINA	31,4	24,0	**13,6**
RMRS	**39,1**	**33,5**	**18,9**
Mean value	32,9	27,3	14,5
Stand. dev. ±	3,9	3,8	2,8

Rel. thickness desig. to req.	Blade section position		
	0,25 *R*	0,35 *R*	0,60 *R*
Designed, *t*	0,0%	0,0%	0,0%
Required, *t*	%	%	%
CRS	4,7%	2,0%	**-2,1%**
ABS	16,6%	1,6%	**-22,6%**
BV	12,2%	21,2%	**-0,1%**
CCS	24,7%	25,5%	17,5%
GL	**-8,1%**	**-4,1%**	**-23,2%**
IRS	3,4%	13,2%	-
KRS	7,5%	1,0%	15,5%
LR	27,6%	35,4%	9,2%
NKK	16,8%	6,0%	15,9%
PRS	**-7,4%**	**-10,3%**	**-22,4%**
RINA	12,2%	21,2%	**-0,1%**
RMRS	**-9,8%**	**-13,5%**	**-28,2%**

CROATIAN REGISTER OF SHIPPING (CRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 7 - Machinery installation, Section 3

Name of ship	**m/b POJIŠAN**	**Type W. B.3.45.**	
SHIP DATA			
Type of ship	sh_type=	1	
Navigational area (1....8)	navarea=	3	
Ice strengthening category (1AS, 1A, 1B, 1C , none)	ice_cat=	none	
PROPULSION PLANT DATA			
Number of main engine cylinders	num_cyl=	12	
Hydraulic or electromagnetic coupling (yes, no)	coupling=	yes	
Shaft power at rated output of main engine	*P*=	610	kW
Rotational speed of propeller	*n* =	1034	rpm
PROPELLER DATA			
Service (main propulsion, side truster)	serv=	mp	
Type (S , DB, CP)	prop_type=	S	
Number of blades	z=	5	
Diameter of propeller	*D*=	0,83	m
Pitch (mean, or designed service operation for CP)	*H*=	1,080	m
Rake at blade tip	*m*=	0	m
Diameter of hub	D_h =	**130**	mm
Blades material designation			
Blades material (special bronze..a..cast steel...b)	mat_type=	a	
Tensile strength of blades material	R_m =	650	N/mm²

PROPELLER DIMENSIONS

position of section	ratio ***r/R*** for A, c	section values [mm] width b	calculated coeff.A	cent. Forces coeff.c	thickness ***s*** [mm] designed	thickness ***s*** [mm] **required**	satisfactory yes/no
blade root	0,20	0,190	101,55	0,5	35,24	**33,67**	YES
cp-propeller	0,30	0,232	95,01	0,3	29,02	**28,46**	YES
mid radius	0,60	0,358	60,43	0	13,56	**13,85**	NO

CALCULATED COEFFICIENTS

Ratio pitch/diametar	**H/D=**	1,3012
Material tensile streenth value for calculation	**R'm=**	565
Coefficient dependent on ship type, ice strenthening and propeller materia	**k=**	7,41

American Bureau of Shipping (ABS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 4, Chapter 3, Section 3

Name of ship	**m/b POJIŠAN**	**Type W. B.3.45.**	
Blades material type	*mat_ABS=*	**NiAlCu**	
Expanded blade area	*a=*	0,94	
Area of expanded cylindrical section at 0,25R	$a_{0,25}$=	7357,3	mm²
Area of expanded cylindrical section at 0,35R	$a_{0,35}$=	6726,4	mm²
Section modulus at 0,25R	$C_{0,25}$=	0,142	
Section modulus at 0,35R	$C_{0,35}$=	0,072	
Section area coefficient at 0,25R	$C_{0,25S}$=	0,691	
Section area coefficient at 0,35R	$C_{0,35S}$=	0,712	
Propeller diametar	*D=*	0,83	m
Material constant *f*	*f=*	**2,6**	
Material constant *w*	*w=*	**7,5**	
Power of rated speed	*H=*	610	kW
Moment of inertia at 0,25R	$I_{0,25}$=	118225500	mm^4
Moment of inertia at 0,35R	$I_{0,35}$=	651213	mm^4
Rake of propeller blade	*K=*	0	mm
Coefficient K1 as given	K_1=	337	
Number of blades	*N=*	5	
Pitch at 0,25R	$P_{0,25}$=	0,967	m
Pitch at 0,35R	$P_{0,35}$=	1,005	m
Pitch at 0,70R	$P_{0,70}$=	1,084	m
RPM at rated speed	*R=*	1034	rpm
Factor	*S=*	1,0	
Coefficient K2 as given	K_2=	271	
Expanded width at 0,25R	$W_{0,25}$=	189,6	mm
Expanded width at 0,35R	$W_{0,35}$=	232,2	mm
Expanded width at 0,60R divided by diameter	$C_{0,60}$=	0,43	mm
Expanded width at 0,90R divided by diameter	$C_{0,90}$=	0,36	mm
Coefficient K3 as given	K_3=	12,6	
Rake angle	ϕ=	7	°
Skew angle	Θ=	25	°
Minimum specified yield strength	*Y=*	**245**	N/mm^2
Pitch at the 0,6 radius divided by propeller diameter	$P_{0,6R}$=	1,30	
Pitch at the 0,9 radius divided by propeller diameter	$P_{0,9R}$=	1,24	
	T=	**183,75**	

R	0,25	0,35	0,60
A	10,69	9,55	
B	46,33	52,80	
C	1103,76	1409,30	

t	**30,24**	**28,56**	**17,52**
satisfactory	**YES**	**YES**	**NO**

Bureau veritas (BV)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Chapter 1, Section 8 , Propellers

Name of ship		**m/b POJIŠAN**				**Type W. B.3.45.**	
Blades material type					mat_BV=	**AlCu**	
SHIP DATA							
Minimum tensile strength					R_m =	590	N/mm^2
Density					δ =	7,6	kg/dm^3
Material factor					f=	8,3	
Ratio diameter/pitch					ρ=	0,769	
Pitch at 25% radius					$H_{0,25}$ =	0,967	m
Pitch at 35% radius					$H_{0,35}$ =	1,005	m
Pitch at 60% radius					$H_{0,60}$ =	1,078	m
Pitch at 70% radius					$H_{0,70}$ =	1,084	m
Propeller diameter					D=	0,83	m
Continued transmitted torque					M_T =	5,633946	kN
Maximum contionous power of propeller					P=	610	kW
Rotaional speed of the propeller					N=	1034	rev/min
Developed area ratio					B=	0,94	
Rake					h=	0	mm
Width of blade at the 0,25R					$l_{0,25R}$ =	189,6	mm
Width of blade at the 0,35R					$l_{0,35R}$ =	232,2	mm
Width of blade at the 0,60R					$l_{0,60R}$ =	358,3	mm
Number of blades					Z=	5	

Thickness of propeller blades t			
R	0,25	0,35	0,60
t	**31,42**	**23,95**	**13,57**
satisfactory	**YES**	**YES**	**NO**

China classification society ship register (CCS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 3, Chapter 11 , Shafting and Propellers

Name of ship	**m/b POJIŠAN**	**Type W. B.3.45.**	
Input data			
Blades material type	mat_ccs=	**CU3(NiAl)**	
Y - Power cofficient			
Propeller diameter	*D*=	0,83	m
Pitch at 25% radius	$P_{0,25}$=	0,967	m
Pitch at 35% radius	$P_{0,35}$=	1,005	m
Pitch at 60% radius	$P_{0,60}$ =	1,078	m
Pitch at 70% radius	$P_{0,70}$=	1,084	m
Propeller radius	*R*=	0,415	m
Rated power of the main engine	N_e =	610	kW
Number of blades	*Z*=	5	
Blade width at the section 0,25R	$b_{0,25}$ =	0,1896	m
Blade width at the section 0,35R	$b_{0,35}$ =	0,2322	m
Blade width at the section 0,60R	$b_{0,60}$ =	0,3583	m
Speed of propeller at rated power of main engine	n_e =	1034,0	r/min
X - Speed coefficient			
Rake angle of propeller blade	ε=	7	°
Density of the propeller material	*G*=	**7,6**	g/cm^3
Expanded area ratio	A_d =	0,94	
K - material coefficient	*K*=	**1,38**	

r/K	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
0,25R	634	250	1410	4	82	34	41	380
0,35R	520	285	1320	16	64	28	57	420
0,6R	207	151	635	34	23	12	65	330

Calculated results

	0,25	0,35	0,60
A1=	1302,53	1067,94	410,71
A2=	941,66	1033,73	867,38
Y =	1102,37	738,01	183,94
X =	0,60	0,40	0,10
Thickness of propeller blades t			
t	**28,25**	**23,12**	**11,54**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

Germanischer lloyd (GL)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Rules 1, Chapter 2, Section 6

Name of ship	**m/b POJIŠAN**				**Type W. B.3.45.**	
Blades material type				mat_gl=	**MnAlCu**	
Input data						
Developed blade width of cylindrical secitons at radii 0.25R				$B_{0.25}$=	189,6	mm
Developed blade width of cylindrical secitons at radii 0.35R				$B_{0.35}$=	232,2	mm
Developed blade width of cylindrical secitons at radii 0.60R				$B_{0.60}$=	358,3	mm
Charasteristic material value for propeller materia				C_w=	**630**	
Diametar of propeller				D=	830	mm
Blade rake to aft acc.				e=	0	mm
Factors in formulae (7,2 for solid propellers and 6,2 for seperatly cast blades)				f_1=	7,2	
Factors in formulae				f_2=	0,5	
Pressure side pitch propeller blade at radii 0.25R				$H_{0.25}$=	967	mm
Pressure side pitch propeller blade at radii 0.35R				$H_{0.35}$=	1005	mm
Pressure side pitch propeller blade at radii 0.60R				$H_{0.60}$=	1078	mm
Mean effective pressure side pitch for pitch varying wth the radius				H_m=	1010	mm
Propeller speed				n_2=	1034	min^{-1}
Nominal power of driving engine				P_w=	610	kW
Values of k for varius profile shapes at 0.25R				$k_{0.25}$=	73	
Values of k for varius profile shapes at 0.35R				$k_{0.35}$=	62	
Values of k for varius profile shapes at 0.60R				$k_{0.60}$=	44	
Number of blades				z=	5	
Angle between lines of face generatrix and normal				ε=	10	°
Pitch angle of profile at radii 0.25R				$\alpha_{0.25}$=	55,947354	°
Pitch angle of profile at radii 0.35R				$\alpha_{0.35}$=	47,7746815	°
Pitch angle of profile at radii 0.60R				$\alpha_{0.60}$=	34,5420253	°
Wake fraction				w=	0,35	

$sin\alpha_{0.25}$=	0,82852341	$cos\alpha_{0.25}$=	0,559954426
$sin\alpha_{0.35}$=	0,740507696	$cos\alpha_{0.35}$=	0,672047879
$sin\alpha_{0.60}$=	0,567010564	$cos\alpha_{0.60}$=	0,82371052

R	0,25	0,35	0,60
K_0	1,0747	1,0756	1,0766
K_1	0,5262	0,4884	0,4012

t	**38,37**	**30,27**	**17,66**
satisfactory	**NO**	**NO**	**NO**

CALCULATED COEFFICIENTS					
size factor			C_G=	0,811	$1,1>C_g>0,8$
dynamic factor			C_{Dyn}=	1,145	$C_{dyn}>1,0$
σ_{max}/σ_m			σmax/σm=	1,718	
			$cos\varepsilon$=	0,66031671	
			E_T=	**1,437**	
			T=	35140,2871	
			V_S=	30,55	

Indian Register of Shipping (IRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 4, Chapter 4, Section 7

Name of ship			**m/b POJIŠAN**			**Type W. B.3.45.**	
Blades material type					mat_typeIRS=	**NiAl(CU3)**	
SHIP DATA							
Minimum tensile strength					R_m=	590	N/mm²
Material constant					*w*=	7,5	
Material constant					*f*=	25,7	
Maximum shaft power					*P*=	610	kW
Revolutions per minute of propeller					*R*=	1034	rpm
Diameter					*D*=	0,83	m
Length of blade section at 0,25R					$L_{0,25}$=	189,6	mm
Length of blade section at 0,35R					$L_{0,35}$=	232,2	mm
Length of blade section at 0,70R					$L_{0,7}$=	382,7	mm
Rake at blade tip					*K*=	0	mm
Number of blades					*N*=	5	
Developed area ratio					*a*=	0,940	
Pitch at 25% radius					$P_{0,25}$=	0,967	m
Pitch at 35% radius					$P_{0,35}$=	1,005	m
Pitch at 60% radius					$P_{0,6}$=	1,078	m
Pitch at 70% radius					$P_{0,7}$=	1,084	m
Section modulus at 0,25R					$C_{0,25R}$=	0,142	
Section modulus at 0,35R					$C_{0,35R}$=	0,115	
Section modulus at 0,60R					$C_{0,60R}$=	0,029	
Section area coefficient at 0,25R					$C_{S0,25R}$=	0,691	
Section area coefficient at 0,35R					$C_{S0,35R}$=	0,712	
Section area coefficient at 0,60R					$C_{S0,60R}$=	0,726	

R	0,25	0,35
A	10,60	9,23
B	46,33	52,80
C	8435,55	10337,55
t	**34,10**	**25,63**
satisfactory	**YES**	**YES**

0,25 for fixed pitch propellers
0,35 for controllable-pitch propellers

Korean Register of Shipping (KRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Machinery installation, Chapter 3

Name of ship	**m/b POJIŠAN**				**Type W. B.3.45.**		
Blades material type				mat_kr=	**CU3(NiAlCu)**		
Input data							
Output of main propulsion machinery				P=	610	kW	
Number of blades				Z=	5		
Revolutions per minute (/100)				N=	10,340		
Section modulus values				C_X=	0,142		
Width of blade at the 0,25R				$l_{0,25R}$=	0,190	m	
Width of blade at the 0,35R				$l_{0,35R}$=	0,232	m	
Width of blade at the 0,60R				$l_{0,60R}$=	0,358	m	
Radius of propeller				R=	0,415	m	
Coefficient				***K1,K2***			
Diameter of propeller				D=	0,83	m	
Rake of blade at propeller shaft				E=	0	m	
Expanded area ratio				ξ=	1,738209071		
Expanded area of propeller				A_E=	0,94		
Values given by table				Km=	**1,3**		

CALCULATED RESULTS

R	0,25	0,35	0,60
K1=	22,930	17,614	6,809
K2=	0,935	0,942	1,145

Thickness of propeller blades t

t	**32,78**	**28,74**	**11,74**
satisfactory	**YES**	**YES**	**YES**

Lloyd's Register (LR)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part 12, Chapter 1, Propellers

Name of ship:	**m/b POJIŠAN**	**Type W. B.3.45.**	
Blades material type	mat_LR=	**CU3(NiAlCu)**	
Input data			
Maximum shaft power	*P* =	610	kW
rpm	*R* =	1034	rpm
Propeller diameter	*D* =	0,83	m
Pitch at 25% radius	$P_{0,25}$=	0,967	m
Pitch at 35% radius	$P_{0,35}$=	1,005	m
Pitch at 60% radius	$P_{0,6}$=	1,078	m
Pitch at 70% radius	$P_{0,7}$=	1,084	m
Length of blade section at 25% radius	$L_{0,25}$=	189,6	mm
Length of blade section at 35% radius	$L_{0,35}$=	232,2	mm
Length of blade section at 60% radius	$L_{0,6}$=	358,3	mm
Rake at blade tip	*A* =	0	mm
Number of blades	*N* =	5	
Developed area ratio	*B* =	0,94	
Material specified tensile strength	*T* =	650	N/mm^2
Density	*G* =	**7,6**	g/cm^3
Alloweble stress	*U* =	**56**	N/mm^2
Skew angle	q_s =	25	°
Section modulus	*E* =	1	

CALCULATED COEFFICIENTS

K= 6470,13

R	C	F	M	*t*	*satisfactory*
0,25	1,0	1,97	4,27	**27,61**	YES
0,35	1,4	2,81	4,50	**21,43**	YES
0,60	1,6	5,80	4,73	**12,42**	YES

Nippon Kaiji Kyokai (NK)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Part D , Chapter 7

Name of ship	m/b POJIŠAN		Type W. B.3.45.	
Input data				
Maximum continuous output of main propulsion machinery	H=	610	kW	
Number of maximum continuous rpm divided by 100	N_0=	10,34	rpm/100	
Diameter of propeller	D=	0,83	m	
Pitch at radius in question (0,25R)	$P_{0,25}$=	0,967	m	
Pitch at radius in question (0,60R)	$P_{0,60}$=	1,078	m	
Pitch at radius of 0,7R	$P_{0,70}$=	1,084	m	
Expanded area ratio of propeller	a_e=	0,94		
Width of blade at radius in question (0,25R)	L_{25}=	18,96	cm	
Width of blade at radius in question (0,60R)	L_{60}=	35,83	cm	
Number of blades	Z=	5		
Rake at the tip of the blade	E=	0	cm	
Imaginary thickness of blade at propeller shaft centreline	t_0=	3,57	cm	
Value dependent upon propeller material (Rules, Table D7.2)	K=	1,3		
Skew angle (Guidance, item D7.2.1)	ϑ=	25	°	
Depth of ship for strength computation	D_{ds}=	2,48	m	
Load draught	d_s=	2,34	m	
Breadth of ship	B=	5,9	m	
Block coefficient of ship	C_b=	0,4		
CALCULATED RESULTS				
Coefficient of increase in stress during bad weather	S=	0,778		
Nominal mean wake in the propeller disc	ω=	0,164		
Peak to peak wake fluctuation in the propeller disk at 0,7R	$\Delta\omega$=	0,545		
Coefficients for the calculation of A_1, A_2 and A_3	C_1=	0,150		
	C_2=	0,139		
	C_3=	0,183		
Coefficients for the calculation of W	A_1=	1,738		
	A_2=	1,802		
	A_3=	5,324		

	R	0,25	0,35	0,60	
Thickness of blades (excluding the fillet of blade root)	t=	3,524	2,902	1,356	cm
Coefficient for the calculation of W	A_4=	3,52	2,41	1,26	
Coefficient concerning alternate stress, calculated	W=	4,058	4,068	4,082	
Coefficient concerning alternate stress, taken		2,270	2,270	2,270	
Values for the calculation of K_1 (Rules, Table D7.1)	k_1=	1,62	0,827	0,281	
	k_2=	0,386	0,308	0,113	
	k_3=	0,239	0,131	0,022	
Values for the calculation of K_2 (Rules, Table D7.1)	k_4=	1,92	1,79	1,24	
	k_5=	1,71	1,56	1,09	
Coefficient of the radius in question	K_1=	9,724	8,079	2,872	
Coefficient for the calculation of $t_{required}$	K_2=	1,174	1,185	1,220	
Coefficient, when 25°<θ≤60° (Guidance, item D7.2.1)	A=	1,000	1,000	1,000	
Thickness of blades, required	$t_{required}$=	**3,02**	**2,74**	**1,17**	cm
	$t_{required}$=	**30,16**	**27,37**	**11,70**	mm
Criterion for acceptance	$t \geq t_{required}$=	**YES**	**YES**	**YES**	

Polish Register of Shipping(PRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Machinery installation, Section 3

Name of ship	**m/b POJIŠAN**		**Type W. B.3.45.**	
Coefficient	$k=$	1		
Coefficient A at 0,25R	$A_{0,25}=$	390		
Coefficient A at 0,35R	$A_{0,35}=$	367		
Coefficient A at 0,60R	$A_{0,60}=$	246		
Propeller shaft power	$P=$	610	kW	
Rated number of propeller shaft revolutions	$n=$	1034	rpm	
Number of blades	$Z=$	5		
Width of blade at the 0,25R	$l_{0,25R}=$	0,190	m	
Width of blade at the 0,35R	$l_{0,35R}=$	0,232	m	
Width of blade at the 0,60R	$l_{0,60R}=$	0,358	m	
Diametar of propeller	$D=$	0,83	m	
Radius of propeller	$R=$	0,415	m	
Pitch ratio	$H/D=$	1,306024		
Tensile strength	$M=$	570	MPa	
Ultimate tensile strength	$R_m=$	650	MPa	

R	0,25	0,35	0,60
t	**38,06**	**32,36**	**17,46**
satisfactory	**NO**	**NO**	**NO**

Registro Italiano Navale (RINA)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Machinery installation, Section 8

Name of ship	**m/b POJIŠAN**	**Type W. B.3.45.**	
Blades material type	mat_BV=	**AlCu**	
SHIP DATA			
Minimum tensile strength	R_m =	590	N/mm^2
Density	δ =	7,6	kg/dm^3
Material factor	f=	8,3	
Ratio pitch/diameter	ρ=	0,769	
Pitch at 25% radius	$H_{0,25}$ =	0,967	m
Pitch at 35% radius	$H_{0,35}$ =	1,005	m
Pitch at 60% radius	$H_{0,60}$ =	1,078	m
Pitch at 70% radius	$H_{0,70}$ =	1,084	m
Propeller diameter	D=	0,83	m
Continued transmitted torque	M_T =	5,633946	kN
Maximum contionous power of propeller	P=	610	kW
Rotaional speed of the propeller	N=	1034	rev/min
Developed area ratio	B=	0,94	
Rake	h=	0	mm
Width of blade at the 0,25R	$l_{0,25R}$ =	189,6	mm
Width of blade at the 0,35R	$l_{0,35R}$ =	232,2	mm
Width of blade at the 0,60R	$l_{0,60R}$ =	358,3	mm
Number of blades	Z=	5	

R	0,25	0,35	0,60
t	**31,42**	**23,95**	**13,57**
satisfactory	**YES**	**YES**	**NO**

Russian Maritime Register of Shipping (RMRS)
CALCULATION OF PROPELLER BLADE THICKNESS
Chapter 6 (6.2), Blade thickness

Name of ship	**m/b POJIŠAN**				**Type W. B.3.45.**		
Ship type			**Ships without ice class**				
Coefficient to be determined by formula					*A*		
Coefficient					*k*=	**8**	
Coefficient of centrifugal stresses					*c*=	**7,075554**	
Shaft power					*P*=	610	kW
Number of blades					*Z*=	5	
Width of blade at the 0,25R					$b_{0,25R}$=	0,190	m
Width of blade at the 0,35R					$b_{0,35R}$=	0,232	m
Width of blade at the 0,60R					$b_{0,60R}$=	0,358	m
Tensile strength					R_m=	650	MPa
Material tensile streenth value for calculation					*σ*=	565	MPa
Rated number of propeller shaft revolutions					*n* =	1034	rpm
Blade rake					*m*=	0	mm
Propeller diametar					*D*=	0,83	m

R	0,25	0,35	0,60
A	122,03	115,95	81,10
t	**39,06**	**33,54**	**18,88**
satisfactory	**NO**	**NO**	**NO**