

Utjecaj tehnologije 3D tiskanja na raspoloživost brodskih sustava

The Impact of 3D Printing Technology on Ship System's Availability

Igor Vujović

Pomorski fakultet
Sveučilište u Splitu
e-mail: ivujovic@pfst.hr

Joško Šoda

Pomorski fakultet
Sveučilište u Splitu
e-mail: jsoda@pfst.hr

Ivica Kuzmanić

Pomorski fakultet
Sveučilište u Splitu
e-mail: ikuzman@pfst.hr

DOI 10.17818/NM/2015/4.8

UDK 655:629,5

Pregledni rad / Review

Rukopis primljen / Paper accepted: 5. 3. 2015.

Sažetak

Napredak tehnologije 3D tiskanja omogućio je brojne iskorake u posljednje vrijeme. Postoje ratne mornarice i brodske tvrtke koje su već počele s ugrađivanjem 3D štampača na svoje brodove. Iako to ima smisla na dalekom oceanu ili u ratu, napravljeni proračuni na prosječnim podacima pokazuju da u uobičajenim situacijama raspoloživost brodskih sustava nije značajno poboljšana.

Summary

Advance in 3D printing enabled number of steps forward nowadays. There are navies and ship companies, which already started to install 3D printers aboard. Although this makes sense at oceans or in wars, our calculations with average data show that the ship system's availability is not significantly impacted by the installation of 3D printers.

KLJUČNE RIJEČI

3D tiskanje
raspoloživost brodskih sustava
MTBF
MTTR

KEY WORDS

3D printing
ship's systems availability
MTBF
MTTR

UVOD / Introduction

U posljednje vrijeme svjedoči se značajnom napretku u tehnologiji 3D tiskanja. Američka vojska je tiskala pričuvni dio za F-16, a britanska za Tornado [1]. Nova tehnologija sve više prodire u različite djelatnosti i sve se više geografski širi. Stigla je i u Hrvatsku. U Zagrebu su liječnici, primjenom tehnologije 3D tiska, tiskali zdjelicu (u koju nasjeda kuk) i tako omogućili pacijentu da se može kretati [2]. Jedna domaća tvrtka predstavila je domaći 3D štampač [3]. Napredak je prisutan i na sveučilištima, gdje se tiskaju i npr. elise. Treba spomenuti i centar za aditivne tehnologije pri FSB-u u Zagrebu [4].

Cijene 3D štampača i materijala za tiskanje postaju sve pristupačnije [5 – 10]. Logički se postavlja pitanje kakav je utjecaj te tehnologije na pomorske sustave, uključujući plovne objekte, poput brodova.

Iako se to čini kao budućnost, tvrtka Maersk je već počela ugrađivati 3D štampače na svoje brodove, prema

redosljedu kako dolaze u matičnu luku [11 – 13]. Tvrtka procjenjuje da dostava pričuvnog dijela na brod na pučini košta u prosjeku 5.000 USD, što uključuje zračni prijevoz. Stoga 3D tiskanje ima ekonomsku opravdanost [14]. NASA planira koristiti 3D štampače u svemirskim letovima i pri planiranju dugotrajnih letova s ljudskom posadom, gdje je povoljnije tiskati dijelove, nego ih ponijeti sa Zemlje [15].

Vojske i mornarice cijelog svijeta također razmatraju izmjenu svojih strategija [16 – 23]. Čini se da je za neometan rad višemilijunskih sustava često presudan dio od 1 USD [16], koji je malen i lako se može otiskati. Eksperimenti i primjene već su započeli [17].

U ovom radu razmatra se utjecaj primjene 3D štampača na pouzdanost neometanog rada broda. Drugo poglavlje daje uvod u tehnike 3D tiskanja. Treće poglavlje razmatra utjecaj tiskanja pričuvnih dijelova na pouzdanost neometanog rada broda, odnosno pojedinih sustava broda. Predstavljen je

proračun raspoloživosti tri komponente u primjeru kada je brod s ili bez instaliranog 3D štampača. Na kraju su predstavljeni zaključci.

3D TISKANJE / 3D printing

Načelo rada 3D štampača je kao i u običnih štampača, tj. proces izrade u ravnini. Razlika je u tome, što ne tiskaju jedan sloj, nego onoliko koliko je potrebno da bi se stvorila treća dimenzija potrebne veličine. Najjednostavnije je taj proces zamisliti kao slaganje listova papira na hrpu. Na svakom papiru se nacrt presjek odgovarajućeg sloja 3D strukture. Ostatak lista se odbaci. Između tako dobivenih slojeva je ljepilo kako se struktura ne bi raspala. Grafički programski paketi za predočavanje 3D objekata služe oblikovanju objekta koji se želi izraditi kao konačan proizvod. Pogonski softver štampača pretvara taj model u slojeve koji se naposljetku izrađuju.

Ovaj jednostavni prikaz ne daje uvid u svu složenost ovog postupka.

Jedan od prvih materijala (uz tekuće fotopolimere koji očvršćuju), koji se koristio za ovu svrhu, je keramika. Različiti prahovi jednostavni su kao sirovina za 3D postupke. S obzirom da materijali imaju različita svojstva, pojedine tehnologije ne mogu se upotrijebiti za određene skupine materijala. U tablici 1 prikazani su materijali koji se mogu upotrijebiti u određenoj tehnologiji. Dakle, valja istaknuti da je pri izboru štampača vrlo važno voditi računa o izboru odgovarajuće tehnologije 3D tiskanja. Osim toga, ako su elementi koji se trebaju tiskati nepogodni za neku tehnologiju, potrebno je izabrati onaj štampač koji je koristan za odgovarajuću primjenu (tj. vrstu materijala koja će se upotrijebiti). Za očekivati je da će daljnjim napretkom 3D tehnologije i štampača, kao i materijala kojima se koristi pri izradi uradaka, doći do poboljšanja te još veće učinkovitosti i primjenjivosti tehnologije.

S obzirom na materijale kojima se koristi za tiskanje, na brodu bi pogodni bili oni štampači koji se temelje na modeliranju rastaljenih sastavnica, jer obuhvaćaju široku lepezu materijala, te zato mogu tiskati različite pričuvne dijelove. Kako je na brodu jako puno metalnih dijelova, izravno lasersko taljenje metala također može doći u obzir, ali samo

za metalne dijelove, što bi riješilo samo dio problema. Isto vrijedi i za selektivno lasersko topljenje.

UTJECAJ TISKANJA PRIČUVNIH DIJELOVA NA DOSTUPNOST BRODSKIH SUSTAVA / *The impact of spare parts printing on the ship's availability*

U ovom poglavlju, definirat će se temeljni pojmovi kao što su: pouzdanost, funkcija intenziteta otkaza i sl. To su pojmovi vezani uz pouzdanost sustava. Ako se ispituje n sustava, nakon određenog vremena t , neki nisu otkazali (n_1), a neki sustavi su otkazali (n_2). Funkcija pouzdanosti se može izraziti i kao [24, 25]:

$$R(t) = \frac{n_1(t)}{n} = \frac{n_1(t)}{n_1(t) + n_2(t)} \quad (1)$$

Jednadžba (1) daje vjerojatnost bez otkaznog rada bilo kojeg od n sustava u toku vremena t . Funkcija intenziteta otkaza $\lambda(t)$ se definira preko distribucije životnog ciklusa sustava, $f(t)$, kao [24 - 26].

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2)$$

Jednadžba (2) pokazuje kako se u toku vremena mijenja intenzitet otkaza nekog sustava. Vrijednost λ je, uz funkciju gustoće

otkaza i funkciju pouzdanosti, treća karakteristika pouzdanosti. Očekivano vrijeme bez otkaznog rada sustava, T_{SR} prikazano je sljedećim izrazom [24, 25]:

$$T_{SR} = \int R(t) dt \quad (3)$$

Ukoliko se promatrani sustav održava ili popravlja, tj. u slučaju takozvanih popravljivih sustava, očekivano vrijeme bez otkaznog rada se označava kao srednje vrijeme između otkaza ($MTBF$ – eng. *Mean Time Between Failure*).

Raspoloživost sustava se definira sljedećim izrazom [24, 25]:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4)$$

gdje je $MTTR$ srednje vrijeme popravka (eng. *Mean Time To Repair*). Iz (4) slijedi da nije moguće postići 100 % -tnu raspoloživost sustava, jer je prva derivacija jednaka nuli samo i samo ako je $MTBF = 0$, što ne odgovara stvarnosti i ne bi imalo smisla. Dakle, $A \rightarrow 1$ kada $MTTR \rightarrow 0$. Često se raspoloživost prikazuje i na sljedeći način [24 - 26]:

$$A = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (5)$$

gdje je:

- λ intenzitet otkaza, definiran s:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (6)$$

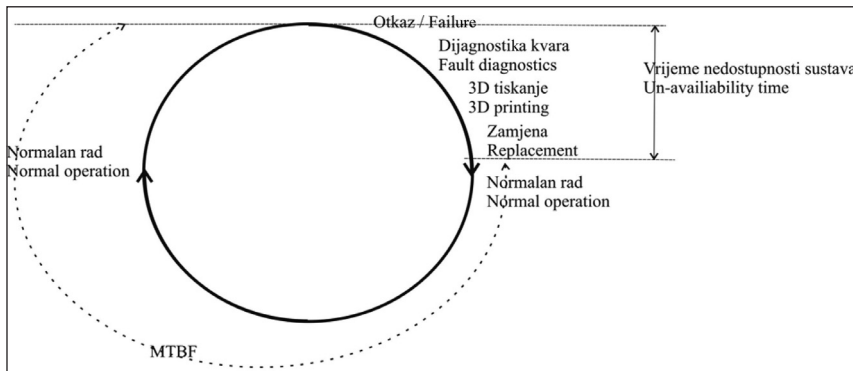
- μ intenzitet popravka, definiran s:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (7)$$

Svaka komponenta, sustav i sam brod može se prikazati kroz pouzdanost rada i raspoloživost u određenom trenutku. Kada se neka komponenta pokvari, potrebno je dijagnostičkim postupkom lokalizirati kvar te promijeniti komponentu pričuvnom, ako na brodu postoji odgovarajući dio. Ako ne postoji, potrebno ga je dostaviti s kopna ili drugim brodom ili zračnim putem. To iziskuje puno više vremena. Cijelo to vrijeme, sustav ili podsustav je nedostupan, tj. nije raspoloživ za rad. Uvođenjem 3D štampača više nije potrebno nositi na pučinu pričuvne dijelove, nego se oni tiskaju prema potrebi. Pri tom postoje dva modela – da su sve brodske komponente na tvrdom disku računala ili da se model za tiskanje šalje s kopna satelitskom vezom ili nekim drugim komunikacijskim kanalom. Prvi model je pouzdaniji, jer nije potrebno oslanjati se na mogućnosti

Tablica 1. Tehnologije 3D tiskanja i materijali koje podržavaju
Table 1. Technologies of 3D printing and supporting materials

Tip	Tehnologija	Materijali za tiskanje
Istiskivanje (engl. extrusion)	Taložno očvršćivanje (FDM, Fused Deposition Modeling)	Termoplastike, HDPE, metali, gume, keramike za modeliranje, plastike, silikoni, porculani, metalne keramike (uključujući plemenite)
Nizanje (engl. wire)	Proizvodnja slobodnim formiranjem elektronskim snopom (EBF, Electron Beam Freeform)	Sve metalne legure
Krevet od praha i inkjet glava 3D printera	3D tiskanje "žbukanjem" (PP, Plaster-based 3D Printing)	"Žbuka" od različitih materijala
Laminacija	Proizvodnja laminiranih objekata (LOM, Laminated Object Manufacturing)	Papir, metalne folije, plastični filmovi
Svjetlosna polimerizacija	Stereolitografija (SLA, Stereolithography) Očvršćivanje digitalno obrađenim svjetlom (DLP, Digital Light Processing)	Fotopolimeri
Granuliranje	Izravno lasersko srašćivanje metala (DMLS, Direct Metal Laser Sintering) Taljenje uz pomoć snopa elektrona (EBM, Electron-beam Melting) Selektivno lasersko taljenje (SLM, Selective Laser Melting) Selektivno toplinsko sinteriranje (SHS, Selective Heat Sintering) Selektivno lasersko srašćivanje (SLS, Selective Laser Sintering)	Sve metalne legure Legure titana Legure Ti, Co, nehrđajućeg čelika, Al Termoplastični prah Termoplastike, metalni prah, keramički prah



Slika 1. Funkcioniranje broda uz 3D tiskanje dijelova
Figure 1. Ship's operation with 3D printing of spare parts

komunikacije u određenom trenutku. Drugi model je prihvatljiviji sa stanovišta patentnih prava, jer se mogu plaćati po broju primitaka datoteka. I jedan i drugi model shematski izgledaju kao na slici 1.

Dakle, 3D tiskanje utječe na raspoloživost sustava – kada se pokvari, treba određeno vrijeme da se izradak otisne uz vrijeme potrebno da se u računalu pronađe shema izratka i potom ugradi. Postavlja se pitanje isplativosti korištenja 3D tehnologije u odnosu prema načinu zamjene dijelova kojima se trenutno koristi, a to je da se skladište. Parametri koji se svakako uzimaju u razmatranje su: brzina izrade izratka preko 3D tehnologije i prije svega kvaliteta učinjenog izratka. U svakom slučaju korištenjem 3D tehnologije izrade uradaka značajno se poboljšava MTTR parametar. Razvojem i unaprjeđivanjem 3D tehnologije tiskanja MTTR parametar će se dodatno poboljšavati.

Međutim, za slučaj dobrog planiranja nabavke i dostave pričuvnih dijelova, ne bi trebalo biti utjecaja na funkcioniranje broda ako su potrebni dijelovi na brodu zato što 3D tehnologija otiska izratka još uvijek nije što se tiče kvalitete identična izracima urađenim preko CNC i tokarskih strojeva. Kako brod nije moguće opskrbiti svim dijelovima, može se samo statističkim postupcima predvidjeti što bi moglo biti potrebno na sljedećem putovanju. U slučaju lošeg planiranja ili odstupanja od statistike, 3D tehnologija povećava pouzdanost i raspoloživost sustava. Prednost je da se uvijek ima potreban pričuvni dio.

Da bi se stekao dojam o utjecaju 3D tehnologije tiskanja, hipotetski će se razmotriti problem da je za promjenu nekog dijela i njegovo tiskanje potrebno

vrijeme od jednoga sata. Podatci za MTBF i MTTR preuzeti su iz literature [27], a vrijede za slučaj bez tiskanja. Znači da dostava ili traženje u skladištu nekog dijela iznosi, hipotetski, MTTR manje jedan sat. Ovo je uzeto samo kao primjer da se može promatrati utjecaj 3D tiskanja na raspoloživost sustava.

Prvo će se proračunati za tip broda C [27], element klizajući pogonski blok, stanice 1 i 5. Podaci su: MTBF = 822 sata, MTTR 8,3 sata. Uvrštavajući u (4) slijedi:

$$A_{bez3D} = \frac{822}{822 + 8,3} = 0,9900036131518728$$

$$A_{s3D} = \frac{822}{822 + 1} = 0,9987849331713244$$

što je razlika od 0,87813200194964%.

Za FAS (engl. *fueling at sea*) upravljačku stanicu broj 4 [27], MTBF je 52000 sati, a MTTR je 2,1 sat te iz (4) slijedi:

$$A_{bez3D} = \frac{52000}{52000 + 2,1} = 0,9999596170154667$$

$$A_{s3D} = \frac{52000}{52000 + 1} = 0,9999807696005846$$

što je 0,00211519903793% poboljšanja raspoloživosti.

Za sustav brodskog dizala nosivosti 5443.1 kg [27] MTBF je 17680, a MTTR je 5,6 sati. Prema (4) slijedi:

$$A_{bez3D} = \frac{17680}{17680 + 5,6} = 0,9996833582123309$$

$$A_{s3D} = \frac{17680}{17680 + 1} = 0,9999434421130026582$$

što je 0,026% poboljšanja raspoloživosti. S aspekta raspoloživosti sustava, male su razlike, ako je odgovarajućeg dijela bilo na brodu, što ne mora biti slučaj. Što je manji MTBF, to je veća raspoloživost sustava s obzirom na primjenu 3D tehnologije tiskanja. Međutim, to nije dobro, jer bi se najbolji rezultat

postigao kada bi neka komponenta stalno bila na popravku, a to znači da ne bi radila. Kompanije se pozivaju na ekonomske pogodnosti, što nije tema ovog rada [14].

Primjer simulacije / Simulation example

Za svrhu simulacije pretpostavit će se da razmatrani brodski sustav može biti u stanju rada ili kvara. Stanje sustava je izlazni signal (1 – radi, 0 – kvar). Ulaz u simulaciju je podatak o učestalosti otkaza i trajanje kvara. Iz toga se računa potrebno vrijeme za popravku. S obzirom da nije uvijek moguće potpuno identično vrijeme popravka, potrebno je definirati raspon između minimalnog vremena popravka i maksimalnog vremena [28].

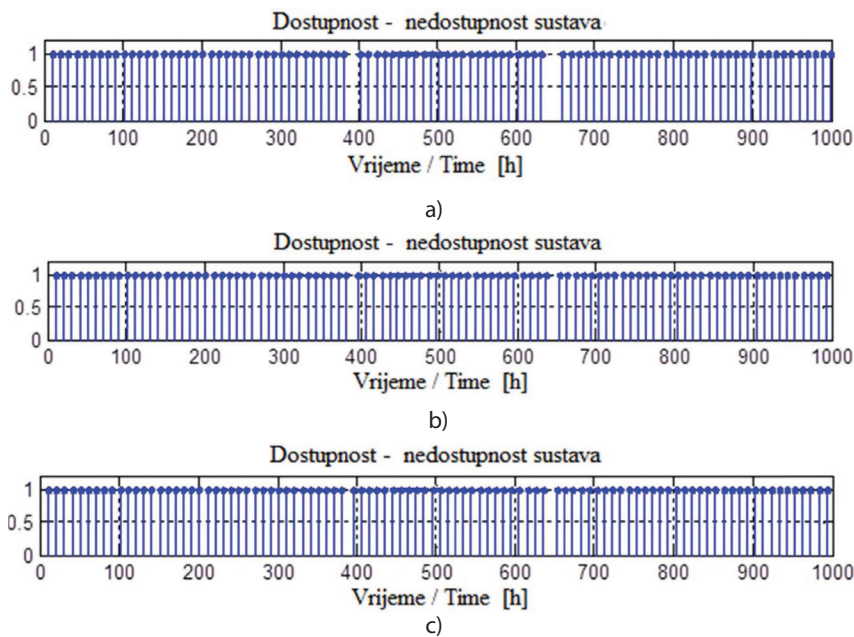
Ako se pretpostavi da se kvar dogodio na pučini te da dio treba dostaviti zračnom linijom, u vrijeme popravka treba uračunati i vrijeme dostave te ukraj i iskraj dijela koji se mijenja. Ako se pretpostavi da se kvar dogodio na 7 sati leta s ukrajem i iskrajem te da za promjenu dijela, dijagnostiku i upućivanje u rad treba 1-5 sati, tada se dobiva da je sustav nedostupan u vremenskom intervalu od 8 do 12 sati (Slika 2.a).

Ako je na brodu 3D štampač te ako za nalaženje, učitavanje i tiskanje treba 1 sat, a 1 do 5 sati traje promjena dijela, tada je ukupno sustav nedostupan u vremenskom intervalu od 2 do 6 sati. Rezultat za taj slučaj prikazan je na slici 2.b.

Ako se dio, koji se treba promijeniti, nalazi na brodu i potrebno je 0,5 sati da se pronađe, tada je potrebno 1,5 do 5,5 sati da se sustav osposobi za rad. Rezultat tog slučaja je na Slici 2.c.

Graf na Slici 2 je uzorkovan u vremenu. Kada je sustav dostupan, graf prikazuje 1. Ako se na mjestu uzorkovanja nalazi praznina, tada je sustav nedostupan (dostupnost je jednaka nuli).

Može se primijetiti da je pod simulacijskim pretpostavkama brodski sustav najdostupniji ako postoji na brodu pričuvni dio, što je bilo logično za očekivati.



Slika 2. a) Dostupnost sustava pri dostavi dijelova zrakom, b) dostupnost sustava uz 3D tiskanje umjesto dostave zrakom, c) dostupnost sustava ako je pričuvni dio u brodskom skladištu

Figure 2. a) Availability of the system if the spare part is delivered by air transport, b) availability of the system if the spare part is 3D printed, c) availability of the system if the spare part is aboard ship

ZAKLJUČAK / Conclusion

Razvojem 3D tehnologije tiskanja i materijala kojima se koristi za tiskanje, 3D tehnologija se primjenjuje u sve više područja. Sa stajališta tehnologije prometa i pomorstva, 3D tehnologija tiskanja je primjenjiva i poboljšava učinkovitost prometnih i brodskih sustava.

Što se tiče primjene 3D tehnologije tiskanja u pomorstvu, konkretno brodovima svih vrsti, može se pretpostaviti da će sve više brodova biti opremljeno 3D tiskačima, jer ova tehnologija predstavlja nadogradnju i poboljšanje pri zamjeni dotrajalih i neispravnih dijelova na brodovima. Trenutna praksa je da se zamjenski dijelovi skladište na brodovima, tako da postoji dosta redundantnosti i eventualnih prostornih problema pri skladištenju. U novoj tehnologiji, početna prednost je da će svi nacrti potrebitih dijelova biti pohranjeni na računaru ili na nekome mediju za pohranu podataka, čime se značajno oslobađa prostor na brodovima koji se može primijeniti u druge svrhe.

Iako su istraživanja pokazala da prednosti ove tehnologije, ako se govori o pouzdanosti i robusnosti sustava, trenutno nisu veće, čak zbog trenutnog stanja materijala kojima se koristi pri 3D tiskanju, a koji su sigurno lošije kvalitete

od zamjenskih dijelova napravljenih u postupcima obrade metala tokarenjem ili nekim višim metodama kao što su CNC strojevi, autori članka su sigurni da će ova tehnologija u skoroj budućnosti postati sastavni dio radne opreme na brodovima.

LITERATURA / References

- [1] Hoffman, M., British Fighter Flies with 3D Printed Parts, Defensetech, 2014., on-line: <http://defensetech.org/2014/01/13/british-fighter-flies-with-3d-printed-parts/> [20 February 2015]
- [2] Bolanča, S., Revolucijom uspjeh domaćih stručnjaka, Jutarnji list, 2014., on-line: <http://www.jutarnji.hr/revolucionarni-uspjeh-domacih-strucnjaka-misostvoriliprvuhrvatsku3d-zdjelicu/1166301/>
- [3] Stiče prvi hrvatski 3D printer, pripremite 6999 kn, on-line: <http://www.tportal.hr/scitech/tehnolo/333280/Stice-prvi-hrvatski-3D-printer-pripremite-6999-kg.html>, 2014. [12 February 2015]
- [4] Šerčer, M., Godec, D., Piplović, A., Aditivne tehnologije za mala i srednje velika poduzeća, FSB, Zagreb, 2015.
- [5] Best Desktop 3D Printers 2015 – Compare Reviews, Specs, on-line: <http://desktop-3d-printers.findthedata.org> [20 February 2015]
- [6] 3D Printer Price Comparison Chart, on-line: <http://airwolf3d.com/3d-printer-price-comparison/> [20 February 2015]
- [7] Best 3D Printer 2015 – Top-Rated 3D Printers – Tom’s Guide, on-line: <http://www.tomsguide.com/us/best-3d-printers.review-2236.html> [20 February 2015]
- [8] 3D Printers Review 2015 – Best 3D Printer, on-line: <http://3d-printers.toptenreviews.com> [20 February 2015]
- [9] 3D printer and 3D printing news, on-line: <http://www.3ders.org/3d-printing-basics.html> [20 February 2015]
- [10] 3D printer and 3D printing news – price compare 3D printing materials - Filament, on-line: <http://www.3ders.org/price-compare.html> [20 February 2015]

- [11] Major Shipping Company 3D Printing Spare Parts While Out at Sea, on-line: <http://news.softpedia.com/news/MajorShippingCompany3DPrintingSparePartsWhileOutatSea450631.shtml>, [20 February 2015]
- [12] Using 3D Printing To Make Spare Parts On Maersk Tankers, on-line: <http://www.marineinsight.com/marine/marineneews/videos/videomaerskankerssparepartsjustpressprint/> [20 February 2015]
- [13] Feature: 3D printing in space and at sea, on-line: <http://www.hellenicshippingnews.com/feature3dprintinginspaceandatsea/> [20 February 2015]
- [14] Vujović, I., The introduction of 3D printing into the Maritime Industry, Transactions on Maritime Science, 4(2), pp.86-76.
- [15] How NASA Will Use 3D Printers in Space, on-line: <http://www.space.com/235323dprinterspacestationvideo.html> [20 February 2015]
- [16] 3D Printing: Changing The Way We Fight, on-line: <http://www.inside3dp.com/3dprintingchangingwayfight/> [20 February 2015]
- [17] PLA Navy use 3D printers, on-line: <http://www.marsecreview.com/2015/01/planavyuse3dprinters/>, [20 February 2015]
- [18] In Tomorrow’s Wars, Battles Will Be Fought With a 3D Printer - WIRED, on-line: <http://www.wired.com/2013/05/military3dprinters/> [20 February 2015]
- [19] Navy Beefs Up 3D Printing Efforts With New ‘Print the Fleet’ Program, on-line: <http://www.nationaldefensemagazine.org/archive/2014/October/Pages/NavyBeefsUp3DPrintingEffortsWithNewPrinttheFleetProgram.aspx> [20 February 2015]
- [20] Global Maritime Survey, on-line: [https://www.usnwc.edu/DepartmentsColleges/CenterforNavalWarfareStudies/StrategicResearch/GlobalMaritimeSurvey/July2014\(1\).aspx](https://www.usnwc.edu/DepartmentsColleges/CenterforNavalWarfareStudies/StrategicResearch/GlobalMaritimeSurvey/July2014(1).aspx), Strategic Research Department, July 25, 2014. [20 February 2015]
- [21] Could 3D printers provide a solution to demand for spare parts?, on-line: <http://maritimeintel.com/could3dprintersprovidaeasolutiontodemandforspareparts/> [20 February 2015]
- [22] Appleton, R.W., Additive Manufacturing Overview For The United States Marine Corps, RWAppleton & Company, Inc, 2014., on-line: <http://www.rwappleton.com/3Dprinting.pdf>
- [23] Morrell, S., 3D Printing - Additive Manufacturing in the RCN, Maritime engineering journal, 2014, 73(2014), pp. 12-13.
- [24] Pojmovi pouzdanosti i sigurnosti, on-line: <http://www.fpz.unizg.hr/ztos/AUTOM/9autom-sigurnost.pdf>, [21 February 2015]
- [25] Čoko, M., Model pouzdanosti i raspoloživosti računalnog sustava, Diploma thesis, University of Split, Faculty of Maritime Studies, Split, Croatia, 2013.
- [26] Kuzmanić, I., Vujović, I., Reliability and Availability of Quality Control Based on Wavelet Computer Vision, Springer Briefs in Electrical and Computer Engineering, Springer Verlag, 2015.
- [27] Young, R.B., Reliability transform method, MSc Thesis, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.
- [28] Modeling the failure of a server, Matworks, on-line: <http://www.mathworks.com/help/simevents/ug/modeling-the-failure-of-a-server.html> [12 February 2015]