

Lucija Bujan, Albert Zamarin

E-mail: lucija.bujan@outlook.com

Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Vukovarska 58, Rijeka, Hrvatska

Projekt strukture i analiza čvrstoće palube za slijetanje helikoptera

Sažetak

Paluba ili platforma za slijetanje helikoptera je za većinu trgovačkih, putničkih i posebice specijalnih tipova brodova (offshore, istraživački) od velike važnosti, kako za komunikaciju tako i za moguće hitne situacije. Navedeno naročito dolazi do izražaj kod brodova koji se bave složenim offshore operacijama u teškim vremenskim prilikama i stanjima mora.

Uvodno su prikazane vrste i pregled projektnih parametara platforme za slijetanje helikoptera. Za odabrani tip istraživačkog broda napravljen je projekt strukture, računalni model i analiza čvrstoće. Korištena su pravila i propisi klasifikacijskog društva American Bureau of Shipping za određivanje minimalnih strukturnih dimenzija, kao i za definiranje projektnih stanja opterećenja, te konačno kriterija za potvrdu projekta. Za izradu računalnog modela i analizu strukture metodom konačnih elemenata korišten je 3D CAD programski paket Inventor. Definirani su najgori slučajevi opterećenja, te su na osnovi izvršene analize usvojene konačne dimenzije strukture.

Ključne riječi: paluba za helikopter, projektni parametri, strukturna analiza, MKE

1. Uvod

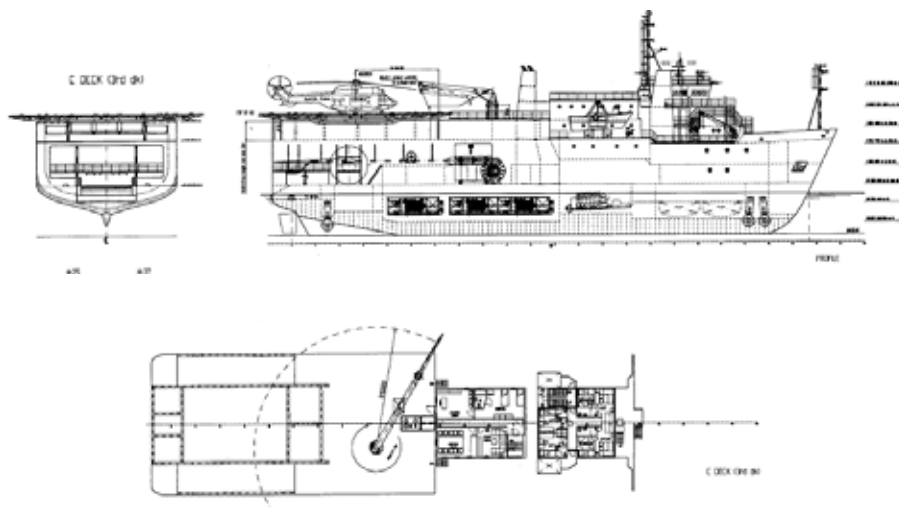
Paluba za slijetanje helikoptera je za većinu trgovačkih, putničkih i posebice specijalnih tipova brodova od velike važnosti, kako za komunikaciju tako i za moguće hitne situacije. Navedeno naročito dolazi do izražaj kod brodova koji se bave složenim offshore operacijama u teškim vremenskim prilikama i stanjima mora. Jedan od takvih tipova brodova je brod za istraživanje seizmičkih aktivnosti u podmorju, slika 1, koji geolozima omogućava detaljniji uvid u geološke strukture istraživanog područja. Opći plan promatranog broda je prikazan na slici 2, a glavne dimenzije i karakteristike su:

- duljina preko svega: $L_{OA} = 71,0$ m,
- duljina između okomica: $L_{PP} = 65,0$ m,
- širina: $B = 17,5$ m,
- visina: $H = 6,0$ m,
- gaz na konstrukcijskoj vodnoj liniji: $T = 6,0$ m,

- istisnina pri konstrukcijskom gazu: $\Delta = 4851,6$ t,
- koeficijent istisnine: $C_B = 0,683$,
- brzina u službi: $v_s = 19,5$ čv.



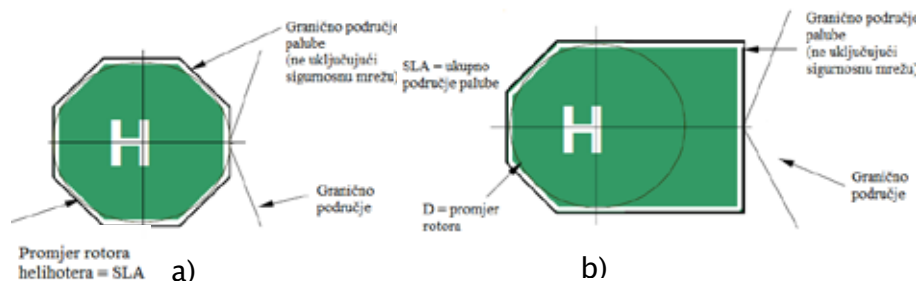
Slika 1. Brod za istraživanje seizmičkih aktivnosti „Aquila explorer“, [1]



Slika 2. Opći plan „Aquila explorer“, [2]

2. Paluba za slijetanje helikoptera

Osnovni projektni parametar palube za slijetanje je sigurnosna površina SLA (eng. safe landing area), koja mora biti dostatna za smještaj najvećeg helikoptera koji je predviđen za slijetanje. Paluba može biti izvedena na više načina [3], slika 3, gdje je SLA područje unutar bijele linije. Kružnica nacrtana tankom linijom predstavlja najveću dimenziju helikoptera dok se okreću rotori. Parametar D se određuje prema tipu helikoptera i smjernicama [4] ‘CAP 437 Standards’, te sadrže informacije o potrebnim kriterijima te masi helikoptera. Na slici 3a prikazan je slučaj kada je SLA jednaka veličini D te graničnom području palube, a slika 3b prikazuje slučaj kada je paluba za slijetanje veća od minimalne, tj. veća od područja koje diktira parametar D. Cijelo područje palube je unutar sigurne zone slijetanja helikoptera čime se osigurava veći manevarski prostor pri slijetanju. Pri određivanju područja za slijetanje na palubi, potrebno je sagledati rješenja koja su optimalna s operativnog stajališta. SLA mora biti pažljivo smještena unutar prostora palube kako bi se osigurali adekvatni uvjeti slijetanja i polijetanja te preglednost prilikom manevara helikoptera. Potrebno je osigurati dovoljno prostora za normalno funkcioniranje posade na palubi te za ukrcaj i iskrcaj putnika.



Slika 3. Primjeri SLA područja

Ostali važni projektni parametri su vezani za odabir modela helikoptera, kao što je promjer rotora i masa helikoptera, tablica 1. Kao podloga za dimenzioniranje strukture odabran je model „Super Puma AS332L2“, prikazan na slici 4.

Tablica 1, Modeli helikoptera te osnovne karakteristike, [4]

Model	D, m	Promjer rotora, m	Maks. masa, kg
Bolkow Bo 105D	12,00	9,90	2400
EC 135 T2+	12,20	10,30	2910
Agusta A109	13,05	11,00	2600
Dauphin AS365 N3	13,73	11,94	4300
EC 155B1	14,30	12,60	4850
Sikorsky S76	16,00	13,40	5307
Agusta/Westland AW 139	16,63	13,80	6800
Bell 212	17,46	14,63	5080
Super Puma AS332L	18,70	15,60	8599
Bell 214ST	18,95	15,85	7938
Super Puma AS332L2	19,50	16,20	9300
EC 225	19,50	16,20	11000
Sikorsky S92A1	20,88	17,17	12020
EH101	22,80	18,60	14600



Slika 4. „Super Puma AS332L2“, [5]

3. Proračun dimenzija strukture palube

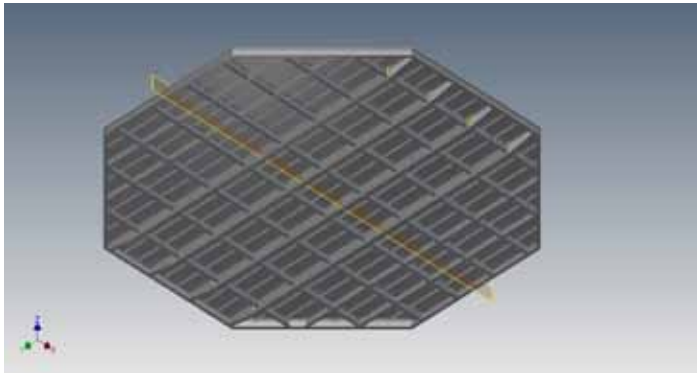
Proračun se temelji na klasifikacijskoj dokumentaciji i osnovnom strukturnom rasporedu prikazanog broda [2], te je izvršen prema pravilima i propisima klasifikacijskog društva ABS (Pt3, Ch2, S6), za brodove do 90 m duljine [6] kao i za odobalne objekte za opskrbu [7], a odnosi se na minimalne dimenzije palube, potpalubne i podupiruće strukture. Podupiruća struktura je inicijalno određena prema sličnom brodu, te je naknadno provedena direktna metoda proračuna, FEM analiza, koja je dovela do značajnog pojačanja pretpostavljenih minimalnih dimenzija, tablica 2. Dodatno je upore podupiruće strukture potrebno provjeriti na izvijanje, a proračun je izveden prema [8] za najnepovoljniji slučaj opterećenja prisilnog slijetanja.

Tablica 1, Minimalne i konačne dimenzije strukturnih elemenata

Zahtjev	Minimalni		Konačni		Naprezanje izvijanja	
	otporni moment SM , cm^3	otporni moment SM , cm^3	dimenzije mm	doz. s_{CA} , MPa	stvarno s_A , MPa	
Strukturni element						
okvirne sponje	377	3988	I 1700x10/ 250x20			
uzdužni primarni nosači	237	1387	I 1400x10/ 200x16			
obične sponje	87	87	L 150x100x10			
upore	$A=53,4 \text{ cm}^2$, I 150x10/300x7			217	82	

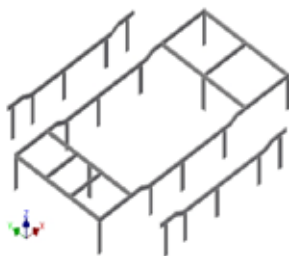
4. Model strukture

Računalni model strukture je izrađen u programskom paketu „Inventor®“ [9] i sastoji se od dva dijela, palube sa potpalubnom strukturom i podupiruće strukture. Potpalubna struktura, slika 5 je simetrična s obzirom na ravninu simetrale broda. Sastoji se od osam poprečnih nosača. Četiri središnja nosača su I profili dimenzija 1700x10,250x20, a četiri vanjska su I profili dimenzija 1400x10,200x16. Spomenuti nosači se spajaju na nosače koji tvore osmerokut, a predstavljaju vanjsku rešetku potpalubne strukture. Dimenzije spomenutih nosača su 1400x10/200x16. Debljina palube iznosi 6 mm.



Slika 5. Model palube i potpalubne strukture

Podupiruća struktura, slika 6 je simetrična s obzirom na ravninu simetrale broda. Sastoji se od četiri uzdužna nosača, unutarnji se nalaze na 4800 mm od simetrale broda, a vanjski su smješteni na 8600 mm od simetrale broda. Unutarnji nosači su povezani s četiri poprečne grede. Kao oslonac navedenoj strukturi su postavljene 22 upore. Materijal je obični brodograđevni čelik, sa granicom razvlačenja od $\sigma_y = 235 \text{ MPa}$.



Slika 6. Model podupiruće strukture

5. Analiza čvrstoće

5.1. Opterećenja

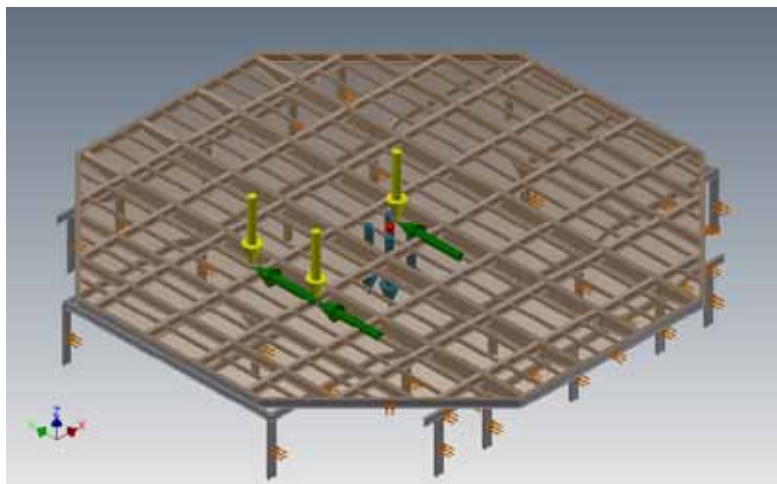
Ukupna struktura palube mora biti dimenzionirana na način da podnese sva opterećenja koja se javljaju uslijed slijetanja helikoptera. Za helikoptere s jednim glavnim rotorom se pretpostavlja da će sletjeti na kotače za slijetanje. Pri tome se ukupno opterećenje distribuira na prednje i zadnje kotače, a udio opterećenja na pojedinom kotaču ovisi o tipu helikoptera. Za odabrani model raspored opterećenja je prikazan na slici 7. sa omjerom od 30 % na prednjim i 70 % na zadnjim kotačima. Opterećenje se postavlja kao koncentrirana sile u tri točke, pri čemu se opterećenje prednjih kotača uzima kao jedna sila. Prema tablici 1 maksimalna masa helikoptera pri uzlijetanju (engl. Maximum Take-Off Mass) iznosi $MTOM = 9,3$ t, iz čega slijedi opterećenje od $MTOW = 91,2$ kN (engl. Maximum Take-Off Weight). U obzir će se uzeti 3 slučaja opterećenja, dva pri slijetanju helikoptera, te jedno u stanju mirovanja, tablica 2. Na slici 8 su prikazana sva opterećenja za 2. slučaj Normalno slijetanje u teškim uvjetima.



Slika 7. Raspored opterećenja na kotače helikoptera

Tablica 2 Definirani slučajevi opterećenja za FEM analizu

Slučaj opterećenja	Slučaj 1 Helikopter u mirovanju	Slučaj 2 Normalno slijetanje u teškim uvjetima	Slučaj 3 Prisilno slijetanje
Komponenta opterećenja			
a) opterećenje uslijed težine helikoptera, MTOW,	91,2 kN	136,8 kN	228 kN
b) utjecaj dinamičkog opterećenja na ostalu strukturu: $1,3 \cdot f \cdot \text{MTOW}$		$f=1,5$ 177,8 kN	$f=2,5$ 296,4 kN
c) opterećenje uslijed privjesaka (opreme za osvjetljenje, palubne mreže i dr.)		0,5 kNm ⁻²	0,5 kNm ⁻²
d) lateralno opterećenje (horizontalna sila); $0,5 \cdot \text{MTOW}$, distribuirano između kotača, slika 7		45,6 kN	45,6 kN
e) opterećenje uslijed tereta na palubi te kretanja posade, σ_{teret}	2 kNm ⁻²		
f) opterećenje uslijed djelovanja vjetra, - opterećenje uslijed djelovanja vjetra se temelji na stogodišnjem povratnom periodu, - smjer djelovanja vjetra se podudara sa smjerom lateralnog opterećenja, time uzrokujući najnepovoljniji slučaj opterećenja - iznos brzine vjetra za područje sjevernog mora na visini od 10 m iznad razine mora, [9], iznosi $v=41 \text{ ms}^{-1}$ - sila vjetra se može procijeniti [10], kako slijedi: $F/A=(0,065/9,81) \cdot v_2 \cdot CS, \text{ Nm}^{-2}$ gdje je: F – sila vjetra, N A – površina na koju djeluje vjetar, m ² v – brzina vjetra, ms ⁻¹ Cs – koeficijent oblika za podupiruću strukturu	CS=1,3 14,5 Nm ⁻²	CS=1,3 14,5 Nm ⁻²	CS=1,3 14,5 Nm ⁻²
opterećenje uslijed djelovanja gravitacije	da	da	da



Slika 8. Opterećenja za slučaj normalnog slijetanja u teškim uvjetima

5.2. Rubni uvjeti

Podupiruća struktura palube za slijetanje, tj upore su kruto vezane sa strukturu palube broda, pa su u modelu onemogućeni svi stupnjevi slobode gibana na tim mjestima.

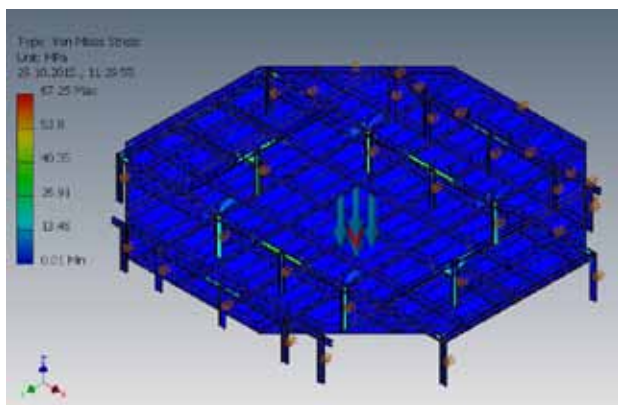
5.3. Rezultati analize

Kriterij maksimalnih dozvoljenih naprezanja rešetkaste strukture prema [7], je:

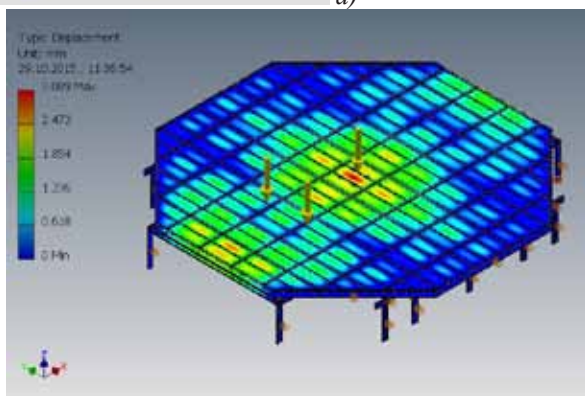
$$F = \frac{F_y}{FS} = 188 \text{ MPa, gdje je:}$$

$F_y = 235 \text{ MPa}$, granica razvlačenja običnog brodograđevnog čelika

$FS=1,25$ - faktor sigurnosti, za kombinaciju statičkih i dinamičkih opterećenja podvrgnuta aksijalnom naprezanju i savijanju, Na slikama 9 do 12 su prikazani rezultati analize u obliku pomaka strukture i naprezanja po Von Misesu za sva tri slučaja opterećenja prikazana u tablici 2.

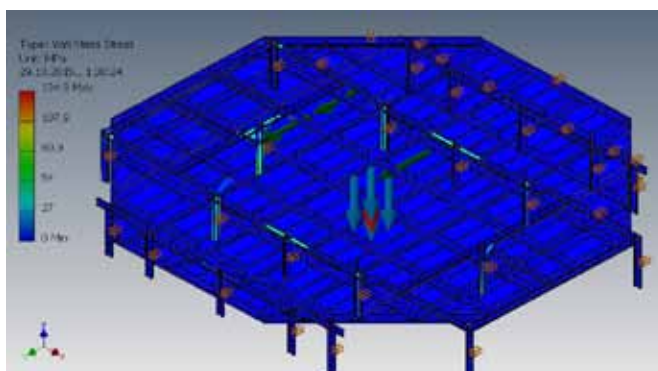


a)

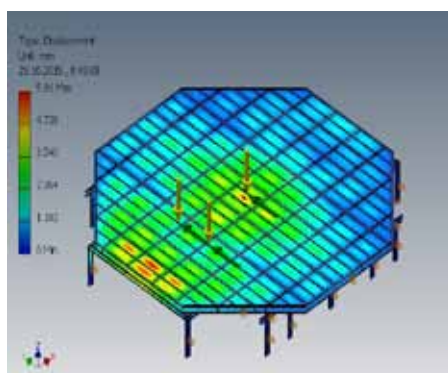


b)

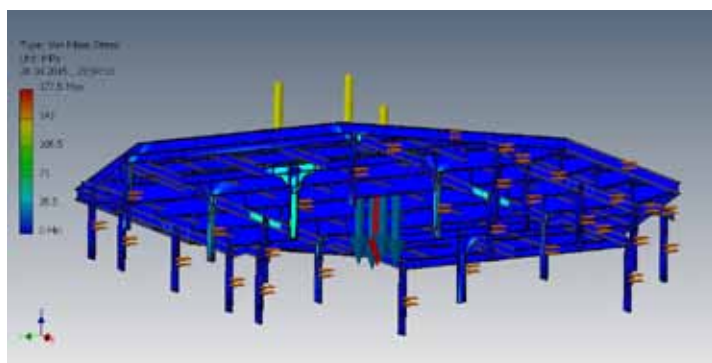
Slika 9. Naprezanje (Von Mises) a) i deformacije b) strukture za slučaj 1 Mirovanje



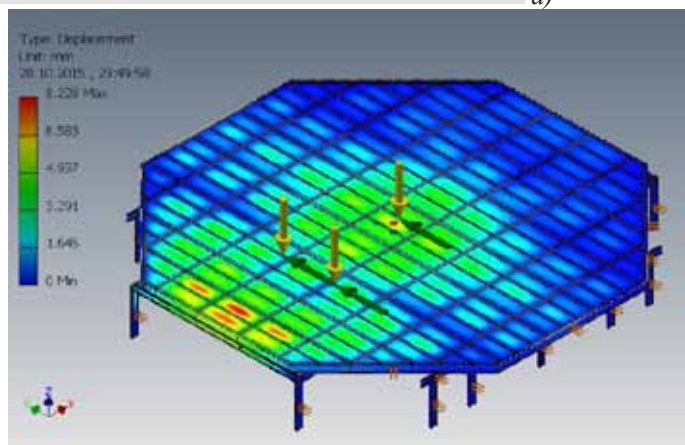
Slika 10. Naprezanje strukture po Von Misesu za slučaj 2 Normalno slijetanje u teškim uvjetima



Slika 11. Deformacije strukture za slučaj 2
Normalno slijetanje u teškim uvjetima



a)



b)

Slika 12. Naprezanje (Von Mises) a) i deformacije b) strukture
za slučaj 3 Prisilno slijetanje

6. Zaključak

Rezultati analize su pokazali da su naprezanja unutar dopuštenih granica. Inicijalno su se javljala naprezanja i veća od dozvoljenih na završetku spoja koljena upore sa potpalubnom strukturom. Problem je riješen produljenjem koljena do prvog jakog potpalubnog elementa i postavljanjem trake na slobodnom kraju koljena. Maksimalno naprezanje se javlja u slučaju prisilnog slijetanja te iznosi 177,5 MPa, slika 12. Pri prisilnom slijetanju struktura je pod najvećim opterećenjem, što je sukladno rezultatima analiza. Najveća naprezanja se javljaju u podupirućoj strukturi, posebice u području gdje je postavljeno opterećenje helikoptera. Na tom području dolazi do deformacije od oko 8 mm, slika 12. Inventor se pokazao prikladnim za brzo modeliranje i analizu jednostavnijih struktura, kao što je paluba za slijetanje helikoptera. Mogućnosti umrežavanja su prilično ograničene s obzirom na druge FEM alate opće namjene. Ne postoji mogućnost definiranja plošnih elemenata direktno iz modela. Potrebno je umrežiti strukturu 3D elementima, a zatim se naknadno naredbom može ustvrditi trebaju li se pojedini elementi zamijeniti plošnim elementima. Stoga je opločenje palube naknadno definirano kao plošni element, a ostali su elementi volumenski. Iz perspektive broja elemenata te trajanja proračuna, a obzirom na geometriju cijeli model bi bio značajno jednostavniji koristeći plošne elemente. Naime, omjer debljine i duljine elemenata nije bio u području gdje se moraju koristiti plošni elementi pa je analiza izvršena na modelu većinom sa 3D elementima.

Zahvala

Prikazani rad je nastao uz financijsku potporu istraživanju *Unapređenje metodologije projektiranja procesa gradnje broda* u okviru potpora od strane Sveučilištu u Rijeci za 2013 godinu.

Literatura

1.„AQUILA EXPLORER“, <http://www.marinetraffic.com/>, Marine traffic, rujan 2015.
2., dokumentacija projekt. ureda „Navtec Marine d.o.o.“, 2015
3. John Burt Associates Limited / BOMEL Limited: „OFFSHORE HELIDECK DESIGN GUIDELINES“, Health and Safety Executive, ...
4. Safety Regulation Group, „CAP 437 Standards for Offshore Helicopter Landing Areas“, <http://www.caa.co.uk/>, rujan 2015.
5., „Airbus Eurocopter Super Puma AS332 L2 Hong Kong Government Model“, <http://www.modelbuffs.com/>, rujan 2015.
6. ABS, „RULES FOR BUILDING AND CLASSING STEEL VESSELS UNDER 90 METERS (295 FEET) IN LENGTH“, ABS, New York, 2015
7. ABS, „RULES FOR BUILDING AND CLASSING OFFSHORE SUPPORT VESSELS 2015“, American Bureau of Shipping, Houston, 2015
8. American Bureau of Shipping, „GUIDE FOR BUCKLING AND ULTIMATE STRENGTH ASSESSMENT FOR OFFSHORE STRUCTURES“, Houston, 2014.
9. Autodesk, „Overview 3D CAD software for mechanical design“, <http://www.autodesk.com/>, rujan 2015.
10. Paik, Jeom Kee, Thayamballi, Anil Kumar: „Ship-Shaped Offshore Installations DESIGN, BUILDING, AND OPERATION“, Cambridge University Press, New York, 2007.

Lucija Bujan, Albert Zamarin

Helideck Structure Design and Strength Analysis

Abstract

The deck or platform for helicopter landing for most commercial, passenger and particularly special types of ships (offshore, research) is of great importance, both for communication and for possible emergency situations. The above is particularly true with ships engaged in complex offshore operations in heavy weather and sea conditions.

Introduction presents an overview of the types and design parameters platform for helicopter landing. For selected type of research ship structural project of the helideck is made as well as computer model and strength analysis. The rules and regulations of the classification society American Bureau of Shipping is used for determining the minimum structural dimensions, as well as to define the project loads, and finally the criteria for validation of the structure. To create a computer model and analyse the structure by the finite element method, 3D CAD software package Inventor was used. The worst load cases are defined and the final dimensions of the structure are adopted based on the analysis results.

Keywords: helideck, design parameters, structural analysis, FEM