

Iva KOLACIO<sup>1</sup>  
 Jasna PRPIĆ-ORŠIĆ<sup>1</sup>  
 Ksenija KURILIĆ<sup>2</sup>

# Analiza sidrenja poluuronjive platforme Scarabeo 7

Stručni rad

U ovom su radu prikazani rezultati analize sidrenja poluuronjive platforme Scarabeo 7 prema pravilima dvaju klasifikacijskih društava, *American Petroleum Institute (API)* i *Det Norske Veritas (DNV)*. Pravila tih dvaju klasifikacijskih društava najčešće se koriste za analizu sidrenja, pa je cilj rada bila usporedba rezultata analize sidrenja prema *API* i *DNV* kriterijima. Prigodom sidrenja objekta morske tehnike moraju se zadovoljiti dva osnovna kriterija: maksimalni pomak objekta koji je ograničen kako bi se izbjeglo oštećenje ili pucanje podmorskoga podizača i maksimalna napetost u sidrenoj liniji koja je određena faktorom sigurnosti i silom pri kojoj će doći do pucanja linije, a koju definira proizvođač.

Analiza sidrenja za operativno stanje pokazala je da zadani sidreni sustav u potpunosti zadovoljava kriterije pri ekstremnim vremenskim uvjetima (vjetar, valovi i morske struje) za jednogodišnje povratno razdoblje. Za slučaj neoperativnoga stanja, kad je podmorski podizač još uvijek pričvršćen za ušće bušotine, analizom je ustanovljeno da sidreni sustav zadovoljava kriterije za vremenske uvjete desetogodišnjega povratnog razdoblja umanjene za maksimalno 20 posto u analizi prema *API* pravilima i maksimalno 25 posto u analizi prema *DNV* pravilima. Tako dobiveni rezultati koji su dobiveni analizom zadovoljili su sve uvjete, tj. maksimalne dopuštene pomake i čimbenike sigurnosti.

**Ključne riječi:** sidrenje, sidreni sustav, klasifikacijska društva, pravila.

## Mooring Analysis for Semisubmersible platform Scarabeo 7

Professional paper

The results of mooring analysis of semisubmersible platform Scarabeo 7 according to the rules of two classification societies, *American Petroleum Institute (API)* and *Det Norske Veritas (DNV)* are presented in this paper. The rules of those two classification societies are more often used in mooring analysis so the research goal was the comparison of obtained results according to *API* and *DNV* criteria. During mooring of an offshore object the main criteria have to be satisfied: maximum displacement of the object, which is restricted in order to avoid damage or breaking of riser, and maximum tension in mooring line which is determined by safety factor as a ratio between the maximum force on the mooring line and the breaking force defined by the manufacturer.

Mooring analysis for operative condition has shown that given mooring system fully satisfies criteria during extreme weather conditions for one year return period. For the case of non-operative conditions, when the riser is still suspended to the well opening, it was necessary to apply milder weather condition than those for 10 years return period: 20% milder for *API* analysis and 25% milder for *DNV* analysis. The mooring analysis was performed according two criteria: maximum displacements and safety factors.

**Keywords:** mooring, mooring equipment, classification societies, rules

### Adrese autora (Authors' addresses):

- <sup>1</sup> Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci,  
 Vukovarska 58, 51000 Rijeka  
<sup>2</sup> SAIPEM Mediteran, Alda Collonnella  
 2, 51000 Rijeka

**Primljeno (Received):** 2009-05-18  
**Prihvaćeno (Accepted):** 2009-10-09  
**Otvoreno za raspravu (Open for discussion):** 2011-03-31

## 1. Uvod

Analiza sidrenja radi se s ciljem procjene maksimalnih vrijednosti, kao što su maksimalna opterećenja na sidrenim linijama, sile na sidrima, te pomaci broda koji se na promatranom području mogu pojaviti pri maksimalnim vremenskim uvjetima. Te maksimalne vrijednosti moraju biti manje od dopuštenih projektnih, kako bi se osigurala dostatna sigurnost sustava u slučaju preopterećenja i zadovoljavajuća udaljenost od ostalih pomorskih objekata, ukoliko ih u radnom području ima. U nekim se slučajevima, ukoliko je to potrebno, sidrene linije mogu prilagoditi tijekom same operacije, međutim, takva se alternativa ne smije uzimati u obzir prigodom analize sidrenja, jer je nepraktična u samoj izvedbi.

Odzivi sidrenih sustava na stacionarne vrijednosti sila koje djeluju na njih mogu se odrediti statičkom analizom sidrenih linija. Općenito gledajući, zbog velikih razdoblja odzivi pod djelovanjem sporopromjenjivih pomaka također se mogu odrediti kvazistatičkom analizom. Odzivi na djelovanje valnih sila prvog reda određuju se dinamičkom analizom.

U analizi sidrenja može biti razmatrano neoštećeno, oštećeno i prijelazno stanje. Neoštećeno stanje je stanje u kojem su sve sidrene linije neoštećene, dok se pod oštećenim stanjem smatra stanje kada se pomorski objekt smjesti u novi ravnotežni položaj nakon prekida jedne linije. Prijelazno stanje je stanje prijelaza iz neoštećenog u oštećeno ravnotežno stanje prigodom kojega se javljaju njihanja i dinamičke sile velikih amplituda. Prema

novijim pravilima, počevši od listopada 2004. godine, DNV prijelazno stanje ne uzima u obzir. Smatra se da se u prijelaznom stanju sile i pomaci mogu zanemariti, jer su takva opterećenja kratkotrajna.

Analiza sidrenja može biti dinamička ili statička. Kako bi se uzeli u obzir različiti stupnjevi netočnosti u oba ova pristupa, za svaki postoje i različiti faktori sigurnosti. Tablica 1 prikazuje preporučene metode za različite tipove analize.

Tablica 1 Preporučene metode za različite tipove analize (prema API pravilima)

Table 1 Recommended methods for different analysis types (according to API rules)

Vrste sidrenja	Vrsta projekta/ posebni uvjeti	Metoda analize	Stanja koja je potrebno analizirati
Trajno sidrenje	Preliminarni projekt	Statička ili dinamička	Neoštećeno/oštećeno
	Konačni projekt	Dinamička	Neoštećeno/oštećeno/prijelazno
	Analiza zamora	Dinamička	Neoštećeno
Premjestivo sidrenje	Udaljeno od drugih objekata	Statička ili dinamička	Neoštećeno
	Sidrene linije prelaze cjevovode	Statička ili dinamička	Neoštećeno/oštećeno
	Objekt u blizini konstrukcije	Statička ili dinamička	Neoštećeno/oštećeno/prijelazno

Pod izrazom *pomak objekta* podrazumijevaju se dva osnovna pojma: dinamički pomak i stacionarni pomak. Stacionarni je definiran kao pomak objekta uzrokovan kombinacijom sila struje, srednje vrijednosti valnih sila drugog reda i srednje vrijednosti sile vjetera. Na te se pomake može utjecati promjenom napetosti ili položaja sidrene linije. Maksimalni pomak je zbroj maksimalnoga stacionarnog pomaka i maksimalnih vrijednosti njihanja prvog i drugog reda valne frekvencije, tj. dinamičkih pomaka. Studije su pokazale da ovakva kombinacija pomaka prvog i drugog reda valnih frekvencija daje zadovoljavajuće rezultate u analizi sidrenih sustava. Iskustvo je pokazalo da će ovako izračunati pomak objekta u prosjeku biti premašen samo jednom prigodom jakog olujnog vremena. Dinamičko opterećenje objekta ovisi isključivo o veličini i obliku objekta i vremenskim uvjetima. U analizi se moraju pretpostaviti ekstremne vrijednosti.

Alternativa ovakvom proračunu pomaka objekta jest eksperimentalno testiranje modela za točno određenu jačinu i trajanje oluje. Granične vrijednosti pomaka objekta ovise o različitim operacijama i područjima njihova djelovanja. Za operacije bušenja, stacionarni je pomak potrebno izravno nadgledati, jer on utječe na nagib podmorskoga podizača. Zbog prevelika pomaka dolazi do opterećenja podizača, što može rezultirati njegovim oštećenjem.

Za maksimalni dopušteni statički pomak objekta u horizontalnom smjeru prigodom operacija bušenja najčešće se uzima vrijednost od 2 posto do 4 posto dubine vode. U praksi se za veće dubine vode uzima vrijednost od 2 posto, a za manje dubine ona od 4 posto.

Maksimalni je pomak potrebno provjeriti za uvjete najjače oluje koju objekt morske tehnike treba podnijeti za vrijeme operacije bušenja. Njegova vrijednost ovisi o više čimbenika, kao što su dubina vode, okolišne sile i sustav sidrenja plovila koje se analizira. U praksi se najčešće uzima vrijednost od 8 posto do 12 posto dubine vode, i to tako da se manja vrijednost uzima za veće, a veća za manje dubine vode. Analizu maksimalnoga pomaka potrebno je obaviti samo za neoštećeno stanje.

Sile koje djeluju na sidrene linije dijele se na sličan način kao i pomaci objekta. Srednja vrijednost sile u sidrenoj liniji odgovara onoj sili koja uzrokuje stacionarni pomak objekta. Maksimalna sila u sidrenoj liniji dobiva se kao zbroj stacionarne i maksimalne dinamičke sile prvog i drugog reda valnih frekvencija. Slično kao i prigodom analize pomaka objekta, i kod računanja napetosti sidrenih linija pretpostavlja se da će tijekom oluje izračunate vrijednosti samo jednom biti premašene.

## 2. Analiza sidrenja

Objekt morske tehnike i njegove sidrene linije ne smiju doći u kontakt s ostalim objektima u radnom području. Kako bi se kontakt izbjegao, posebno pri ekstremnim vremenskim uvjetima, potrebno je zadovoljiti neke kriterije udaljenosti. Za plovne objekte usidrene u blizini, obično se jedan objekt udalji od drugoga prije nadolaska ekstremnih vremenskih uvjeta. Pri normalnim vremenskim uvjetima i u područjima s blagom klimom, plovni objekti mogu biti usidreni u blizini, pod uvjetom da se zadovolje kriteriji minimalne udaljenosti. Kada sidrena linija prelazi preko postojećega podmorskog cjevovoda, potrebno je, u skladu sa zahtjevom klasifikacijskog društva po kojem se obavlja analiza, zadovoljiti određenu vertikalnu udaljenost do sidrene linije. API preporuke manje su konzervativne od DNV propisa, a čest je slučaj da klijent definira još strože uvjete vertikalne udaljenosti, što može uzrokovati dosta problema pri zadovoljavanju tih zahtjeva.

### 2.1. Projektni kriteriji za analizu sidrenja prema preporukama API [1]

Kriteriji za maksimalni dopušteni pomak objekta moraju se odrediti prema zahtjevima za minimalne udaljenosti od drugih pomorskih konstrukcija i zahtjevima vezanima uz opremu, kao što su primjerice podmorski podizač i sl. Dopušteno opterećenje na sidrenim linijama može se izraziti preko najmanjega prekidnog opterećenja (NPO) sidrenih sastavnica. Najmanje prekidno opterećenje svake sastavnice sidrene linije (bitva, zjevača, uže, lanac, škopac, sidro...) najmanje je opterećenje kod kojeg može doći do kolapsa sastavnice i definirano je od proizvođača. Dopušteno opterećenje na sidrenim linijama za različita stanja sidrenja u analizi definirana su čimbenikom sigurnosti koji je potrebno zadovoljiti, tablica 2.

Faktor sigurnosti  $FS$  dobiva se pomoću sljedećeg izraza:

$$FS = \frac{NPO}{\text{Izračunato opterećenje na liniju}} \quad (1)$$

Za sva stanja sidrenja potrebno je zadovoljiti kriterij minimalne horizontalne udaljenosti između usidrenoga plovnog objekta (ili njegovih sidrenih linija) i bilo kakvih drugih objekata morske tehnike u okolnom radnom području.

Tablica 2 **Dopuštena opterećenja i ekvivalentni faktori sigurnosti prema API pravilima**Table 2 **Permissible loads and equivalent safety factors according to API rules**

	Metoda analize	Dopušteno opterećenje (% NPO)	Ekvivalentni faktor sigurnosti
Neoštećeno stanje	Statička	50	2,00
Neoštećeno stanje	Dinamička	60	1,67
Oštećeno stanje	Statička	70	1,43
Oštećeno stanje	Dinamička	80	1,25

## 2.2. Kriteriji za analizu sidrenja prema pravilima DNV [2]

Analiza sustava sidrenja provodi se putem zadanih faktora sigurnosti koji određuju dopuštene sile u operativnom stanju objekta i ne smiju se premašiti. Projektni se kriteriji dijele na tri osnovna limitirajuća stanja: krajnje granično stanje (ULS – engl. *Ultimate Limit State*), incidentsko granično stanje (ALS – engl. *Accidental Limit State*) i granično stanje zamora (FLS – engl. *Fatigue Limit State*). Ovakvi se kriteriji nameću za sustave sidrenja čije su sidrene linije lanci, te čelična i sintetička užad, ili pak njihova kombinacija.

Pri krajnjem graničnom stanju treba osigurati da svaka sidrena linija na plovnom objektu ima dostatnu čvrstoću kako bi izdržala opterećenje okolišnih sila u ekstremnim vremenskim uvjetima. Pri incidentskom graničnom stanju treba osigurati da sidreni sustav ima dostatan kapacitet da izdrži prekid jedne sidrene linije ili otkazivanje jednoga propulzora za pozicioniranje ili otkazivanje cijeloga sustava za pozicioniranje ako se koristi u kombinaciji sa sidrenim sustavom. Analiza graničnoga stanja zamora treba osigurati da svaka sidrena linija može izdržati cikličko opterećenje prigodom ekstremnih okolišnih sila, bez da dođe do njezinog oštećenja. Svako je limitirajuće stanje definirano projektnim zahtjevom da projektni kapacitet mora biti veći od projektnog opterećenja, gdje se obično uzima da je projektni kapacitet omjer karakterističnoga kapaciteta i faktora sigurnosti za karakteristični kapacitet, a projektno opterećenje umnožak karakterističnog utjecaja sile i faktora sigurnosti za utjecaj opterećenja.

Kod analize sidrenja u krajnjem graničnom stanju (ULS) i u incidentskom graničnom stanju (ALS) razmatraju se dvije klase posljedičnih stanja:

- *Klasa 1* – kad je relativno mala vjerojatnost da će kod oštećenja sidrenoga sustava doći do težih posljedica kao što su gubitak života, sudar s obližnjim postojećim plovnim objektom, nekontrolirano istjecanje nafte ili plina, ili potonuće;
- *Klasa 2* – kad oštećenje sidrenoga sustava može uzrokovati nepoželjne posljedice, kao što su gubitak života, sudar s obližnjim postojećim plovnim objektom, nekontrolirano istjecanje nafte ili plina, ili potonuće.

Za krajnje granično stanje, ULS, potrebno je zadovoljiti da minimalna prekidna čvrstoća sidrene linije  $S_C$  bude veća od zbroja srednje vrijednosti  $T_{C-mean}$  i maksimalne vrijednosti dinamičkih opterećenja  $T_{C-dyn}$  pomnoženim s odgovarajućim faktorima sigurnosti:

$$S_C - T_{C-mean} \gamma_{mean} - T_{C-dyn} \gamma_{dyn} \geq 0.$$

Sličan je postupak i kod incidentskoga graničnog stanja. U tablici 3 za svako su limitirajuće stanje prikazani djelomični faktori sigurnosti  $\gamma$  za različita posljedična stanja i tipove analize.

Tablica 3 **Parcijalni faktori sigurnosti prema DNV (ULS/ALS)**  
Table 3 **Partial safety factors according to DNV (ULS/ALS)**

Posljedično stanje	Metoda analize	Parcijalni faktor sigurnosti pri srednjem opterećenju	Parcijalni faktor sigurnosti pri dinamičkom opterećenju
1	Dinamička	1,10/1,00	1,50/1,00
2	Dinamička	1,40/1,00	2,10/1,25
1	Statička	1,70/1,10	
2	Statička	2,50/1,35	

Kombinacija incidentskoga graničnog stanja i karakterističnih opterećenja koja se na njoj pojavljuju zbog djelovanja okolišnih sila ekstremnih vremenskih uvjeta 100-godišnjega povratnog perioda, predstavlja relativno konzervativan pristup. Zbog toga su djelomični faktori sigurnosti za incidentsko granično stanje prikazani u tablici relativno mali. Ovi faktori sigurnosti trebali bi zadovoljavati sve uvjete analize, čak i kad je dominantno opterećenje na sustav stacionarno. Pod stacionarnim opterećenjem podrazumijeva se ono zbog srednje vrijednosti opterećenja vjetrova, morske struje i srednje vrijednosti sporopromjenjivih sila valova (sile drugog reda valnih frekvencija).

## 3. Analiza sidrenja poluuronjive platforme Scarabeo 7

### 3.1. Osnovne značajke Scarabeo 7

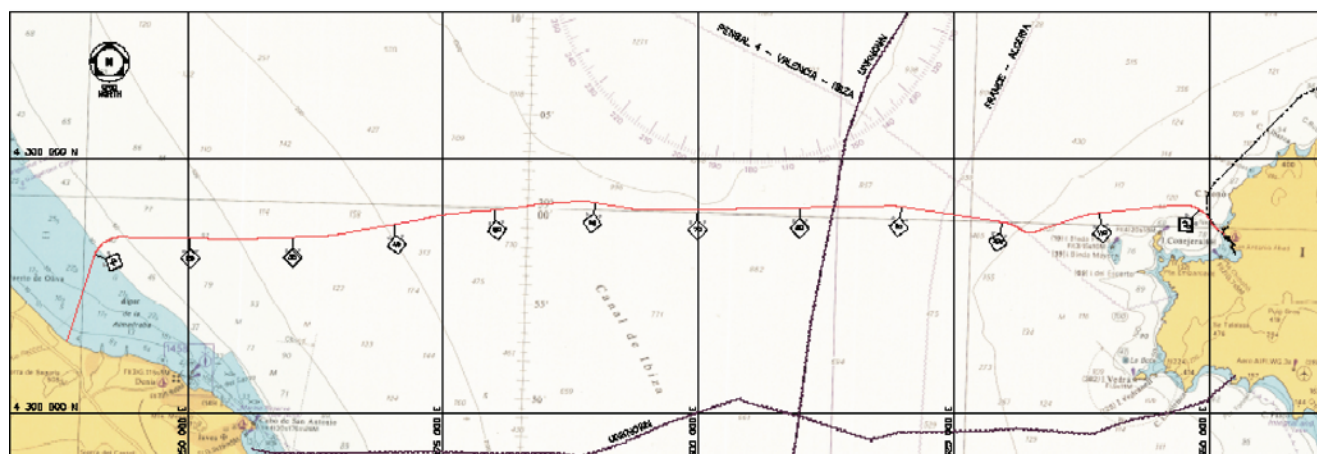
Prikazana analiza izvedena je za poluuronjivu platformu *Scarabeo 7* u vlasništvu tvrtke *Saipem*, slika 1. Područje za koje je provedena analiza je Balearsko more, na području između Ibize i Mallorce [3], kao što je prikazano na slici 2. Područje definirano za analizu je kilometarska točka KP 75 (engl. *Kilometer Point, KP*), zapadno od Ibize.

Osnovni je cilj analize sidrenja dokazati da se operacije bušenja mogu obavljati sigurno, ograničiti vrijeme stajanja rada platforme, te pokušati, koliko god je to moguće, izbjeći odvajanje podmorskoga podizača od ušća bušotine u neoperativnom stanju.

Slika 1 **Poluuronjiva platforma Scarabeo 7**  
Figure 1 **Semisubmersible platform Scarabeo 7**

Operativni gaz	$T$	= 18,29 m
Duljina preko svega	$LOA$	= 125,30 m
Širina između pontona	$B$	= 60,99 m
Visina	$D$	= 33, m
Istisnina	$\Delta$	= 38175,0 t





Slika 2 Prikaz područja na kojem je usidrena platforma Scarabeo 7 [3]  
Figure 2 Field plan for Scarabeo 7 [3]

Do odvajanja podmorskoga podizača morat će doći kad njegov kut nagiba u donjem zglobu postane prevelik. Također je analizom sidrenja potrebno dokazati da neće doći do prekida sidrenih linija i da su faktori sigurnosti uvijek zadovoljeni. Profil morskog dna uzet je prema podacima za to područje.

Analiza sidrenja obavljena je pomoću *G Moor* programskoga paketa [4, 5] čiji je vlasnik *Global Maritime Technical Services Ltd.* Program omogućuje analizu pomaka usidrenoga plovno objekta i učinkovitosti sidrenoga sustava. Analiza se temelji na pojednostavljenoj metodi koja uključuje statički proračun pomaka usidrenoga plovno objekta i dinamičku analizu sidrenih linija. Analiza je provedena prema dvije norme, *Offshore standard API RP2SK* [1] i *Offshore standard DNV-OS-E301* [2]. Cilj dviju analiza sidrenja bio je usporediti njihove rezultate kako bi se pokazalo koji je način konzervativniji i koji rezultati mogu biti bolji, tj. pogodniji za analize sidrenja za određena područja i operacije.

### 3.2. Vremenski uvjeti

Svi podaci o vremenskim uvjetima uzeti su iz izvješća *Proes Metocean* [6], koji su izdani upravo radi analize sidrenja za područje zapadno od Ibize, kilometarska točka KP 75. Podaci su dostupni u tablicama iz kojih su zatim određene maksimalne vrijednosti valne visine  $H$  i vršni periodi valova  $T_p$ , te brzina vjetera  $V_w$ . Maksimalna brzina morske struje  $V_c$  izmjerena na tom području iznosi 0,60 m/s, a prosječna godišnja 0,40 m/s. Tablica 4 prikazuje podatke izmjerene i preračunate za značajnu visinu vala,  $H_s$ .

Iz navedenih su podataka određene maksimalne vrijednosti brzine vjetera, te značajne visine i perioda vala za jednogodišnje povratno razdoblje. S obzirom da podaci za desetogodišnje povratno razdoblje, koje je potrebno za analizu neoperativnih stanja nisu dostupni, maksimalne vrijednosti za povratno razdoblje od deset godina pretpostavljene su kao maksimalne vrijednosti jednogodišnjega povratnog razdoblja uvećane za 20 posto.

U tablici 4 prikazane su maksimalne vrijednosti vremenskih uvjeta za jednogodišnje povratno razdoblje.

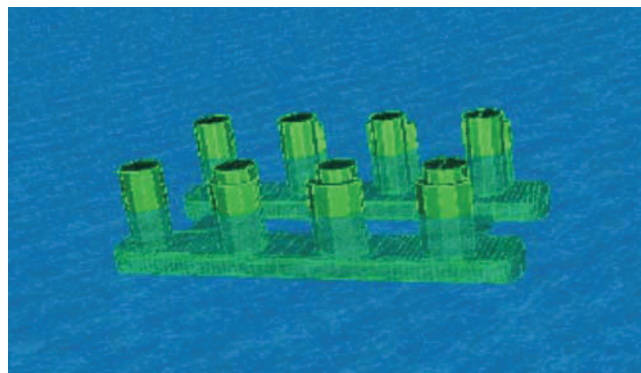
Tablica 4 Vrijednosti vremenskih uvjeta za povratni period od jedne godine

Table 4 Weather extremes for 1-year return period

Smjer dolaska	Vrijednosti vremenskih uvjeta za jednogodišnji povratni period			Morska struja $V_c$ , m/s
	Vjetar $V_w$ , m/s	Valovi $H_s$ , m	$T_p$ , s	
N	23,2	4,8	9,6	0,4
NE	23,2	4,8	9,6	0,4
E	16,0	4,0	8,8	0,4
SE	11,2	3,6	8,4	0,4
S	19,2	4,8	9,6	0,4
SW	16,0	4,0	8,8	0,4
W	16,0	3,2	8,0	0,4
NW	16,0	3,6	8,4	0,4

Nakon što je platforma modelirana u programu *Moses* [7], dobivene su prijenosne funkcije njihanja i opterećenja za smjerove od 0° do 180°, s korakom od 22,5°. U proračunu prijenosnih funkcija pretpostavljeno je da sile u sidrenim linijama nemaju znatan utjecaj na njihanja platforme. Na slici 3 prikazan je 3D model *Scarabeo 7*, dobiven iz programskoga paketa *Moses*.

Slika 3 Scarabeo 7, 3D model, prikaz u moru  
Figure 3 Scarabeo 7, 3D model in water



### 3.3. Značajke analize

Analiza je izvedena prema pravilima *API* i *DNV*, a za dva osnovna stanja plovnog objekta: operativno i neoperativno, [8].

Operativnim stanjem definirani su maksimalni vremenski uvjeti koje platforma može podnijeti tijekom operacije bušenja za povratno razdoblje od jedne godine. Kod neoperativnoga stanja dokazuje se da *Scarabeo 7* može ostati usidren na lokaciji u razdoblju obustavljenog rada za maksimalne vremenske uvjete desetogodišnjega povratnog razdoblja. Zasebno su promatrana dva slučaja neoperativnoga stanja:

- *Neoperativno stanje, RC* (engl. *Riser Connected*, podmorski podizač je priključen za ušće bušotine). Analizom ovog neoperativnoga stanja nastoje se dobiti maksimalni vremenski uvjeti pri kojima nije potrebno odvajati podmorski podizač od ušća bušotine, iako se ne buši, kako bi se skratilo vrijeme obustavljenog rada. Odvajanje podmorskoga podizača dugotrajan je i skup posao, pa se nastoji izbjeći što je više moguće.

- *Neoperativno stanje, RnC* (engl. *Riser not Connected*, podmorski podizač nije priključen za ušće bušotine), stvarno je neoperativno stanje platforme pri kojem je podmorski podizač odvojen od ušća bušotine. Ovo se stanje u praksi nastoji svesti na minimum, jer svako odvajanje podmorskoga podizača od platforme znatno poskupljuje i usporava operaciju bušenja.

Tijekom analize sidrenja moraju se zadovoljiti dva osnovna zahtjeva: faktori sigurnosti i dopušteni pomak. Faktori sigurnosti koje je potrebno zadovoljiti u analizi prema preporukama *API* prikazani su u tablici 2, a za analizu prema pravilima *DNV* u tablici 3. U tablici 5 prikazane su početne napetosti sidrenih linija za analizu prema *API* i *DNV* operativnog i oba neoperativna stanja, kad je podmorski podizač pričvršćen i kad nije pričvršćen za ušće bušotine. Prigodom analize neoperativnoga stanja *RnC* jedini kriterij koji je potrebno zadovoljiti jest da faktor sigurnosti ne prijeđe maksimalan dopušteni. Vrijednost pomaka objekta nije više važna, jer je ona uvjetovana podmorskim podizačem, koji u ovom slučaju nije pričvršćen za ušće bušotine.

Tablica 5 Početne napetosti sidrenih linija  
Table 5 Initial mooring line tensions

Sidrena linija	Operativno		Neoperativno Podmorski podizač pričvršćen		Neoperativno Podmorski podizač nije pričvršćen	
	API, t	DNV, t	API, t	DNV, t	API, t	DNV, t
1	105	85	102	87	62	69
2	161	139	170	143	86	108
3	83	76	90	77	52	63
4	150	108	128	107	77	84
5	104	87	102	87	64	71
6	163	141	173	145	87	109
7	86	77	91	79	53	63
8	146	110	128	106	78	84

Određivanje ekstremnih vremenskih uvjeta za procjenu operativnoga stanja temeljeno je na jednogodišnjem povratnom razdoblju. U nekim su slučajevima kriteriji *API* RP2SK [1] i *DNV-OS-E301* [2] mogli biti zadovoljeni samo za vremenske uvjete blaže od maksimalnih, odnosno za reducirano projektno stanje. Kako bi se u analizi plovnog objekta prema *DNV-OS-E301*

smanjila opterećenja na podmorski podizač, ona je obavljena za posljedično stanje 2. Smanjenje razine intenziteta vremenskih uvjeta obavljeno je prema jednostavnoj linearnoj proporcionalnoj iteraciji u koraku od 5 posto, sve dok nisu dobiveni konačni zadovoljavajući rezultati.

Maksimalni pomak koji je dobiven u analizi prema *API* preporukama za neoštećeno stanje je onaj za smjer dolaska nevremena sa sjevera, a odnos pomaka i dubine morske vode iznosi:

$$\text{Relativni maksimalni pomak}_{\text{neošt stanje}} = \frac{\text{Maksimalni pomak}}{\text{Dubina mora}} \cdot 100 = \frac{36,52}{950} \cdot 100 = 3,86\% \quad (2)$$

Maksimalni pomak koji je dobiven u analizi prema *API* preporukama u oštećenom stanju je onaj za smjer dolaska nevremena s istoka, a izračunati pomak iznosi:

$$\text{Relativni maksimalni pomak}_{\text{ošt stanje}} = \frac{\text{Maksimalni pomak}}{\text{Dubina mora}} \cdot 100 = \frac{103,35}{950} \cdot 100 = 10,88\% \quad (3)$$

Maksimalni pomak koji je dobiven u analizi prema *DNV* pravilima u neoštećenom stanju je onaj za smjer dolaska nevremena sa sjevera, a postotak nagiba podmorskoga podizača iznosi:

$$\text{Maksimalni kut podmorskoga podizača}_{\text{neošt stanje}} = a \tan \left( \frac{63,94}{950 \cdot 0,975} \right) = 3,95^\circ \quad (4)$$

Maksimalni pomak koji je dobiven u analizi prema *DNV* pravilima u oštećenom stanju je onaj za smjer dolaska nevremena sa sjevera, a nagib podmorskoga podizača iznosi:

$$\text{Maksimalni kut podmorskoga podizača}_{\text{ošt stanje}} = a \tan \left( \frac{145,04}{950 \cdot 0,975} \right) = 8,90^\circ \quad (5)$$

Maksimalni operativni vremenski uvjeti u analizi prema *API* pravilima definirani su u tablici 6, a u analizi prema *DNV* pravilima u tablici 7. Kad vremenska prognoza predviđa vremenske uvjete kod kojih se očekuju parametri veći od ovih navedenih u tablici, potrebno je da platforma prijeđe iz operativnog u neoperativno stanje.

Tablica 6 Limitirajući vremenski uvjeti za operativno stanje prema *API*

Table 6 Limiting environment for operating mode, according to *API*

Jednogodišnji povratni period – Operativno stanje - <i>API</i>					
Smjer dolaska	% 1 god. maks. vrijednosti	Vjetar	Valovi		Morska struja
		$V_w$ , m/s	$H_{s2}$ , m	$T_p$ , s	$V_c$ , m/s
N	100	19,72	4,08	8,16	0,40
NE	100	19,72	4,08	8,16	0,40
S	100	15,20	3,80	8,36	0,40
SE	100	11,20	3,60	8,40	0,40
S	100	17,28	4,32	8,64	0,40
SW	100	16,00	4,00	8,80	0,40
W	100	16,00	3,20	8,00	0,40
NW	100	16,00	3,60	8,40	0,40

Tablica 7 Limitirajući vremenski uvjeti za operativno stanje prema DNV

Table 7 Limiting environment for operating mode, according to DNV

Jednogodišnji povratni period – Operativno stanje - DNV						
Smjer dolaska	% 1 god. maks. vrijednosti	Vjetar		Valovi		Morska struja
		$V_w$ , m/s	$H_s$ , m	$T_p$ , s	$V_c$ , m/s	
N	100	23,20	4,80	9,60	0,40	
NE	100	23,20	4,80	9,60	0,40	
S	100	16,00	4,00	8,80	0,40	
SE	100	11,20	3,60	8,40	0,40	
S	100	19,20	4,80	9,60	0,40	
SW	100	16,00	4,00	8,80	0,40	
W	100	16,00	3,20	8,00	0,40	
NW	100	16,00	3,60	8,40	0,40	

Desetogodišnje povratno razdoblje koristilo se za određivanje maksimalnih vremenskih uvjeta za neoperativno stanje kad je podmorski podizač odvojen od ušća bušotine. U nekim su slučajevima kriteriji API RP2SK [1] i DNV-OS-E301 [2] mogli biti zadovoljeni samo za vremenske uvjete manjeg intenziteta. Kako bi se smanjila opterećenja na podmorski podizač, pri analiziranju plovnog objekta prema DNV-OS-E301, analiza je obavljena za posljedično stanje 2. Smanjenje intenziteta nevremena obavljeno je prema jednostavnoj linearnoj proporcionalnoj iteraciji u koraku od 5 posto, sve dok nisu dobiveni konačni zadovoljavajući rezultati.

Maksimalni dopušteni pomak prema API preporukama za neoštećeno stanje i oštećeno stanje iznosi 12 posto dubine mora, odnosno 114,0 m. Maksimalni dopušteni pomak prema DNV pravilima definiran je kutom nagiba podmorskoga podizača. U neoštećenom stanju i oštećenom stanju maksimalni dopušteni kut nagiba iznosi 10 posto, tj. dopušteni pomak je 163,32 m. Maksimalni pomak koji je dobiven u analizi prema API preporukama u neoštećenom stanju je onaj za smjer dolaska nevremena sa sjevera, a postotak dubine morske vode posljedično iznosi:

$$\begin{aligned} \text{Relativni maksimalni pomak}_{\text{neošt stanje}} &= \\ &= \frac{\text{Maksimalni pomak}}{\text{Dubina mora}} \cdot 100 = \frac{52,30}{950} \cdot 100 = 5,51\% \end{aligned} \quad (6)$$

Maksimalni pomak koji je dobiven za analizu prema API preporukama za oštećeno stanje je onaj za smjer dolaska nevremena s istoka, a postotak dubine morske vode posljedično iznosi:

$$\begin{aligned} \text{Relativni maksimalni pomak}_{\text{ošt stanje}} &= \\ &= \frac{\text{Maksimalni pomak}}{\text{Dubina mora}} \cdot 100 = \frac{113,14}{950} \cdot 100 = 11,91\% \end{aligned} \quad (7)$$

Maksimalni pomak koji je dobiven u analizi prema DNV pravilima za neoštećeno stanje jest onaj za smjer dolaska nevremena sa sjevera, a postotak nagiba podmorskoga podizača posljedično iznosi:

$$\begin{aligned} \text{Maksimalni kut podmorskog podizača}_{\text{neošt stanje}} &= \\ &= a \tan\left(\frac{71,21}{950 \cdot 0,975}\right) = 4,40^\circ \end{aligned} \quad (8)$$

Maksimalni pomak koji je dobiven u analizi prema DNV pravilima za oštećeno stanje je onaj za smjer dolaska nevremena sa sjevera, a postotak nagiba podmorskoga podizača posljedično iznosi:

$$\begin{aligned} \text{Maksimalni kut podmorskog podizača}_{\text{ošt stanje}} &= \\ &= a \tan\left(\frac{144,05}{950 \cdot 0,975}\right) = 8,84^\circ \end{aligned} \quad (9)$$

U tablicama 8 i 9 dani su maksimalni vremenski uvjeti za analizu prema API i DNV pravilima pri kojima podmorski podizač može ostati pričvršćen za ušće bušotine. Ukoliko se vremenske prilike pogoršaju, potrebno je da platforma prijeđe iz ovog neoperativnog stanja u stanje u kojem podmorski podizač nije pričvršćen za ušće bušotine.

Tablica 8 Limitirajući vremenski uvjeti za neoperativno stanje RC, prema API

Table 8 Limiting environment for RC mode, according to API

Desetogodišnji povratni period – Neoperativno stanje (podmorski podizač spojen) - API						
Smjer dolaska	% 1 god. maks. vrijednosti	Vjetar		Valovi		Morska struja
		$V_w$ , m/s	$H_s$ , m	$T_p$ , s	$V_c$ , m/s	
N	80	23,20	4,80	9,60	0,60	
NE	80	23,20	4,80	9,60	0,60	
S	85	17,00	4,25	9,35	0,60	
SE	100	14,00	4,50	10,50	0,60	
S	100	24,00	6,00	12,00	0,60	
SW	100	20,00	5,00	11,00	0,60	
W	100	20,00	4,00	10,00	0,60	
NW	100	20,00	4,50	10,50	0,60	

Tablica 9 Limitirajući vremenski uvjeti za neoperativno stanje RC, prema DNV

Table 9 Limiting environment for RC mode, according to DNV

Desetogodišnji povratni period – Neoperativno stanje (podmorski podizač spojen) - DNV						
Smjer dolaska	% 1 god. maks. vrijednosti	Vjetar		Valovi		Morska struja
		$V_w$ , m/s	$H_s$ , m	$T_p$ , s	$V_c$ , m/s	
N	80	23,20	4,80	9,60	0,60	
NE	75	21,75	4,50	9,00	0,60	
S	85	17,00	4,25	9,35	0,60	
SE	100	14,00	4,50	10,50	0,60	
S	85	20,40	5,10	10,20	0,60	
SW	95	19,00	4,75	10,45	0,60	
W	90	18,00	3,60	9,00	0,60	
NW	95	19,00	4,28	9,98	0,60	

Tablica 10 prikazuje maksimalne vremenske uvjete za povratno razdoblje od 10 godina koji su zadovoljeni analizom u neoperativnom stanju kada podmorski podizač nije pričvršćen za ušće bušotine.



Tablica 10 **Maksimalni vremenski uvjeti, 10-godišnji povratni period**  
 Table 10 **Weather extremes for 10-year return period**

Desetgodišnji povratni period – Neoperativno stanje (podmorski podizač nije spojen)				
Smjer dolaska	Valovi		Morska struja	
	$V_w$ , m/s	$H_s$ , m	$T_p$ , s	$V_c$ , m/s
N	29,0	6,0	12,0	0,6
NE	29,0	6,0	12,0	0,6
E	20,0	5,0	11,0	0,6
SE	14,0	4,5	10,50	0,6
S	24,0	6,0	12,0	0,6
SW	20,0	5,0	11,0	0,6
W	20,0	4,0	10,0	0,6
NW	20,0	4,5	10,5	0,6

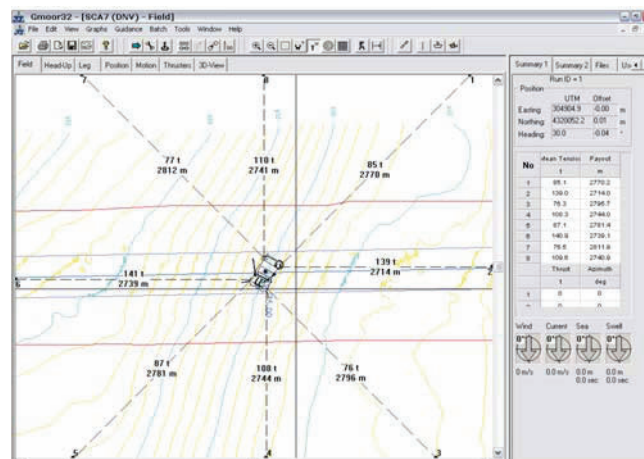
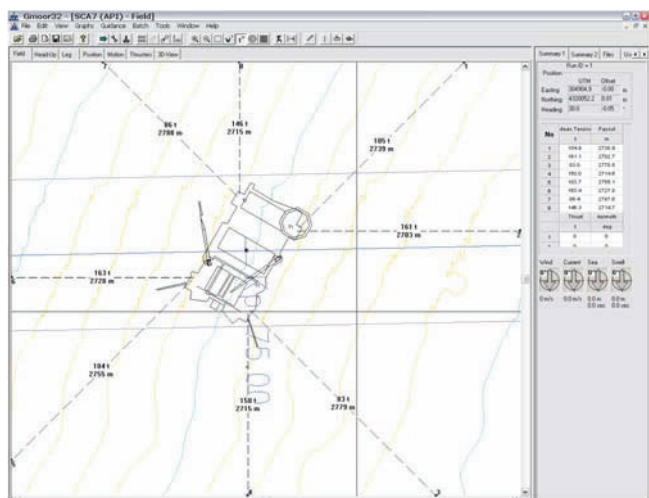
U ovom je slučaju bilo potrebno u potpunosti zadovoljiti kriterije pri maksimalnim vremenskim uvjetima 10-godišnjega povratnog razdoblja maksimalnih uvjeta. Jedini kriterij koji je potrebno zadovoljiti jest faktor sigurnosti čije su vrijednosti prikazane u tablici 3.

### 3.4. Rezultati analize sidrenja

Opisana sidrena pozicija analizirana je prema statičkom i dinamičkom pristupu. Prigodom analize promatrana su dva slučaja, neoštećeno i oštećeno stanje. Oštećeno stanje definirano je prekidom najopterećenije sidrene linije za svaki smjer dolaska nevremena: vjetar, morske struje i valovi.

Slika 4 prikazuje primjer početnih napetosti u sidrenim linijama zadanih prema *API* preporukama u programskom paketu *Gmoor*, a slika 5 za analizu sidrenja prema *DNV*.

Slika 4 **Početne napetosti sidrenih linija za analizu prema *API* pravilima**  
 Figure 4 **Initial mooring line tensions for the analysis according to *API* rules**



Slika 5 **Početne napetosti sidrenih linija za analizu prema *DNV* pravilima**  
 Figure 5 **Initial mooring line tensions for the analysis according to *DNV* rules**

## 4. Zaključak

U ovom je radu prikazana analiza sidrenja izvedena prema preporukama *American Petroleum Institute* i pravilima klasifikacijskog društva *Det Norske Veritas*.

Analiza sidrenja za operativno stanje pokazala je da zadani sidreni sustav u potpunosti zadovoljava kriterije pri ekstremnim vremenskim uvjetima za jednogodišnje povratno razdoblje. Za slučaj neoperativnoga stanja, kad je podmorski podizač pričvršćen za ušće bušotine, bilo je potrebno reducirati projektne vremenske uvjete desetogodišnjega povratnog razdoblja za maksimalno 20 posto u analizi prema *API* preporukama i maksimalno 25 posto u analizi prema *DNV* pravilima. Tako dobiveni rezultati zadovoljili su sve uvjete, tj. maksimalne dopuštene pomake i faktore sigurnosti.

S obzirom da su uvjeti prema *API-RP2SK* preporukama i *DNV-OS-E301* propisima različiti, kako bi se dobili zadovoljavajući rezultati, za svaku su analizu definirane različite početne napetosti u sidrenim linijama. U tablici 11 ukratko su prikazani svi uvjeti za koje je bilo potrebno postići zadane faktore sigurnosti, a u tablici 12 za provjeru maksimalnih dopuštenih pomaka.

Kao što se iz navedenih podataka može vidjeti, faktori sigurnosti prema *API* preporukama za operativno i neoperativno stanje kad je podmorski podizač pričvršćen za ušće bušotine, manji su od onih prema *DNV* pravilima, što znači da su dopuštena veća opterećenja na sidrenim linijama. Međutim, kod neoperativnoga stanja kada podmorski podizač nije pričvršćen za ušće bušotine, kod *DNV* klasifikacijskog društva mijenja se posljedična klasa iz II. u I., pa pada i minimalni faktor sigurnosti, što kod *API* preporuka nije slučaj.

Maksimalni dopušteni pomak prema *API* preporukama ovisi isključivo o dubini i za neoštećeno operativno stanje iznosi 38,0 m, dok za oštećeno operativno i neoperativno stanje kad je podmorski podizač pričvršćen za ušće bušotine iznosi 114,0 m. Prema *DNV* pravilima maksimalni dopušteni pomak plovnog objekta ovisi o kutu nagiba u zglobu podmorskoga podizača i za neoštećeno operativno stanje iznosi 64,77 m, dok za oštećeno operativno stanje i neoperativno stanje kad je podmorski podizač

Tablica 11 Minimalni faktori sigurnosti  
Table 11 Minimum safety factors

Faktor sigurnosti	API				DNV			
	Kriterij		Izračunato		Kriterij		Izračunato	
	Neoštećeno	Oštećeno	Neoštećeno	Oštećeno	Neoštećeno	Oštećeno	Neoštećeno	Oštećeno
<b>Operativno</b>	2,00	1,43	2,47	2,38	2,50	1,35	2,56	2,36
<b>Neoperativno RC</b>	2,00	1,43	2,10	2,18	2,50	1,35	2,50	2,26
<b>Neoperativno RnC</b>	2,00	1,43	2,12	1,73	1,70	1,10	2,10	1,73

Tablica 12 Maksimalni dopušteni pomaci  
Table 12 Maximum permissible offsets

Dopušteni pomak	API				DNV			
	Kriterij		Izračunato		Kriterij		Izračunato	
	Neoštećeno	Oštećeno	Neoštećeno	Oštećeno	Neoštećeno	Oštećeno	Neoštećeno	Oštećeno
<b>Operativno</b>	38,00	114,00	36,52	103,35	64,77	163,32	63,94	145,04
<b>Neoperativno RC</b>	114,00	114,00	52,30	113,16	163,32	163,32	71,21	144,05
<b>Neoperativno RnC</b>	-	-	-	-	-	-	-	-

pričvršćen za ušće bušotine iznosi 163,32 m.

Prema dopuštenim vrijednostima faktor sigurnosti, za operativno stanje i neoperativno stanje kad je podmorski podizač pričvršćen za ušće bušotine *DNV* klasifikacijsko društvo konzervativnije je i dopušta manja opterećenja na sidrene linije. S druge strane *API* preporuke vode puno konzervativnijim vrijednostima u pogledu maksimalnih dopuštenih pomaka.

Kako su konačni rezultati koji su dobiveni veoma slični, tj. nema velike razlike u limitirajućim vremenskim uvjetima, može se zaključiti kako su obje analize podjednako konzervativne. Početne napetosti linija nametnute u analizi prema *API* pravilima nešto su više, jer su dopuštena veća opterećenja na sidrene linije i manji pomaci. Međutim, ukoliko se definiraju odgovarajuće početne napetosti za bilo koju od analiza, moguće je dobiti rezultate koji će zadovoljiti oba klasifikacijska društva i omogućiti maksimalnu operativnost usidrene platforme.

## Popis literature

- [1] *API Recommended Practice 2SK, Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*, Third Edition, October 2005.
- [2] *Offshore Standard DNV-OS-E301, POSITION MOORING*, Det Norske Veritas, October 2004.
- [3] 05-2497-09-20-006 SHT 1 OF 2 (01), *Wol Pipeline Route Plan.pdf*, Baleari Project, 2008.
- [4] *GMOOR32D Reference Manual-GM-33053-1298-37028 v.9.4, Global Maritime Technical Services*, license 2005.
- [5] *GMOOR32D-Global Maritime, Mooring Analysis Software*, Version 9.4.08, license 2006.
- [6] *Balearic Submarine Pipeline Project*, PROES Metocean, Main Report, December 2004.
- [7] *MOSES Ver. 7.02.31, Moses Software by Ultramarine Inc.*, 2008.
- [8] KOLACIO, I., Sidrenje plovni objekata, diplomski rad, *Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci*, Rijeka, 2008.