

Primljen / Received: 31.8.2014.

Ispravljen / Corrected: 30.9.2014.

Prihvaćen / Accepted: 10.10.2014.

Dostupno online / Available online: 10.12.2014.

Utjecaj korozije na izvanobalne konstrukcije

Autori:



Doc.dr.sc. **Engin Gucuyen**, dipl.ing. građ.
Sveučilište Celal Bayar, Turska
Fakultet tehničkih znanosti
Odjel za građevinarstvo
engin.gucuyen@cbu.edu.tr



Doc.dr.sc. **R. Tugrul Erdem**, dipl.ing. građ.
Sveučilište Celal Bayar, Turska
Fakultet tehničkih znanosti
Odjel za građevinarstvo
tugrul.erdem@cbu.edu.tr

Prethodno priopćenje

Engin Gucuyen, R. Tugrul Erdem

Utjecaj korozije na izvanobalne konstrukcije

Ovaj rad obuhvaća primjenu gubitka masa kako bi se istražilo djelovanje korozije na ponašanje izvanobalnih konstrukcija pod utjecajem valova. Gubitci masa pojedinih dijelova koji su dobiveni iz prethodnih ispitivanja korišteni su u ovom modelu. Model rešetkaste konstrukcije analiziran je u ispravnom i u oštećenom stanju kako bi se pokazao utjecaj korozije. Pri analizi je korišten računalni program ABAQUS te metoda FSI (interakcija fluida i konstrukcije) koja prikazuje međudjelovanje konstrukcije s fluidom. U radu su uspoređeni modalni oblici, prve tri prirodne frekvencije, pomaci odabranih točaka i maksimalna naprezanja.

Ključne riječi:

ABAQUS, korozija, konačni elementi, interakcija fluida i konstrukcije, izvanobalne konstrukcije

Preliminary note

Engin Gucuyen, R. Tugrul Erdem

Corrosion effects on structural behaviour of jacket type offshore structures

The application of weight losses to investigate corrosion effects on structural behaviour of an offshore structure under wave loads is presented in this study. Weight losses of sections obtained during previous experimental studies are implemented in the model. The jacket type structural model is analysed in its intact and deteriorated forms to demonstrate corrosion effects. The ABAQUS finite elements program is utilized and the fluid structure interaction (FSI) technique is adopted when modelling the interaction between solid and fluid domains. Mode shapes, first three natural frequencies, displacements of selected points, and maximum stresses, are comparatively presented.

Key words:

ABAQUS, corrosion, finite elements, fluid structure interaction, offshore structures

Vorherige Mitteilung

Engin Gucuyen, R. Tugrul Erdem

Einfluss von Korrosion auf das Strukturverhalten von Offshorebauwerken

In dieser Arbeit wird durch die Anwendung von Massenverlust der Einfluss von Korrosion auf das Strukturverhalten von Offshorebauwerken unter Welleneinwirkungen untersucht. Im Model werden Massenverluste einzelner Elemente aufgrund vorheriger experimenteller Versuche angenommen. Die Gitterstruktur des Bauwerks ist in intaktem und in beschädigtem Zustand analysiert worden. Das Finite-Elemente-Programm ABAQUS ist angewandt und beim Modellieren ist die Fluid-Bauwerk-Interaktion berücksichtigt worden. Schwingungsformen, die ersten drei Eigenfrequenzen und maximale Spannungen sind zum Vergleich dargestellt.

Schlüsselwörter:

ABAQUS, Korrosion, finite Elemente, Fluid-Bauwerk-Interaktion, Offshorebauwerke

1. Uvod

Rešetkaste platforme najviše se koriste za eksploataciju nafte i plina u složenim morskim uvjetima. Platforme su pod utjecajem uporabnih i vanjskih opterećenja kao što su vjetar, strujanje valova i led, a tijekom svog životnog vijeka izložene su i drugim vrstama opterećenja, kao što su oluje, korozija, požari i eksplozije, [1, 2].

Korozija je jedan od važnih čimbenika koji utječe na smanjenje čvrstoće, a česta je kod izvanobalnih konstrukcija zbog nepovoljnih utjecaja okoline [3]. Najčešće se određuje kao jednolika korozijska degradacija. Korozija je u pomorskim objektima, koji su uglavnom napravljeni od različitih vrsta čelika i legura, dosta česta pojava, ne samo zbog toga što su takvi objekti uronjeni u vodu već i zbog opće izloženosti atmosferskim uvjetima [4]. Prema mehanizmima koji je uzrokuju, korozija u metalima ima različite oblike: opća, rupičasta, korozija u procijepu, intergranularna, površinska i galvanska korozija [5]. Najučestalije su opća i rupičasta korozija. Opća korozija nastupa kada je cjelokupna metalna površina izložena korozivnom mediju i događa se ravnomjerno na svim dijelovima površine [5]. Kad se pojavi opća korozija, proračun stabilnosti konstrukcije relativno je jednostavan, a provodi se na način da se reducira korozivni površinski dio ili se uzme u obzir gubitak mase po jedinici površine od prvobitne vrijednosti [6]. Za čvrstoću konstrukcije važniji su gubitci dijela presjeka nego dubina prodiranja rupičaste korozije [7]. Platforme su pod utjecajem opterećenja iz okoliša koje možemo opisati samo statističkim pokazateljima. Zbog nasumičnih promjena brzine i smjera vjetra, mijenjaju se i karakteristične valne visine i periodi nasumično tijekom vremena. Bez obzira na to, ove promjene su dovoljno spore i smatra se da je more u mirnom stanju [8]. U ovom radu, od svih utjecaja iz okoline, promatraju se samo valovi. Utjecaj valova na ovakve konstrukcije jedno je od najvećih opterećenja kojima su takve konstrukcije izložene, pogotovo tijekom olujnog vremena. Promatrani modeli obuhvaćaju samu konstrukciju i fluid, a između njih postoji stalno međudjelovanje. Dva ili više fizikalnih sustava u interakciji čine zavisni sustav. Primjer zavisnog sustava je FSI (eng. *Fluid Structure Interaction* – FSI) sustav, gdje su tekućina i konstrukcija fizikalni sustavi. Konstrukcija može biti pokretna i/ili deformabilna, a protok tekućine može biti unutarnji i/ili vanjski. Sile koje se pojavljuju zbog kretanja tekućine djeluju kao pritisak na konstrukciju, koja se zbog toga deformira.

Povezivanje hidrodinamike i dinamike konstrukcija je zahtjevno zbog različite diskretizacije pojedinih područja (mreže konačnih elemenata fluida i konstrukcije) te drugačijeg numeričkog pristupa za rješavanje jednadžbi sustava. Numeričke metode imaju važnu ulogu u predviđanju hidrodinamičkog gibanja i djelovanja na platforme i postaju sve popularnije razvojem novih kompjutorskih tehnologija [9, 10]. Da bi se objasnio utjecaj korozije na izvanobalne konstrukcije, model sličan modelu [11] korišten je u ovom radu. Konstrukcija je modelirana na dva načina: u prirodnom stanju i u oštećenom stanju uzrokovanom korozijom. Oba su modela

pod utjecajima okoline koji su predstavljeni linearnom valnom teorijom. FSI tehnika koristi se za provođenje analize. Fluid i konstrukcija modelirani su u ABAQUS-u, programu za analizu konačnim elementima. Pomak odabranih točaka u vremenu, prva tri modalna oblika, odgovarajuće prirodne frekvencije i maksimalna naprezanja spomenutih modela dobiveni su za valna opterećenja i uspoređeni, s namjerom da se istraži utjecaj korozije na izvanobalne konstrukcije.

2. Materijali i metode

Utjecaj korozije na ponašanje rešetkaste izvanobalne konstrukcije ispitivano je nelinearnim numeričkim modelom baziranim na metodi konačnih elemenata, korištenjem ABAQUS programa [12]. Iako se zbog složenosti konstrukcija uobičajeno koriste pojednostavljeni 2D modeli [13], model promatrane konstrukcije sastavljen je od 3D cjevastih punih elemenata. Konstrukcija koja je usvojena u numeričkom ispitivanju visoka je 65 m, od čega se 55 m nalazi pod vodom. Neoštećeni i korodirani modeli izloženi su valnom opterećenju prema lineranoj valnoj teoriji. Kako bi se modelirala korodirana konstrukcija, neoštećena konstrukcija podvrgava se gubitku mase koje nastaje od oštećenja. Deset posto gubitaka mase događa se na rešetkastim nosačima koji su uronjeni u vodu, prema [13]. U pravilu se smatra da su rezultati dobiveni na umanjenim uzorcima izravno primjenjivi na konstrukcije u pravoj veličini. Pretpostavljeno je da smanjenje iznosi oko 15% za zonu izloženu utjecaju valova i oko 8% za zonu izloženu atmosferilijama [14–16]. Pomaci i naprezanja dobiveni su eksplicitnom analizom. Provedena je modalna analiza kako bi se dobile prirodne frekvencije. Model temeljen na metodi konačnih elemenata opisan je sljedećom matricom, izraz (1):

$$[K]_{\{ue\}} - \lambda [M]_{\{ue\}} = 0 \quad (1)$$

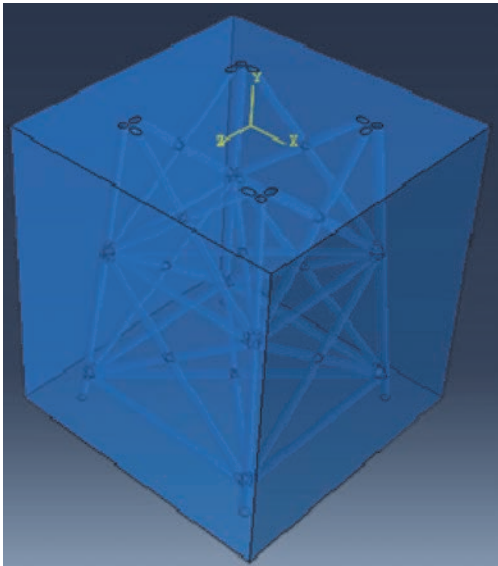
gdje je $[K]$ – matrica krutosti, $[M]$ – matrica masa, $\{ue\}$ – vektor vrijednosti generaliziranih pomaka krajeva elementa, a λ – valna duljina prirodne frekvencije [17]. Za rješavanje matrice primjenjuje se Lanczos metoda.

2.1. Modeliranje u fluidnom području

Fluidno područje modelira se u programu ABAQUS-CFD kako je prikazano na slici 1. Dimenzije tog područja su 45 x 55 x 45 m u smjeru x, y i z. Svojstva tekućine izabrana su tako da predstavljaju morsku vodu s gustoćom od 1025 kg/m³ i dinamičkom viskoznošću od 0,0015 Ns/m². Analiza je provedena uz zadane rubne uvjete fluidnog područja s ulaznom brzinom strujanja koju opisuje linearna valna teorija prikazana u izrazima (2) i (3) prema [18].

$$\dot{u}_v = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\sinh(2\pi(y+d)/L)}{\cosh(2\pi d/L)} \sin\left(\frac{2\pi}{L} z - \frac{2\pi}{T} t\right) \quad (2)$$

$$\dot{u}_z = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh(2\pi(y+d)/L)}{\cosh(2\pi d/L)} \cos\left(\frac{2\pi}{L} z - \frac{2\pi}{T} t\right) \quad (3)$$



Slika 1. Fluidno područje

Hidrodinamičke sile izazvane djelovanjem valova na izvanobalne konstrukcije izračunane su u odnosu na brzine čestica vode i ubrzanja sukladno brzinama čestica vode, što je određeno s obzirom na visinu vala (H), period (T) i dubinu na kojoj je konstrukcija postavljena (d).

Dubina vode, valni period i visina tri su osnovna valna parametra koja se moraju uzeti u obzir za bilo koju vrstu izvanobalne konstrukcije [19]. Važno je napomenuti da je u ovom istraživanju pri analizi odgovora konstrukcije na vodene valove, odgovor morskoga dna i njegovog utjecaja zanemaren, prema [20]. U ovom radu korišteni su sljedeći parametri: $H = 2,5$ m, $T = 8$ s i $d = 55$ m, a u analizi je primijenjena linearna valna teorija.

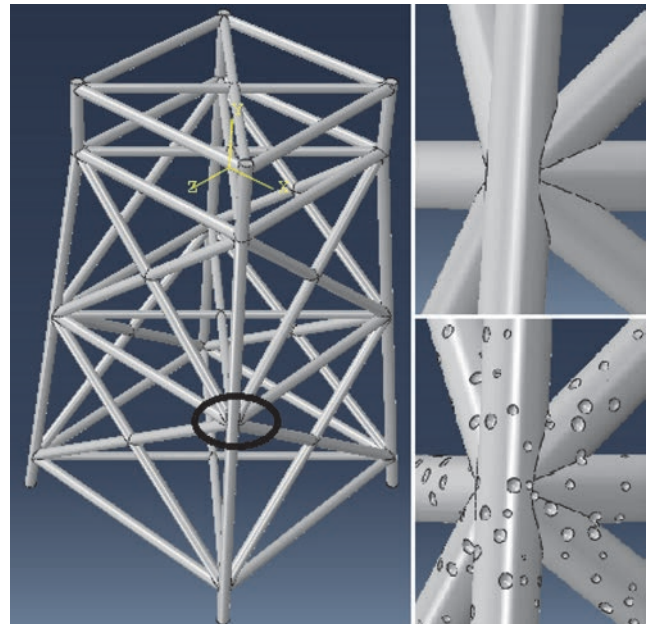
2.2. Modeliranje konstrukcije

Da bi se odredio utjecaj korozije na izvanobalne konstrukcije, razvijen je sličan model kao u literaturi [11]. Po uzoru na model prikazan na slici 2., konstrukcija je modelirana pod pretpostavkom da je pričvršćena za morsko dno. Površina vrha platforme je 26×26 m, a površina baze je 36×36 m. Radi lakšeg snalaženja, modelirana je u cijelosti čelična konstrukcija, Youngov modul elastičnosti iznosi $2,1 \cdot 10^{11}$ N/m², Poissonov koeficijent iznosi 0,3, a gustoća je 7850 kg/m³.

Prikaz neoštećenog modela konstrukcije te neoštećenog i korodiranog čvora može se vidjeti na slici 2. Za model oštećene konstrukcije odabrana je rupičasta korozija koja izaziva gubitak mase za 10 % u uronjenom dijelu konstrukcije, 15 % za dio izložen prskanju valova i 8 % za dio konstrukcije izložen atmosferilijama. Utvrđena geometrijska svojstva neoštećene konstrukcije ista su kao u [11]. Stupovi rešetkastih nosača imaju promjer 1,50 m, a debljina stijenke im je 0,016 m, horizontalne i vertikalne ukrute imaju promjer 1,50 m i debljinu stijenke 0,014 m dok spregovi imaju promjer 1,20 m i debljinu stijenke 0,012 m.

Mase koje ne pripadaju elementima nosive konstrukcije

definirane su preko koncentriranih masa koje su simetrično smještene na četiri krajnja čvora. Opterećenja koja djeluju na konstrukciju su težina, vertikalno opterećenje palube ukupne rezultantne vrijednosti 48×10^5 kg i valno opterećenje u globalnom z smjeru. Konstrukcija je oblikovana kao okvirna konstrukcija s četiri glavna nosača.



Slika 2. Prikaz neoštećenog modela konstrukcije (lijevo), neoštećenog čvora (desno gore) i korodiranog čvora (desno dolje)

2.3. Modeliranje metodom međudjelovanja fluida i konstrukcije

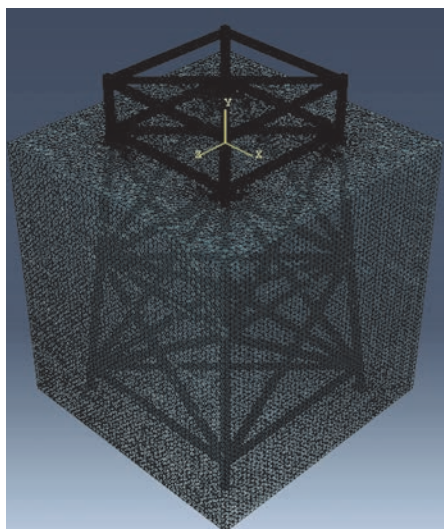
Međudjelovanje fluida i konstrukcije predstavlja skup složenih fizikalnih problema, pri čemu protok tekućine utječe na popustljivu konstrukciju, što pak utječe na protok tekućine. U prvom koraku, FSI se koristi kako bi se odredile kontaktne površine preko kojih se odvija prijenos opterećenja s tekućine na konstrukciju te prijenos deformacija s konstrukcije na tekućinu. Jednadžbe konstrukcije i tekućine rješavaju se neovisno. Program konačnih elemenata koristi jednadžbu (4) za rješavanje fluida [12].

$$k_f u_f = F_f(t) \quad (4)$$

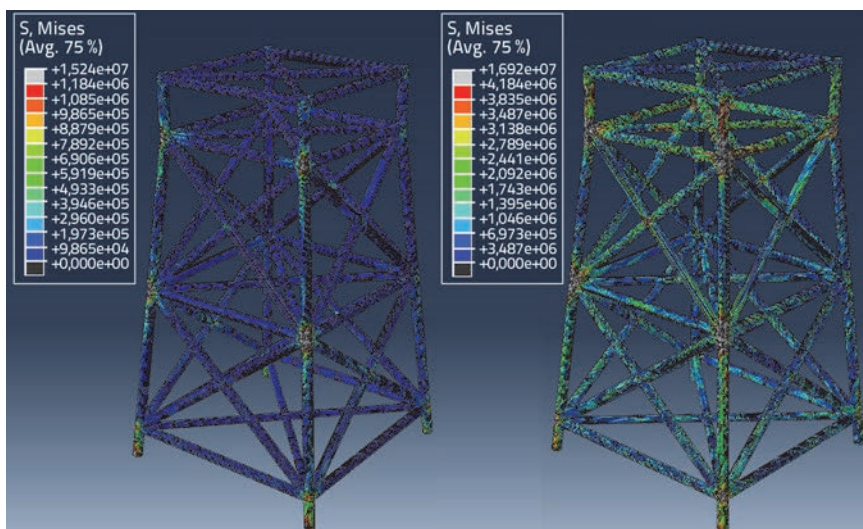
Sile fluida koje se prenose na konstrukciju izračunane su u jednadžbi (4). U navedenoj jednadžbi je u_f određen pomoću izraza (5), izračunan s obzirom na tlak (p), komponente brzine ($\dot{u}_x, \dot{u}_y, \dot{u}_z$) i vrijeme (t).

$$u_f = \{p \dot{u}_x \dot{u}_y \dot{u}_z t\}^T \quad (5)$$

Jednadžbe gibanja konstrukcija, koje se dobiju korištenjem programa konačnih elemenata pod utjecajem hidrodinamičkih sila, mogu se zapisati kao:



Slika 3. Model međudjelovanja fluida i konstrukcije (FSI model)



Slika 4. Raspodjela naprezanja na neoštećenom i korodiranom modelu

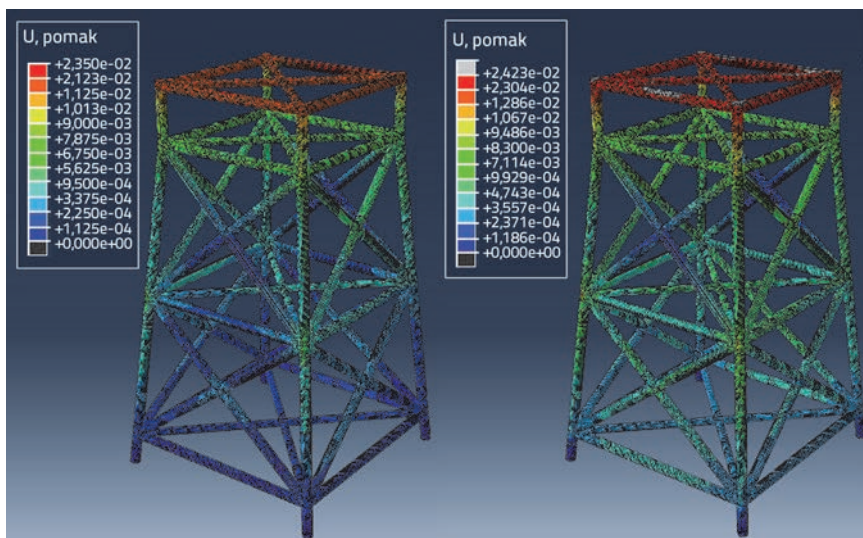
$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = F_r(t) \quad (6)$$

gdje su m , c i k matrice mase, prigušenja i krutosti dok u , \dot{u} i \ddot{u} predstavljaju pomak, brzinu i ubrzanje. Rješenja jednadžbe (6) daju pomake koji se prenose s konstrukcije na tekućinu. Kontaktne sile i rubni uvjeti mijenjaju se pri svakom koraku nakon postizanja konvergencije. FSI model prikazan je na slici 3.

Međudjelovanje fluida i konstrukcije prikazano je na slici 3. Ova se metoda primjenjuje za neoštećeni i korodirani model. Modeli su diskretizirani kako bi se metodom konačnih elemenata mogli provesti složeni proračuni. U modelima su korišteni modificirani tetraedarski elementi s deset čvorova (C3D10M) jer odgovaraju problemu dodirnih površina. Izvedena su 232.423 čvora i 465.038 elemenata za neoštećeni model i 247.989 čvorova te 497.590 elemenata za korodirani model. U analizi fluidnog područja korišteni elementi su FC3D4 (modificirani tetraedar s četiri čvora) koji su prikladni za FSI problem. Fluidno područje za neoštećeni model sadrži 548.940 čvorova i 3.176.250 elemenata, a fluidno područje za drugi model 561.914 čvorova i 3.255.689 elemenata.

3. Rezultati numeričke analize

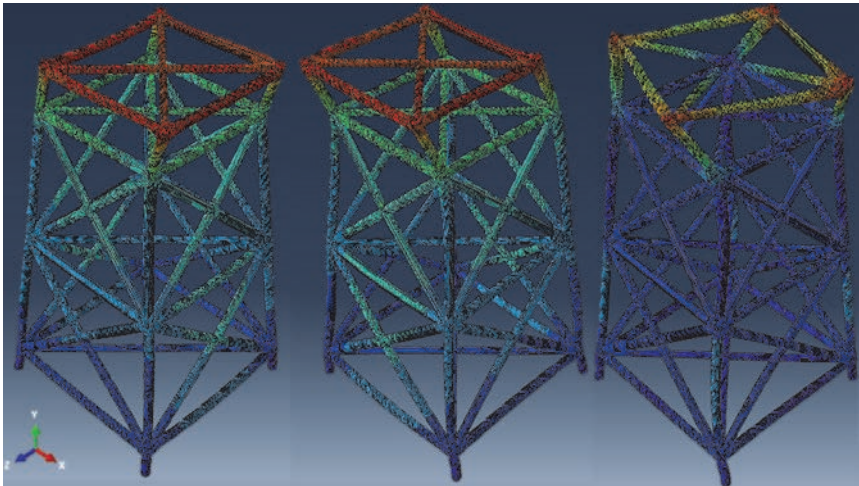
Rešetkaste konstrukcije analizirane su pomoću dvaju različitih modela, za neoštećenu i korodiranu konstrukciju, kako bi se prikazao utjecaj korozije na izvanobalne konstrukcije. Kako je prethodno navedeno, u analizi je korišten ABAQUS program na bazi konačnih elemenata. Za potrebe ispitivanja utjecaja korozije



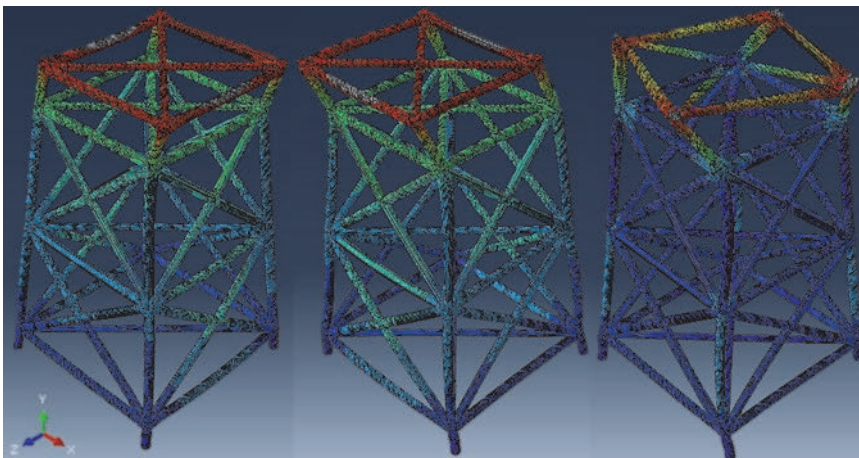
Slika 5. Raspodjela pomaka modela kod neoštećenog i korodiranog modela

na izvanobalne konstrukcije uspoređena su maksimalna naprezanja i pomaci, prva tri vlastita oblika osciliranja i prve tri prirodne frekvencije, kao što je vidljivo na slici 4.

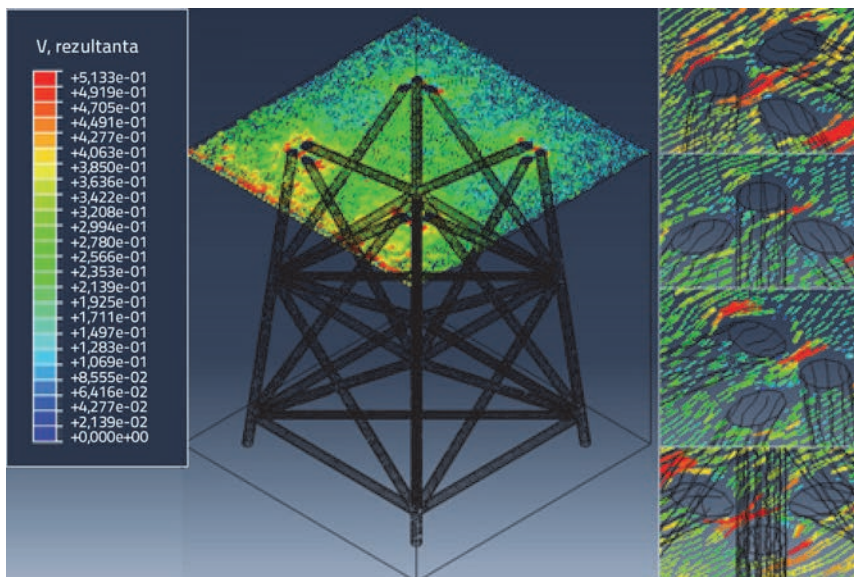
Maksimalne vrijednosti Von Missesovih naprezanja iznose $1.524 \cdot 10^7$ N/m² za neoštećeni model i $1.692 \cdot 10^7$ N/m² za oštećeni model. Vrijednosti naprezanja su veće u čvorovima i ležajevima u oba modela. Širenje naprezanja uočljivije je kod korodiranog modela. Raspodjela pomaka modela može se vidjeti na slici 5. Kao što je očekivano, maksimalne vrijednosti pomaka su na vrhu konstrukcije i iznose $2.350 \cdot 10^{-2}$ m za prvi model $2.518 \cdot 10^{-2}$ m za drugi model. Pomaci korodiranog modela dostižu očigledno veće vrijednosti što je vidljivo iz ponašanja u opterećenom stanju. Kao što se vidi na slici 6., prva tri vlastita oblika neoštećene konstrukcije dobivena su modalnom analizom pomoću računalnog programa ABAQUS. Prirodne frekvencije modela su: 0.444 Hz, 0.446 Hz i 0.517 Hz.



Slika 6. Prva tri vlastita oblika neoštećene konstrukcije



Slika 7. Prva tri vlastita oblika korodiranog modela



Slika 8. Vektori brzine oko neoštećenog modela

Na slici 7. prikazana su prva tri vlastita oblika korodiranog modela. Prva dva vlastita oblika su vlastiti oblici savijanja, a treći je vlastiti oblik izvijanja, kao i na neoštećenom modelu. Frekvencije koje pripadaju navedenim vlastitim oblicima su: 0.471 Hz, 0.475 Hz i 0.548 Hz.

Vektori brzine za neoštećeni model prikazani su na slici 8. Detaljniji prikaz vektora u blizini čvorova na određenoj dubini prikazan je na desnoj strani, u smjeru kazaljke na satu s početnim gornjim lijevim čvorom. Sile valova izračunane su preko brzina u ABAQUS-u primjenom FSI metode tj. interakcije fluida i konstrukcije.

4. Zaključak

Računalni program ABAQUS korišten je kako bi se prikazala oštećenja na rešetkastim izvanobalnim konstrukcijama. Kako bi se odredila oštećenja, analizirana su dva modela, neoštećeni i korodirani. Propadanje je modelirano kao rupičasta korozija. U ovom radu pokazano je da korozija ima ključan utjecaj na izvanobalne konstrukcije. Kad promatramo pomake konstrukcije, vrijednosti na modelima razlikuju se za 6,67 %. Ova vrijednost dobivena je pod pretpostavkom linearne valne teorije; za druge teorije te bi vrijednosti bile veće. Isti rezultat dobiven je za Von Misesova naprezanja. Veće vrijednosti naprezanja za Von Misesova naprezanja dobivene su u oštećenom modelu. Za navedena naprezanja, razlika između modela iznosi 11 %. Maksimalna koncentracija naprezanja je u zoni udara valova gdje su povećana oslabljenja presjeka. Najopterećeniji dijelovi konstrukcije su horizontalni spregovi i spojevi čvorova na glavnim nosačima koji se nalaze u udarnoj zoni. U neoštećenom modelu raspodjele su pomaka i naprezanja jednolike jer nema oštećenja. Promatrani su vlastiti oblici i njima pripadajuće frekvencije kod oba modela. Više frekvencije zabilježene su na oštećenom modelu zbog gubitka masa koje je izazvano rupičastom korozijom. Poznato je da prirodna frekvencija koja se približava frekvenciji vanjskog opterećenja uzrokuje rezonanciju. Ovakva pojava uzrokuje veliku štetu na konstrukciji, a

daljna ispitivanja pokazat će uzrokuje li rupičasta korozija ovu vrstu oštećenja.

Ovo istraživanje provedeno je da bi se ispitalo ponašanje konstrukcija spomenutih modela. Zbog toga nisu ispitivane karakteristike protoka oko konstrukcije, što je vidljivo na slici

8. Ovaj rad bavi se imperfekcijama konstrukcije uzrokovanim korozijom. Između pomaka, naprezanja i prirodne frekvencije, razvoj naprezanja je najvažniji faktor koji se promatra jer uzrokuje pukotine u dijelovima konstrukcije, što je razlog da će ti dijelovi konstrukcije biti detaljnije analizirani u budućim ispitivanjima.

LITERATURA

- [1] Jin, W-l, Song, J., Gong, S-f, Lu, Y.: Evaluation of Damage to Offshore Platform Structures due to Collision of Large Barge, *Engineering Structures*, 27 (9), pp. 1317-1326, 2005.
- [2] Jia, J.: An Efficient Nonlinear Dynamic Approach for Calculating Wave Induced Fatigue Damage of Offshore Structures and Its Industrial Applications for Lifetime Extension, *Applied Ocean Research*, 30 (3), pp.189-198, 2008.
- [3] Dong, W., Moan, T., Gao, Z.: Fatigue Reliability Analysis of the Jacket Support Structure for Offshore Wind Turbine Considering the Effect of Corrosion and Inspection, *Reliability Engineering & System Safety*, 106, pp. 11-27, 2012.
- [4] Adhithya, A., Sidharth, P.: Effect of Pitting Corrosion on Ultimate Strength and Buckling Strength of Plates, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 4 (4), pp. 783-788, 2009.
- [5] Wang, Y-w., Cui, W-c.: Current status and Future Directions for Reliability Analysis of Ship Structures Under Corrosion, *Journal of Ship Mechanics*, 2, pp. 307-320, 2007.
- [6] Yu, W.: Corrosion Effects on the Ductile Fracture, Strength and Reliability of Membranes, Plates and Shells, PhD Thesis, *The University of Michigan*, 2009.
- [7] Melchers, R.E.: Corrosion Uncertainty Modelling for Steel Structures, *Journal of Constructional Steel Research*, 52 (1), pp. 3-19, 1999.
- [8] Ditlevsen, O.: Stochastic Model for Joint Wave and Wind Loads on Offshore Structures, *Structural Safety*, 24 (2-4), pp. 139-163, 2002.
- [9] Aksenov, A., Dyadkin, A., Luniewski, T., Pokhilko, V.: Fluid Structure Interaction Analysis Using Abaqus and Flowvision. *ABAQUS Users' Conference*, Boston MA, USA, 2004.
- [10] Gustafsson, A.: Analysis of Vortex-Induced Vibrations of Risers, Master's Thesis in Applied Mechanics, *Chalmers University of Technology*, Sweden, 2012.
- [11] Karadeniz, H.: Uncertainty Modelling and Fatigue Reliability Calculation of Offshore Structures with Deteriorated Members, *23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vancouver, British Columbia, Canada, 2004.
- [12] ABAQUS/CAE 6.10, 2010.
- [13] Dubois, J., Muskulus, M., Schaumann, P.: Advanced Representation of Tubular Joints in Jacket Models for Offshore Wind Turbine Simulation, *Energy Procedia*, 35, pp. 234-243, 2013.
- [14] Zen, K.: Corrosion and life cycle management of port structures, *Corrosion Science*, 47 (10), pp. 2353-2360, 2005.
- [15] Jeffrey, R., Melchers, R.: Corrosion of vertical mild steel strips in seawater, *Corrosion Science*, 51 (10), pp. 2291-2297, 2009.
- [16] Mohd, M., Paik, J.: Investigation of the Corrosion Progress Characteristics of Offshore Subsea Oil Well Tubes, *Corrosion Science*, 67, pp. 130-141, 2013.
- [17] Reddy, J.: An Introduction to the Finite Element Analysis, *Oxford University Press*, USA, 2004.
- [18] CERC, Coastal Engineering Manual, "Wave Mechanics", Part II, USA, 2002
- [19] Ergin, A.: Coastal Engineering, *Metu Press*, 2009.
- [20] Lu, J., Jeng, D.: Dynamic Response of an Offshore Pile to Pseudo-Stoneley Waves Along the Interface Between a Poroelastic Seabed and Seawater, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, pp.184-201, 2010.