

Ivan Erak

E-mail: erak@yahoo.com

Doc.dr.sc. **Renato Ivče**

E-mail: rivce@pfri.hr

Prof. dr.sc. **Pavao Komadina**

E-mail: komadina@pfri.hr

Pomorski Fakultet Sveučilišta u Rijeci, Studentska 2, 51000 Rijeka

Suvremeni kontejnerski brodovi i fenomen parametrijskog ljuljanja

Sažetak

Suvremeni kontejnerski brodovi su dizajnirani na način da udovoljavaju zahtjevima povećanog kapaciteta te da postižu velike brzine, što uvjetuje relativno nizak blok koeficijent. Navedena obilježja čine ga najpodložnijim utjecaju parametrijskog ljuljanja. Pored konstrukcijskih obilježja broda na parametrijsko ljuljanje utječu i obilježja nadolazećih valova po pramcu, odnosno krmu. Pojava parametrijskog ljuljanja može ugroziti ljude, brod i teret. Stoga se Međunarodna pomorska organizacija (IMO) aktivno uključila u pružanju potpore za proučavanje toga fenomena. Sustavi koji se danas koriste u cilju prevencije i umanjivanja posljedica parametrijskog ljuljanja broda mogu se sagledavati kao sustavi za praćenje obilježja valova i obilježja broda koja imaju utjecaj na pojavu te sustavi koji nastoje umanjiti bočno ljuljanje što nastaje kao posljedica pojave razmatranog fenomena.

Cilj ovoga rada je definirati obilježja kontejnerskog broda te obilježja valova koja izravno utječu na pojavu parametrijskog ljuljanja broda. Također se u radu analiziraju tehnička rješenja koja se mogu koristiti za dobivanje podataka koji su relevantni za nastana, te tehnička rješenja koja mogu umanjiti djelovanje fenomena.

Ključne riječi: kontejnerski brod, fenomen parametrijskog ljuljanja, sigurnost broda, sustavi praćenja i prevencije.

1. Uvod

Parametrijsko ljuljanje je jedan od uzroka gubitka palubnog tereta kontejnerskih brodova što može imati za posljedicu ugrožavanje ljudskih života i sigurnosti broda. Pojava nije novijeg datuma, s kontejnerskim brodovima se povezuje zbog povećanog broja nesreća, tijekom pojave valovitog mora okomitog na smjer uzdužnice broda. [3] Događa se zbog činjenice da promjena površine vodne linije uzrokuje promjenu

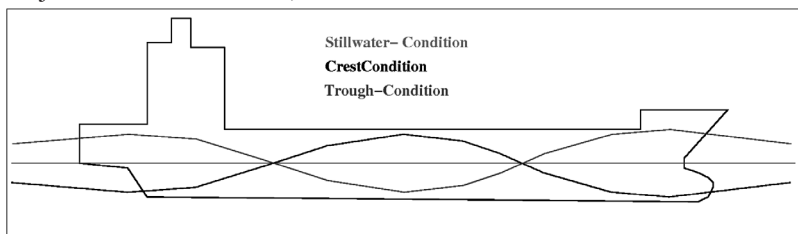
metacentarske visine broda što ima za posljedicu promjenu u amplitudi ljuljanja broda. Parametrijsko ljuljanje je fenomen koji se najčešće pojavljuje bez vidljivih predznaka tijekom plovidbe na valovima u pramac ili krmu. Naizgled, bez vidljivog uzroka amplituda bočnog ljuljanja se naglo povećava i u vrlo kratkom razdoblju dostiže 30° i više što, u određenim slučajevima, postaje pogubno za palubni teret. U posljednjih nekoliko godina zabilježen je značajan broj nesreća kontejnerskih brodova. Kontejneri, koji tom prilikom dospiju u vodu, ne ugrožavaju samo sigurnost broda i posade već i sigurnost svih ostalih sudionika u pomorskom prometu.

Međunarodna pomorska organizacija (IMO) donijela je naputke za plovidbu zapovjednicima brodova koji su podložni nastanku takve pojave. Zbog značenja parametrijskog ljuljanja na sigurnost pomorskog prijevoza razvili su se sustavi koji su u mogućnosti pratiti smjer, visinu te period vala. Istraživanja MAIB-a (Marine Accident Investigation Branch) upozoravaju da fenomeni velikih valova postoje već određeni period vremena, a o njima se govori kao o „abnormalno velikim“ valovima. Statističke analize su pokazale da veliki valovi nisu „abnormalni“ već ih treba opisivati kao pojave koje imaju malu vjerojatnost pojavnosti. Stoga se može očekivati da će se oni s vremenom pojavljivati.

2. Utjecaj stabilnosti broda na parametrijsko ljuljanje

Period poprečnog ljuljanja broda je, pored ostalog, zavisao i o veličini početne metacentarske visine. Brodovi s velikom početnom metacentarskom visinom imaju mali period ljuljanja. Za takve brodove kažemo da su to “kruti brodovi” (*engl. Stiff*), a period ljuljanja kod takvih brodova, u određenim slučajevima, može biti manji od 8 sekunda. Brodovi s malom početnom metacentarskom visinom imaju veliki period ljuljanja i za njih kažemo da su to “mekani brodovi” (*engl. Tender*), gdje period ljuljanja može trajati od 25 do 35 sekunda.[1]

Kada se brod nalazi na valnom dolu, prosječna širina vodne površine je značajno veća nego u mirnoj vodi. Pramac i krma su dublje uronjeni nego u mirnoj vodi dok je sredina broda manje uronjena. Uslijed povećanja površine vodne linije dolazi do povećanja metacentarske visine, a time i stabilnost broda.



Slika 1. Profil vodnih linija u različitim stanjima valovita mora

(Izvor: Stefan Krueger: *Evaluation of the Cargo Loss of a Large Container Vessel due to Parametric Roll*, str.3.)

Kada se srednji dio trupa broda nalazi na brijegu vala, uronjena pozicija pramca i krme je manja nego u mirnoj vodi što ima za posljedicu manju površinu vodne linije, a samim time i manju metacentarsku visinu broda. Navedene promjene rezultirat će različitim momentom stabiliteta broda u funkciji uzdužne pozicije broda na valovima. Stoga se može zaključiti da u slučaju dok brod plovi s valovima po pramcu ili u krmu, stabilnost se povećava dok su pramac i krma na brijegu vala te smanjuje kada se oni nalaze u dolu vala. Najveća pojavnost parametrijskog ljuljanja je primijećena u slučajevima kada je: [4]

- duljina valova približno jednaka duljini broda,
- brod određenih performansi trupa.

Najveće promjene stabiliteta su uzrokovane pramčanim i krmenim uzdužnim valovima. Te situacije donose potencijalno najveće opasnosti razvoju parametrijskog ljuljanja. Prirodni period ljuljanja broda ovisi o vrijednosti metacentarske visine. Zbog toga mogućnost parametrijskog ljuljanja, također, ovisi o vrijednosti metacentarske visine.

Uzimajući u obzir posljedice parametrijskog ljuljanja na brod, ljude i teret značajno je odrediti pokazatelje koji upućuju na mogućnost njegova nastajanja. U pravilu, nije dovoljno samo vizualno promatranja već se ukazuje potreba dobivanja preciznih podataka o obilježjima nadolazećih valova te trenutnim obilježjima ponašanja broda. [7]

3. Sustavi za praćenje utjecaja nadolazećih valova

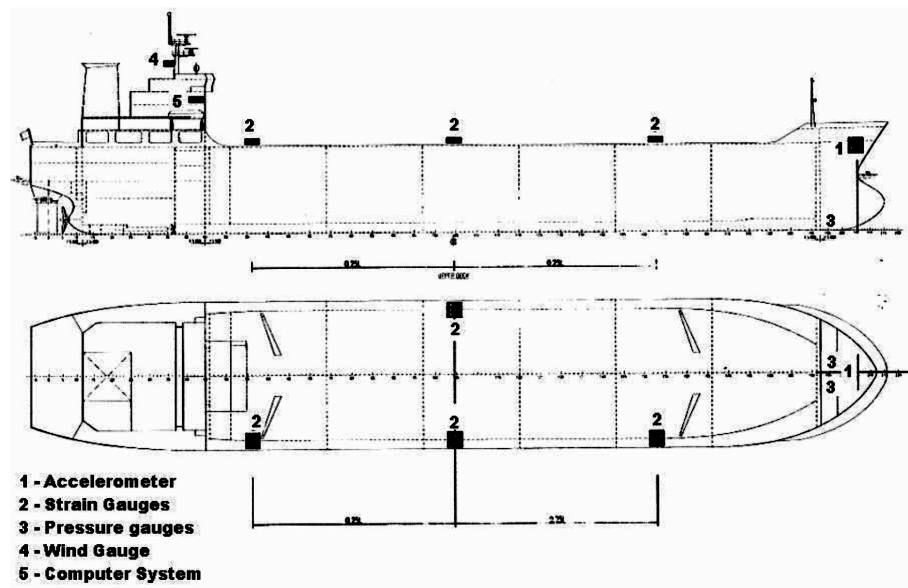
Učinkovitost sustava za praćenje utjecaja nadolazećih valova ogleda se u mogućnosti sustava da u realnom vremenu pruži informaciju o ponašanju broda uslijed utjecaja valovlja. Sustav se sastoji od senzora koji se nalaze na pogodnim pozicijama na trupu brodu, centralne procesne jedinice koja sprema podatke te od programskog sučelja koje procesuiraju podatke. Skupljeni podaci, uključuju ljuljanje broda, reakciju trupa te strukturalna naprezanja s varijablama iz okoliša. Podaci se procesuiraju u realnom vremenu te mogu biti odmah dostupni zapovjedništvu broda. Praćenje naprezanja strukture trupa broda se aktualizira, posebno izgradnjom brodova velikih duljina i kapaciteta. Dvije talijanske tvrtke, Naval Systems i CETENA razvile su certificirani sustav praćenja naprezanja trupa u sklopu regionalnog istraživačkog projekta.

Integrirani sustavi za praćenje obilježja valova u blizini trajektorije broda još uvijek nisu u potpunosti prilagođeni za dobivanje potrebnih parametara. Vizualna procjena valnih parametara nema dovoljnu preciznost i u velikoj mjeri je ovisna o objektivnosti samog promatrača. Sustav temeljen na podacima dobivenim iz analize podataka o stanju mora na broskom navigacijskom radaru pruža najrelevantnije podatke.

3.1. CETENA sustav za praćenje napreznja brodskog trupa

Sustav se sastoji od određenog broja senzora različitih tipova: akcelerometara, senzora napreznja i senzora tlaka. Svi signali sa senzora skupljaju se u kontrolnoj postaji. Sučelje filtrira podatke te ih prikazuje na ekranu koji omogućava brzu i jednostavnu dostupnost podataka. Svi podaci, nakon što se prikladno statistički obrade te se pohranjuju, kako bi se mogle poslije opet procesuirati, verificirati i pružiti dodatne podatke o ponašanju trupa broda tijekom eksploatacijskih uvjeta. Sensorima napreznja mjere se ukupna napreznja i stresovi na različitim pozicijama na brodu ($\frac{1}{4}$ broda sa lijeve i desne strane, $\frac{1}{2}$ broda i $\frac{3}{4}$ dužine broda). Kod mjerenja uzdužnih napreznja, moguće je izračunati vertikalne momente savijanja brodske konstrukcije. Senzori tlaka mjere visinu valova i uspoređuju brodska napreznja sa stanjem mora. Anemometar prikuplja podatke o brzini vjetrova dok centralna jedinica s pokazivačem skuplja i statistički obrađuje podatke te ih prikazuje preko sučelja koje je razvila CETENA. Dodatni ulazni podaci dobivaju se s brodskog GPS sustava te se proslijeđuju prema uređaju zapisa podataka plovidbe broda VDR-u (*Eng. Voyage Data Recorder*).

Razvijeno programsko sučelje predstavlja glavni dio cijelog sustava i omogućuje automatski način rada čitavog sustava, skupljanje podataka i statističku obradu, aktiviranje alarma, automatsku pohranu i cjelokupni pregled spremljenih podataka.

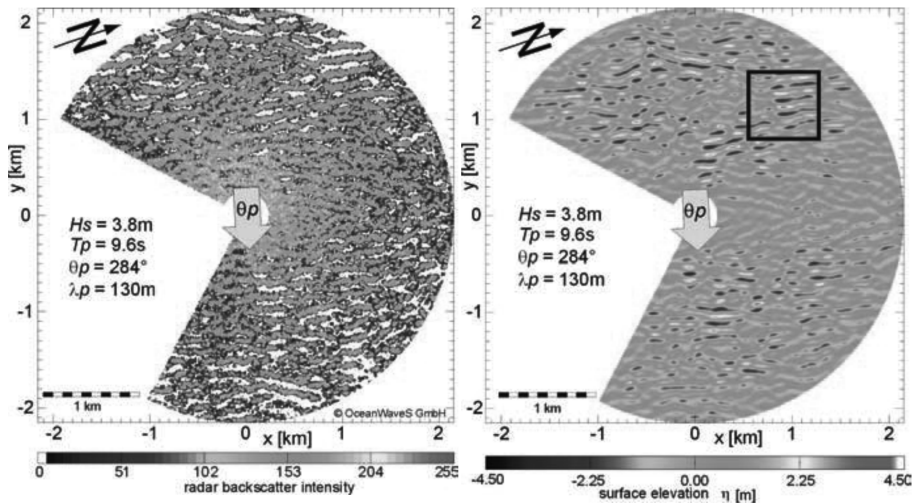


Slika 2. Praćenje napreznja trupa broda sustavom CETENA

(Izvor: *The Hull-Stress Monitoring System by CETENA & Naval Systems, str.5*)

3.2. Uporaba navigacijskog radara u prikupljanju podataka o stanju mora

Za prikupljanje podataka o stanju mora koriste se sustavi WaMoS II. i WAWEX. Sustav za praćenje valova WaMoS II. je spojen s navigacijskim X-bend radarom. Sustav u realnom vremenu prikuplja podatke o stanju mora analizirajući podatke iz povratnog radarskog signala. Sustav je razvio karte koje pokazuju površinu mora. Polazeći od stvarnih podataka sustav temeljem matematičkih modela izvodi procjenu najveće visine valova. Sustav može biti spojen na bilo koji tip X band radara. Sastoji se od sučelja koje digitalizira podatke i dostavlja ih u računalo koje izvodi prikaz i spremanje podataka. [8]



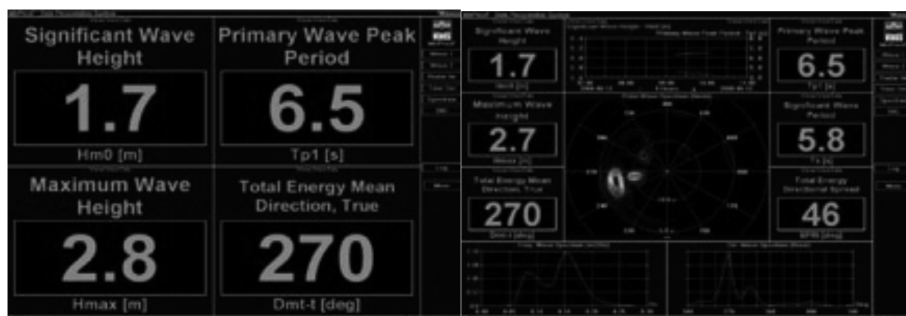
Slika 3. Prikaz površinskog stanja mora

(Izvor : Konstanze Reichert and Ina Tränkmann: Monitoring waves in dangerous seas).

Na slici 3. prikaz je radarske panorame sustava WaMoS II. na lijevom dijelu slike te prikaz morske površine temeljem obrađenih podataka radarske panorame na desnom dijelu slike. Crni pravokutnik označava mjesto na kojem je detektiran najviši val.

Sustav WAWEX se može koristiti kao samostalni sustav ili kao dodatni sustav koji pruža informacije s ostalih senzora na brodu. Opremanje broda razmatranim sustavom je jednostavno, spajanjem na antenu X-radara. Osobito je koristan u lošem vremenu te tijekom noći. Omogućava časniku straže na zapovjedničkom mostu da prati značajne parametre stanja mora te prilagodi brzinu i kurs stvarnim uvjetima.

Podatke sustav prikazuje u brojčanim vrijednostima i lako su razumljivi na grafičkom ekranu, a također se mogu pohranjivati. Broj prozora s podacima može biti postavljen na bilo koji način. Sustav pruža samostalni odabir prikazanih podataka.



Slika 1. Prikaz podataka na sustavu WAVEX

(Izvor: WAVEX - Wave Monitoring System)

Sustav analizira površinu mora na isti način kao i sustav WaMoS II. koristeći X band navigacijski radar. Također je moguće dobiti 3-D sliku.

4. Mogućnost smanjenja parametrijskog ljuľjanja kod kontejnerskih brodova

Polazeći od dosadašnjih saznanja, nije moguće točno odrediti sve parametre koji uvjetuju parametrijsko ljuľjanje broda. Specifična obilježja nadolazećeg vala po pramcu, odnosno krmi broda te obilježja broda koja će uvjetovati njegovo ponašanje nisu u potpunosti definirani. Također su i eksperti IMO-a koji se bave tom problematikom izjavili da se tek u narednih pet godina očekuje prihvaćanje učinkovitog modela koji bi omogućio pravovremenu spoznaju o mogućnosti nastanka parametrijskog ljuľjanja. Za sada je općeprihvaćeno mišljenje da se utjecaj parametrijskog ljuľjanja izbjegne, odnosno svede na najmanju moguću razinu primjenom[9]:

- modeliranja za potrebe modifikacije trupa broda te
- sustava kojim bi se prigušilo nastalo ljuľjanje

Modifikacija trupa bi za cilj imala pronaći rješenje koje bi pružalo optimalna obilježja podvodnog i nadvodnog dijela trupa broda na način da prolazak vala uzduž broda ima što manji utjecaj na njegovu stabilnost. Valja imati na umu i zahtjeve kontejnerskog broda glede komercijalnog učinka, posebice s aspekta rentabilnosti i ekonomičnosti.

Pored modifikacije trupa broda potrebno je dodatno razvijati sustave koji bi već nastalo parametrijsko ljuľjanje umanjivali i tako spriječili pojavu opasnog stanja za brod, ljude i teret. Sustavi koji bi se mogli koristiti u svrhu prigušnja parametrijskog ljuľjanja broda su:

- sustavi pasivnih ili aktivnih protuljuľjnih tankova,
- sustavi aktivnih stabilizatora,
- sustavi ljuľjnih kobilica

Iako navedeni sustavi prevencije pokazuju dobre rezultate, izbor određene opcije prilagođava se željama vlasnika broda. Željeni izbor će utjecati na performanse broda u pogledu brzine, stabiliteta i kapaciteta.

Učinak parametrijskog ljuljanja će se smanjiti prigušivanjem bočnog ljuljanja broda, to jest stvaranjem suprotnog učinka momentu ljuljanja. Suprotni moment ljuljanja može se dobiti protuljuljnim zakretnim krilima (*engl. Anti-rolling fins*), prebacivanjem tekućine u tankovima (*engl. Water motion in tanks*), povećanjem masa koje imaju za posljedicu pomicanje sustavnog težišta broda (*engl. Moving mass systems*) te aktivnim ili pasivnim otklonima kormila.

Ako je početni moment prigušivanja veći od momenta ljuljanja, tada parametrijska rezonanca ljuljanja nije moguća, to jest ako je početni moment prigušivanja manji, tada može doći do parametrijske rezonance ljuljanja. Rezonanca parametrijskog ljuljanja je dinamičko povećanje ljuljanja broda uzrokovano povremenim promjenama stabiliteta broda na uzdužnim valovima mora koje dolazi iz pramčanih ili krmenih smjerova (*engl. Head or Following*). Da bi se postiglo prigušivanje, na brodove se ugrađuju sustavi za stabilizaciju gibanja broda i u osnovi se dijele na pasivne i aktivne sustave.

4.1. Pasivni sustavi

Pasivni sustavi podrazumijevaju ugradnju ljuljne kobilice te protunagibnih tankova kod kojih se voda prelijeva iz bočnog tanka na jednoj strani u bočni tank suprotnoj strani broda tijekom ljuljanja broda.

4.1.1. Ljuljne kobilice

Ljuljne kobilice (*engl. Fins*)“ su stabilizatori koji provode redukciju u amplitudi ljuljanja broda. Ljuljna kobilica trebala bi biti s pažljivo odabranom veličinom kako bi se dobio optimalni učinak, a da ujedno pruža najmanji otpor i trenje brodu u plovidbi. Amplituda ljuljanja može biti smanjena do 35% te su stoga vrlo ekonomične.

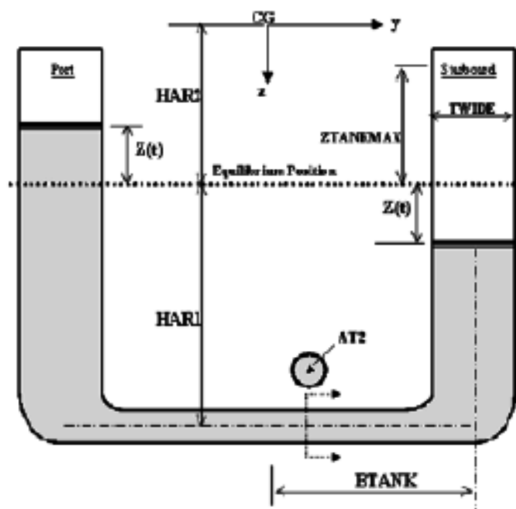


Slika 4. Postavljanje ljuljne kobilice

(Izvor: <http://www.google.hr/imgres?q=ljuljna+kobilica&hl>.)

4.1.2. Pasivni stabilizirajući tankovi

Pasivni stabilizirajući tankovi reduciraju amplitude ljuljanja s prelijevanjem balasne vode iz bočnog tanka na jednoj strani u bočni tank na suprotnoj strani broda tijekom ljuljanja broda. Voda iz tankova se prelijeva slobodno, pod utjecajem učinka gravitacije.



Slika 2. Shematski prikaz pasivnog "U-tube type anti-roll tank system"

(Izvor: American Bureau of Shipping (ABS) "Guide for the Assessment of Parametric Roll Resonance in the Design of Container Carriers, 2004)

Drugi način uključuje perforirane uzdužne pregrade koje ograničavaju (ali ne sprečavaju) protok vode s jedne strane na drugu. Stabilizirajuća sila koja se pojavljuje u tim tankovima je efekt slobodne površine koja u kombinacijama s tekućinom i horizontalnim ubrzanjem sile izazvanim pokretima tekućine, smanjuju period ljuljanja broda. Količina tekućine u takvim tankovima podešava se u odnosu na različite metacentarske visine. Ti tankovi su napravljeni isključivo za smanjenje amplitude ljuljanja te značajno smanjuju brodsku stabilnost uslijed nastanka velikog momenta slobodnih površina.

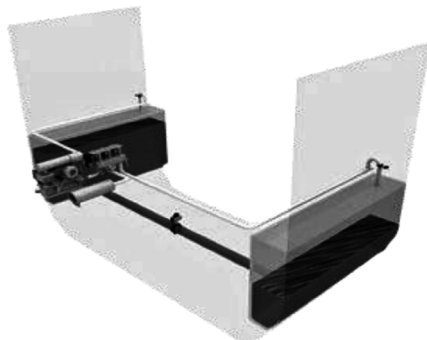
4.2. Aktivni sustavi

Danas se na brodovima najčešće koriste sljedeća dva aktivna protunagibna sustava koji su tijekom eksploatacije broda pokazali najbolje rezultate:

- Pneumatski sustav
- Aktivne stabilizirajuće peraje (*engl. Fins*)

4.2.1. Pneumatski sustav

Pneumatski sustav uključuje sustav komprimiranog zraka na vrhu balastnog tanka koji se po jedan nalaze na svakoj strani broda. Zrak se utiskuje u jedan tank i istiskuje iz drugog tanka, uzrokujući na taj način snažni protok vode iz tlačnog tanka u tank iz kojega se zrak istiskuje. Razina vode je kontrolirana s crpkom ili crpkama koje djeluju u odgovoru na žiroskopom kontroliranim sustavom za očitavanje. Takvo prebacivanje vode koristi se za uspravljanje broda u vrlo kratkom vremenu. U sustavu je voda raspodijeljena tako da će veća količina vode uvijek biti u tanku na višoj strani opsega ljuljanja.

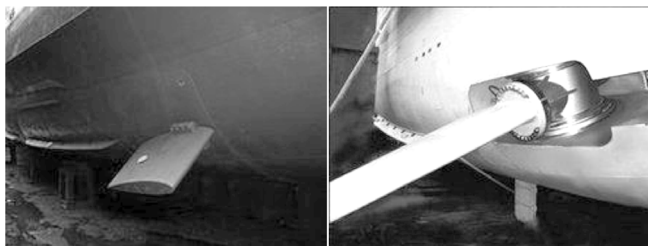


Slika 5. Aktivni pneumatski „Anti Heeling System“

(Izvor: <http://www.marineinsight.com/misc/marine-safety/what-is-anti-heeling-system-on-ships/>)

4.2.2. Aktivne stabilizirajuće peraje

Aktivne stabilizirajuće peraje smještene su po jedna sa svake strane broda i mogu se po potrebi uvlačiti u trup broda. Peraje su hidrodinamičkog oblika od kojih jedan dio rotira koso na brod. Kad je vodeći rub nagnut prema dolje, voda prolazi pokraj peraja koje djeluju prema dolje. U isto vrijeme peraje na suprotnoj strani, vodeći rub nagnut prema gore, i stvaraju silu prema gore. To će stvoriti stabilizaciju momenata koji će se protiviti momentima ljuljanja.



Slika 6. Aktivne stabilizirajuće peraje

(Izvor: <http://www.google.hr/imgres?q=active+stabilising+fins&hl>)

Ljuljanje broda može se osjetiti na brodskom žiroskopu koji će djelovati na elektro-hidrauličnom pokretanju prijenosnika koji će omogućiti optimalni nagib peraja za smanjenje ljuljanja broda. Taj je sustav od velikog učinka na brodovima većih brzina, gdje oni smanjuju amplitude ljuljanja broda.

5. Zaključak

Pred suvremene kontejnerske brodove postavljaju se dva oprečna zahtjeva kojima obilježja broda moraju udovoljavati, a to su što veći kapacitet i brzina. Kako bi se u najvećoj mogućoj mjeri udovoljilo navedenim uvjetima, konstrukcijski oblik podvodnog dijela trupa je specifičan. Pokazalo se da upravo te značajke pogoduju nastanku fenomena parametrijskog ljuljanja broda. Fenomen je posebno opasan zbog činjenice da je vrlo teško predvidjeti njegovo nastajanje, a posljedice za posadu, brod i teret mogu biti fatalne. Fenomen je poznat već duže vrijeme, ali mu se tek u posljednjih nekoliko godina počela pridavati veća pozornost. Parametrijsko ljuljanje broda nastaje kada valovi dolaze iz smjera pramca ili krme. U tim situacijama može doći do značajnog bočnog ljuljanja broda. Nastanak tog fenomena pripisuje se hidrodinamičkim linijama podvodnog dijela pramčanog i krmenog dijela trupa, te punoj formi središnjeg dijela. Parametri valova su, također, ključni element nastanka parametrijskog ljuljanja. Njihova valna duljina mora biti približno jednaka duljini broda, dok frekvencija susretanja valova i frekvencija prirodnog ljuljanja broda moraju biti u omjeru 1:1 ili 2:1. Takve se situacije, osobito, mogu očekivati na sjevernom dijelu Pacifika na kojem su promjene vremena učestalije nego na Atlantskom oceanu.

U današnje vrijeme još nisu u potpunosti razvijeni sustavi koji bi parametrijsko ljuljanje mogli u potpunosti zaustaviti pa se problemu pristupa na način da se utvrde parametri koji pokazuju mogućnost nastanka. Takvi sustavi su u mogućnosti prikazati i odrediti visinu valova i druge bitne elemente te ih također prikazati u 3-D slici.

Sustavi za umanjivanje bočnog ljuljanja još nisu u mogućnosti u potpunosti zaustaviti parametrijsko ljuljanje. Njihov razvoj ide u smjeru umanjivanja razmatranog fenomena uporabom ljuljnih kobilica, aktivnih stabizatora te preljevniha bočnih tankova. Također valja napomenuti da se i IMO aktivno uključio u pružanju potpore za proučavanje tog fenomena kako bi se umanjile moguće posljedice za ljude, brod i teret.

Literatura:

1. **B.J.H. van Laarhoven**, Stability Analysis of Parametric Roll Resonance, Eindhoven University of Technology Department Mechanical Engineering Dynamics and Control Group Eindhoven, June 2009.
2. **F. Mewis, H. Klug**, The Challenge of Very Large Container Ships, Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH, Hamburg, Germany, 2004.
3. **K. Benedict, M. Kirchhoff M. Baldauf**, Decision suport for avoiding roll resonance and wave impact for ship operation in heavy seas, Wismar University of Technology, Business and Design, Dept. of Maritime Studies, Germany, 2006.
4. **K.J. Spyrou, I. Tigkas, G. Scanferla**, N. Pallikaropoulos, N. Themelis, Prediction potential of the parametric rolling behaviour of a post-panamax containership, School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens, 9 Iroon Polytechniou, Zographou, Athens 15773, Greece, 2008.
5. **S. Krueger**, Evaluation of the Cargo Loss of a Large Container Vessel due to Parametric Roll, TU Hamburg-Harburg, 2006.
6. **Holden Christian and others**: Nonlinear „Container Ship Model for the Study of Parametric Roll Resonance, Modeling, Identification and Control“, Vol. 28, No. 4, 2007.
7. **Ivčič R., Jurdana I., Mohović Đ.**, Parametric Roll Monitoring with an Integrated Ship's System, Symposim ELMAR 2010., Zadar.
8. **Konstanze Reichert, Ina Tränkmann** „Monitoring waves in dangerous seas, OceanWaveS“ GmbH, 2006.
9. **MSC.1/Circ.1228** „Revised guidance to the master for avoiding dangerous situations in adverse weather and sea conditions“, 2007.

Ivan Erak, Renato Ivče, Pavao Komadina

Modern Container Ships and the Parametric Rolling Phenomenon

Abstract

Modern container ships are designed to meet the requirements of increased capacity and to achieve high speed, whereby causing a relatively low block coefficient. Due to such features, they become most susceptible to the impact of parametric rolling. In addition to the structural features of the ship, parametric rolling is also affected by characteristics of successive waves either from the fore or aft part. The appearance of parametric rolling can threaten the people on board, the ship and her cargo. Therefore, the IMO has been actively involved in providing support for study of this phenomenon. The systems, which are used for prevention and mitigating the consequences of ship's parametric rolling, can be regarded as systems for monitoring the characteristics of waves and those of the ship that have an effect on the occurrence, and also as systems seeking to reduce ship's rolling that occurs as a consequence of the observed phenomena.

The aim of this paper is to define the characteristics of container ship, and the characteristics of waves that directly affect the appearance of ship's parametric rolling. The paper also analyzes technical solutions that can be used to obtain data relevant for the development and technical solutions which may reduce the effect of the phenomenon.

Key words: container ship, parametric rolling phenomenon, safety, monitoring and prevention systems.