

# Prijevoz kontejnera morem

---

**Vuksanović, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:294630>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-12**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET

**MARKO VUKSANOVIĆ**

**PRIJEVOZ KONTEJNERA MOREM**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**PRIJEVOZ KONTEJNERA MOREM  
CONTAINER TRANSPORT BY SEA**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Tehnologija prijevoza kontejnera i ro – ro tehnologija

Mentor: prof. dr. sc. Renato Ivče

Student: Marko Vuksanović

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112079076

**Rijeka, rujan 2023.**

Student: Marko Vuksanović

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112079076

### **IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA**

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom: **Prijevoz kontejnera morem**

izradio samostalno pod mentorstvom: **prof. dr. sc. Renato Ivčec**

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



---

Marko Vuksanović

Student/studentica:

Studijski program:

JMBAG: 0112079076

IZJAVA STUDENTA - AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student — autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima Creative Commons licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student/studentica + autor

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

## SAŽETAK

U radu se analiziraju i opisuju svi aspekti prijevoza kontejnera morem. Iako je svoje preteče imala u dalekoj prošlosti kontejnerizacija se počela u međunarodnom smislu razvijati od druge polovice 1960-ih godina. Razvoj kontejnerizacije pratio je i promjene u izgledu i opremi brodova koji su s vremenom postali isključivo specijalizirani za prijevoz kontejnera. Danas najveće kompanije broje preko 700 specijaliziranih kontejnerskih brodova u flotama. Ovaj vid transporta prati trendove u tehnologiji, a u novije vrijeme i druge poput ekoloških. Neprestani razvoj tehnologije znatno je unaprijedio kontejnerizaciju koja je u radu opisana od njenih početaka do suvremenog doba.

**Ključne riječi:** kontejner, prijevoz morem, kontejnerski brod, kontejnerizacija

## SUMMARY

*The paper analyzes and describes all aspects of shipping containers by sea. Although it had its forerunners in the distant past, containerization began to develop in an international sense from the second half of the 1960s. The development of containerization was accompanied by changes in the appearance and equipment of ships, which over time became exclusively specialized for the transport of containers. Today, the largest companies have over 700 specialized container ships in their fleets. This type of transport follows the trends in technology, and more recently others such as ecological ones. The constant development of technology has significantly improved containerization, which is described in the paper from its beginnings to modern times.*

**Key words:** container, transport by sea, container ship, containerization

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. STRUKTURA RADA .....	1
2. POVIJESNI RAZVOJ KONTEJNERIZACIJE.....	2
3. KONTEJNER .....	2
3.1. PODJELA I VRSTE KONTEJNERA U POMORSTVU .....	3
3.2. DIMENZIJE I OBILJEŽJA KONTEJNERA .....	4
4. KONTEJNERSKI BRODOVI .....	6
4.1. RAZVOJ KONTEJNERSKIH BRODOVA (GENERACIJE).....	6
4.2. KLASIFIKACIJA KONTEJNERSKIH BRODOVA.....	9
4.2.1. LO-LO brodovi.....	10
4.2.2. RO-RO brodovi .....	10
4.2.3. FO-FO brodovi .....	11
5. TERET KOJI SE PREVOZI KONTEJNERIMA .....	11
5.1. KLASIČNI TERETI.....	12
5.2. SPECIJALNI TERETI.....	13
6. BRODARSKE KOMPANIJE I KONTEJNERSKE LUKE .....	17
7. POZICIONIRANJE, UKRCAJ, ISKRCAJ I SLAGANJE TERETA .....	19
7.1. KUT NAPLAVLJIVANJA BRODA.....	20
7.2. RASPORED POSREDNE NOSIVOSTI I ODGOVARAJUĆI MOMENTI.....	20
7.3. STATIČKI STABILITET BRODA.....	21
7.3.1. Metacentralna visina nekorigirana za utjecaj slobodnih površina.....	22
7.3.2. Metacentarska visina korigirana za utjecaj slobodnih površina .....	22
7.3.4. Pokus nagiba.....	23
7.3.5. Vertikalni moment broda .....	23
7.3.6. Proračun ukupnog trima broda .....	24
7.3.7. Određivanje krivulje poluga statičkog stabiliteta kontejnerskog broda .....	25
7.4. DINAMIČKI STABILITET KONTEJNERSKOG BRODA .....	26
7.4.1. Amplituda ljuľanja .....	27
7.4.2. moment prevrtanja broda.....	28
7.4.3. Period valjanja broda.....	28
7.5. KRITERIJ ZA MINIMALNI STABILITET KONTEJNERSKOG BRODA .....	28
8. OŠTEĆENJA KONTEJNERA .....	29
9. ZAKLJUČAK.....	30
10. LITERATURA .....	30





# 1. UVOD

Svijet je gotovo nezamisliv bez trgovine i robnih tokova. Od davnina čovjek se na razne načine bavio transportom roba koje je kupovao ili prodavao. Smatra se kako su prve sustavnije oblike transportnog sustava imali još drevni Feničani. Danas osnovne životne potrepeštine dolaze u trgovine zahvaljujući sustavu međunarodnog transporta čiji je bitan dio pomorski transport. Razvoj kontejnerizacije prati konstantan uspon u vidu napredovanja tehnologije koja se pri ovoj vrsti transporta koristi te u vidu brojnih novih klasifikacija i pravila. Iako je kontejnerski transport značajan postoje i mnoge opasnosti koje su zastupljene kao što je to npr. prijevoz opasnih tereta.

Cilj i svrha rada je analizirati razne aspekte prijevoza kontejnera morem. Od definiranja samog pojma kontejner i podjele na vrste kontejnera do robe koja se u njima prevozi. Također se obrađuju i klasificiraju kontejnerski brodovi te se analizira i objašnjava proces manipulacije kontejnerima od pozicioniranja, do operacija ukrcaja i iskrcaja istih. Prema dostupnim podacima za 2023. godinu prikazane su najveće kompanije koje su ostvarile najveći kapacitet u TEU.

## 1.1. STRUKTURA RADA

Rad sadrži devet poglavlja. Prvo, uvodno poglavlje objašnjava cilj i svrhu rada. Drugo poglavlje pod nazivom „Povijesni razvoj kontejnerizacije donosi opće pojmove koji su važni za razumijevanje teme te daje kraći povijesni pregled od pojave kontejnera do značajnijih godina vezanih uz unaprjeđenje kontejnerizacije. Drugo poglavlje pod nazivom „Kontejneri“ definira pojam kontejnera te u podpoglavljima analizira podjelu kontejnera prema različitim kriterijima. Četvrto poglavlje pod nazivom „kontejnerski brodovi“ analizira generacije kontejnerskih brodova i klasifikaciju istih. Peto poglavlje pod nazivom „Teret koji se prevozi kontejnerima“ analizira različite terete koji se prevoze u kontejnerima s osnovnom podjelom na klasične i specijalne terete. Poglavlje šest „Brodarske kompanije i kontejnerske luke“ prikazuje neke od najvećih brodarskih kompanija te neke od najvećih (prema TEU) kontejnerskih luka u svijetu. Poglavlje sedam „Pozicioniranje, ukrcaj, iskrcaj i slaganje tereta“ analizira statički i dinamički stabilitet broda i prikazuje izračune za pojedine dijelove. Osmo poglavlje „Oštećenja kontejnera“ prikazuje različite tipove oštećenja. Deveto poglavlje je zaključno poglavlje rada.

## 2. POVIJESNI RAZVOJ KONTEJNERIZACIJE

Riječ kontejner korijen ima u engleskom jeziku, odnosno dolazi od engleske riječi "*container, contain*" što u prijevodu znači sadržavati. Smatra se kako je upotreba sličnih predmeta tzv. preteča kontejnera stara koliko i svijet. Točnije, poznato je da su se prijevozom nalik današnjem kontejnerskom prijevozu služili drevni Feničani. No, domovinom kontejnera smatra se Sjeverna Amerika gdje su tamošnja indijanska plemena u kanuima prevozila krzno u balama, suho meso u vrećama i sl. Razvoj kontejnerskog prijevoza u Sjevernoj Americi nastavljen je i tijekom 17. stoljeća kad je u doba kolonizacije prevožen duhan. Do intenzivnije upotrebe kontejnera došlo je u vrijeme Prvog svjetskog rata, a u svrhu brže otpreme municije i ratnog materijala u Europu. U Sjedinjenim Američkim Državama kontejner se od 1917. uvodi u transport. U SSSR-u je u potrebi od 1931./32., a u Europi od 1928. godine. Tijekom Drugog svjetskog rata pomorski transport robe kontejnerima se intenzivira. U veljači 1966. kontejnerska linija SAD – Europa uspostavljena je od strane "Moor MC Cormar Lines". Iste se godine pridružuje i kompanija UNITED STATES LINES. Nadnevak 6. svibnja 1966. uzima se kao početak međunarodne kontejnerizacije jer je tada američki brod Fairland s kontejnerima uplovio u luku Bremenhaven. CROATIA LINE se 1970. uključila kao hrvatski brodar u prijevoz kontejnerima. Od kasnih 1950-ih dolazi do standardizacije kada je American Standards Association (ASA) 1958. godine sazvao sastanak transportne industrije kako bi se usustavile dimenzije i ostali parametri vezani uz kontejnere. Godinu dana kasnije, 1959. godine, predloženo je pet veličina, a u dužini (ft) iznosile su: 12, 17' i 20, 24, 35 i 40 ft. U narednim godinama izmjenjivane su standardne veličine kontejnera [1]. Iz godine u godinu proizvodnja kontejnera se povećava brojem i opsegom. Godišnje se proizvede 700 tisuća kontejnera, a samo je u pomorskom brodarstvu u svijetu 9 milijuna TEU kontejnera [2].

## 3. KONTEJNER

Kontejner se definira kao: zatvorena, čvrsta i otporna jedinica transporta. Kontejner ima najmanje jedna vrata. Služe za prijevoz različitih tereta morem, zrakom i kopnom [3].

### 3.1. PODJELA I VRSTE KONTEJNERA U POMORSTVU

Kontejneri se dijele prema nekoliko kategorija, a to su: prema korisnoj nosivosti, prema konstrukciji, prema mjestu korištenja, prema vrsti robe koja se prevozi.

U podjeli prema korisnoj nosivosti razlikuju se:

1. laki (mali i srednji) kontejneri. Mali kontejneri su 1 - 3  $m^3$ , a srednji su 3 - 10  $m^3$ ,
2. teški kontejneri su volumena većeg od 10  $m^3$

Podjela prema konstrukciji je:

1. sklopive kontejnere,
2. nesklopive kontejnere,
3. kontejnere s uređajem za samoistovar ili bez njega.

Kontejneri prema vrsti robe koja se prevozi kontejneri:

1. univerzalni zatvoreni kontejneri s vratima na čelu ili na boku za prijevoz pakirane komadne robe te paletizirane robe,
2. kontejneri s krovom koji se može otvarati i vratima na čelu i boku za prijevoz robe u pakiranom ili rasutom stanju različite granulacije,
3. otvoreni kontejneri s pokrivačem ili bez njega (engl. "open top") za prijevoz: ugljena, šljunka, koksa, granuliranog kamena, raznih vrsta proizvoda metalne industrije i ostale robe koja podnosi atmosferske utjecaje,
4. kontejneri tipa cisterne za prijevoz tekućina, tekućeg plina itd.,
5. kontejneri tipa cisterne za prijevoz prašinih materijala kao što su: cement, brašno, grafit te ostale sitnozrnate robe,
6. kontejneri s niskim stranicama za prijevoz teških vozila i koleta,
7. kontejneri- platforme za prijevoz izvan gabaritnih tereta,
8. kontejneri za prijevoz stoke [1].

Svi kontejneri mogu se podijeliti u šest kategorija, a to su:

1. kontejneri za prijevoz generalnog tereta,
2. „temperaturni“ kontejneri,
3. tank- kontejneri ili kontejneri- cisterne,
4. *bulk*- kontejneri ili kontejneri za prijevoz rasutih tereta,
5. kontejneri platforme (engl. "*flat containers*"),
6. kontejneri specijalne namjene koji se dijele na: kontejnere za prijevoz žive stoke i na sklopive kontejnere (engl. "*collapsible containers*") [1].

### 3.2. DIMENZIJE I OBILJEŽJA KONTEJNERA

Prema Međunarodnoj organizaciji za standardizaciju (engl. ISO- "*International Organization for Standardization*") parametri koji definiraju dimenzije kontejnera na temperaturi okoline od + 20°C su: dužina (mm), širina (mm) te visina (mm). U tablici 1. prikazane su dimenzije ISO kontejnera.

IS O 668 ft	Dužina (mm)		Širina (mm)		Razlik a $D_1-D_2$ $D_2-D_1$	$C_1$ (m m)	$C_2$ (m m)	Visina	Max. nosivos t (kg)
	L	S	W	P				Ft H mm	
1 A 40'	+0 12192 -10	+4 11985 -6			19 mm			0 8' 2438-5	30480 kg
1 AA 40'	"	"			"			8'6"2591-5	"

1 AX 40	"	"			"			<8' <2438	
1 B 30'	+0 9125- 10	+4 8918- 6			16 mm			0 8' 2438-5	25400
1 BB 30'	"	"			"			0 8'6"2591-5	"
1 BX 30'	"	"	+0 2438-5	+0 2259-5	"			<8' <2438	"
1 C 20'	+0 6058- 6	+3 5853- 5			13 mm			0 8'2438-5 0	20320
1 CC 20'	"	"			"			8'6"2591-5	"
1 cx 20'	"				13 mm			<8' <2438	"

**Tablica 1.:** Dimenzije ISO kontejnera

Izvor: S. Kos i D. Vranić, Morska kontejnerska transportna tehnologija I., Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2008. [1]

Dijelovi univerzalnog zatvorenog ISO kontejnera su: kutna naglica, kutna upora, čeona stijenka, čeona vrata, poprečni nosač krova, poprečni nosač poda, bočna stijenka, bočna vrata, bočno rebro, pod, poprečno rebro dna, dno, krov, uzdužni nosači krova, uzdužni nosači poda, žljebovi za zahvat viljuškara, uređaji kojima se zatvaranju vrata, izrez „gušćji vrat“. Dijelovi kontejnera prikazani su na slici niže.

Za lakše i jednostavnije označavanja kontejnera Međunarodna organizacija za standardizaciju preporučila je usklađivanje sustava za označavanje. Kontejneri se označavaju na sljedeći način:

XYZU		NNNNNN N
GBX	NN	NN*

**Slika 1.:** Primjer označavanja kontejnera

Izvor: S. Kos i D. Vranić, Morska kontejnerska transportna tehnologija I., Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2008. [1]

Kako bi se lakše razumjelo na što se pojedina oznaka odnosi potrebno ih je pobliže objasniti. Oznaka XYZU označava kodnu oznaku vlasnika kontejnera. Oznaka GBX označava kodnu oznaku države, NN označava dimenzije kontejnera, a šest znamenki (N) označava serijski broj dok jedna znamenka (N) označava kontrolni broj. Oznaka NN\* u donjem desnom kutu označava tip kojemu kontejner pripada. Kod oznake tipa kontejnera prva znamenka se označava u rasponu od 0 do 9, a označava posebnu grupu. Neke od posebnih grupa su:

Prva znamenka u kodnoj oznaci tipa kontejnera označava posebnu grupu u koju kontejner spada tzv. kontejner – platforma, tank – kontejner, izolacijski kontejner i dr. [1].

## **4. KONTEJNERSKI BRODOVI**

U ovom poglavlju analiziraju se kontejnerski brodovi prema određenim generacijama od svojih početaka do današnjih suvremenih kontejnerskih brodova. Kontejnerski brodovi analiziraju se po kapacitetu u TEU jedinicama te su navedeni neki od poznatijih brodova u određenim generacijama. Također u ovom poglavlju navodi se klasifikacija kontejnerskih brodova te se opisuju njihova svojstva.

### **4.1. RAZVOJ KONTEJNERSKIH BRODOVA (GENERACIJE)**

Ovisno o zahtjevima vremena kontejnerski su se brodovi razvijali do današnjih dana kroz osam generacija. Ovisno o dimenzijama i kapacitetu brodovi su se razlikovali generacijski. Prva generacija kontejnerskih brodova dijeli se na dvije faze, prvu fazu čine brodovi koji su građeni

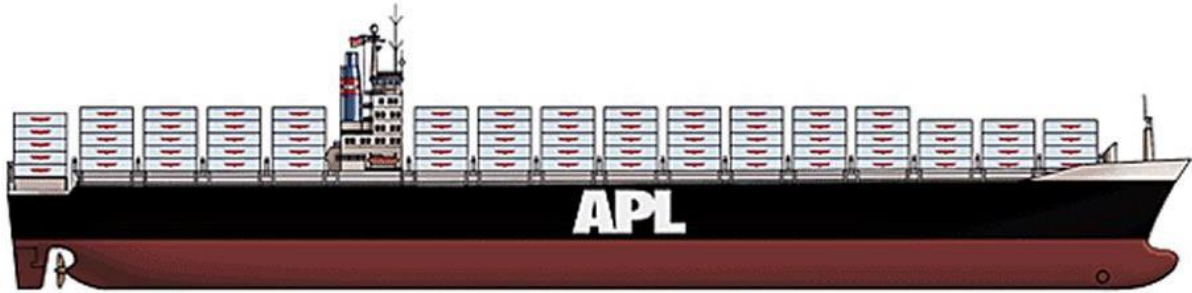
između 1956. i 1970. godine. Riječ je o prenamjeni tankera i brodova za rasuti teret nosivosti do 800 TEU-a. Tijekom prve faze kontejnerizacija tek je u začetima te je umjesto gradnje specijaliziranih novih brodova jeftinija bila prilagodba već postojećih. Brodovi iz prve faze prve generacije imali su dizalice, a kontejneri su mogli biti smješteni samo na palubi broda jer se u trupu i dalje nalazio generalni teret. Prvi brod ("Gateway City") koji je 1957., ugradnjom vodilica, postao potpuno prilagođen za prijevoz kontejnera imao je kapacitet 226 kontejnera. Druga faza započela je početkom sedamdesetih godina. Kontejner je prihvaćen kao način transporta te započinje gradnja brodova koji su namijenjeni isključivo prijevozu kontejnera, tzv. FCC (engl. "*fully cellular containership*"). Brodovi se sastoje od ćelija za smještaj kontejnera u redove po cijeloj širini broda na koje se slažu kontejneri različite visine ovisno o kapacitetu broda. Prednost druge faze je u tome što su FCC brodovi pružali mogućnost smještanja kontejnera u prostor skladišta ispod palube. Kako bi se prostor broda maksimalno iskoristio iz nacрта su isključene dizalice iako su u slučajevima brodova koji putuju u luke čija infrastruktura ne pruža dizalice one ipak zadržane.

Ovu je fazu obilježila i promjena u brzini broda koji su tada postizali brzinu od 20 do 24 čvora. Izgradnja broda "Neptune Garnet" 1980. godine obilježila je novu generacije brodova. Ekonomska situacija početkom 1980-ih godina utjecala je na izgradnju većih brodova za prijevoz kontejnera. Zaključeno je kako veći broj kontejnera na jednom brodu rezultira nižom cijenom po TEU-u.

Izgradnjom „American New York“ nosivosti 4.500 TEU-u dosegnut je maksimum dimenzija broda koji može proći Panamski kanal te je cijela druga generacija kontejnerskih brodova dobila naziv "Panamax". Sve veće dimenzije kontejnerskih brodova i njihova nosivost nisu bile adekvatno regulirane propisima stoga je početkom 1990-ih došlo do nekoliko pomorskih nezgoda. Jedna od poznatijih nezgoda dogodila se 1992. godine u Sjedinjenim Američkim Državama (New Jersey) kada je brodu "Santa Clara I" ispao dvadeset i jedan kontejner, a čemu je razlog bilo loše vrijeme. Nakon provedene istrage od strane Obalne straže SAD-a ustanovljeno je da teret nije bio adekvatno osiguran, a čemu su ljudske pogreške i loši vremenski uvjeti značajno doprinijeli.

Predloženo je IMO-u da se donesu nove smjernice koje će utjecati na veću sigurnost tereta uvrste u SOLAS. Smjernice su prihvaćene 1994. godine i nalaze se u poglavlju "VI/5.6" i "VII/6.6". Smjernicama je određeno da brodovi moraju imati Priručnik za osiguranje i učvršćivanje tereta (engl. "*Cargo Securing Manual*") odobren od strane države čiju zastavu brod vije. Kompanija APL osmislila je novu prijevozničku mrežu koja je isključila Panamski

kanal, a njihov brod "APL President Truman" nosivosti 4.500 TEU-a ušao je u upotrebu 1988. godine kao prvi brod koji je širinom prešao ograničenja Panamskog kanala. Navedeni brod smatra se utemeljiteljem "Post-Panamax" generacija [4].



**Slika 2.:** M/b „APL President Truman“

Izvor: [https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/president\\_truman.htm?utm\\_content=cmp-true](https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/president_truman.htm?utm_content=cmp-true)

Nova generacija u izgradnji kontejnerskih brodova obilježila je drugu polovicu 1990-ih godina. Brodom "Regina Maersk" kapaciteta 6.400 TEU-a 1996. godine obilježio je novu generaciju. Kapacitet brodova se povećava, 1997. 6600 TEU, 1998. 7200 TEU te 1999. 8700 TEU, a širina ovih brodova prelazila je i 10 metara od maksimalno dozvoljene širine u Panamskom kanalu. Ova generacija brodova naziva se "Post Panamax Plus". Specifično za "Post Panamax Plus" generaciju su dvije vrste osiguravanja kontejnera na palubi. Novi sistem je zamijenio poklopac skladišta taj se je sistem sastojao od čeličnih vodilica koje su se protezale od dna skladišta do nekoliko nivoa iznad glave palube. Samim time su poluge za vezivanje postale beskorisne. Time je vrijeme potrebno za ukrcaja/iskrcaja kontejnera znatno skraćeno. Ta vrsta brodova je prihvaćena samo od strane pojedinih brodara. Drugi oblici osiguravanja su brodovi s konstrukcijom "*lashing bridgea*" koji omogućuje slaganje više redova kontejnera na palubi broda. Iako je ova konstrukcija našla široku primjenu ima nedostatak vezan uz 20-stopne kontejnere koji mogu biti vezani za glavnu palubu samo s jedne strane. Nova generacija kontejnerskih brodova uzrokovana je proširenjem Panamskog kanala. Riječ je o brodovima čija je izgradnja započela 2014. godine. Maksimalne dimenzije brodova su: d: 366 metara, š: 49 metara te gaz: 15,2 metara. Ova se generacija naziva "New Panamax".



Predstavljanjem broda "Maersk Tripple E" 2013. godine kapaciteta 18.000 TEU-a pojavila se nova ULCV ("*Ultra Large Container Vessel*") generacija kontejnerskih brodova ili "Post New Panamax". Sedma generacije bilježi značajnije promjene s obzirom da je brod konstruiran s dva nadgrađa. Ovu generaciju obilježava i činjenica da osim što su najveći kontejnerski brodovi do tada oni su i ekonomski učinkoviti. Trenutno vodeće mjesto najvećeg kontejnerskog broda zauzima brod "TEU Ever Ace" kompanije Evergreen Marine nosivosti 23 992 TEU-a. Iako brodovi osme generacije daju broje benefite poput manjeg troška nedostatak je potreba za infrastrukturom i tehnologijom na kontejnerskim terminalima [4].

#### **4.2. KLASIFIKACIJA KONTEJNERSKIH BRODOVA**

Dvije su kategorije koje kontejnerski brod definiraju: konstrukcijsko - tehničke i tehnološko - eksploatacijski. Konstrukcijsko- tehničke karakteristike odnose se na: strukturu cijelog broda, oblik trupa broda, izvedbu krme, pramčane statve, ljuljne kobilice, oblik pramčanog bulba, cijelo nadgrađe, valobran, ćelije u teretnim prostorima broda, vodilice u ćelijama, poprečni i uzdužni raspored sekcija za slaganje kontejnera, izvedbu poklopca skladišta. Uz navedeno u konstrukcijsko- tehničke karakteristike ulazi i: bruto- registarska tonaža, nosivost, kapacitet balastnih tankova, dužina broda preko svega, maksimalna širina i dr.

Tehnološko-eksploatacijski parametri definiraju manevarska svojstva broda i prijevozni kapacitet broda. Kapacitet broda izražava se u dva oblika: težinska nosivost broda (engl. "*deadweight capacity*") te zapreminski kapacitet broda (engl. "*cubic capacity*"). Osnovnu tehničko- eksploatacijsku karakteristiku potpuno kontejnerskog broda čini tzv. kontejnerski kapacitet broda koja se izražava u TEU jedinicama. Druga karakteristika je težinska nosivost broda. Pri krcanju i slaganju kontejnera treba voditi računa o maksimalno dopuštenom površinskom opterećenju ( $\text{kN}/\text{m}^2$  ili  $\text{kN}/20'$ ,  $\text{kN}/40'$ ). Bitan podatak koji je nužno poznavati je i broj priključaka na palubi za frigo- kontejnere te njihova točna pozicija [1].

Brodovi za prijevoz kontejnera uvjetno se mogu podijeliti u tri glavne kategorije:

1. tipično kontejnerski brodovi koji obavljaju operacije ukrcaja/iskrcaja tzv. LO-LO sustavu (engl. "*lift on - lift off*", podigni - spusti)

2. brodovi koji vrše operaciju ukrcaja/iskrcaja prema tzv. RO-RO sustavu (engl. "*roll on - roll off*", dokotrljaj- otkotrljaj)
3. brodovi koji operaciju ukrcaja/iskrcaja obavljaju tzv. FO-FO sustavu (engl. "*float on - float off*", doplutaj- otplutaj) [1].

#### **4.2.1. LO-LO brodovi**

LO-LO brodovi dijele se u podskupine:

1. brodovi koji imaju tri palube i na njima tračnice nazivaju se SEA-TRAIN brodovi. Teret se kroz otvor na sredini broda ukrcava, a pomoću tračnica se pomiče na određeni kraj broda,
2. potpuno kontejnerski brodovi (engl. "*full container ships*") pokazali su se kao najekonomičniji, a ova vrsta brodova ima ćelije u koje smješta kontejnere,
3. vrsta brodova koja je dijelom namijenjena za prijevoz kontejnera, a dijelom za generalni teret nosi naziv djelomično kontejnerski brodovi (engl. "*partial container ships*"),
4. brodovi koji imaju mogućnost preuređenja te su opremljeni ćelijama nazivaju se preuredivi kontejnerski brodovi (engl. "*Convertible container ships*"),
5. brodovi koji nemaju uređaje za smještaj, vezivanje i manipulaciju kontejnera već se kontejneri prevoze kao običan teret nazivaju se klasični trgovački brodovi,
6. "*Feeder ships*" ili obalni razvozni kontejnerski brodovi imaju ravnu palubu te dovoze kontejnere iz manjih luka u glavnu kontejnersku luku [1].

#### **4.2.2. RO-RO brodovi**

Horizontalna tehnologija prekrcaja odnosno operacija ukrcaj/ iskrcaj kontejnera obavlja se RO-RO sustavom pa se u praksi ta vrsta brodova naziva RO-RO brodovima. Kontejneri se na RO-RO brodove ukrcavaju s prikolicom na vozne palube. Brodove ove vrste možemo uvjetno podijeliti u četiri podgrupe: obalne, oceanske, putničko/ teretne i RO-RO brodove za prijevoz automobila (engl. "*car carrier*"). Glavni nedostatak ovih brodova je slaba iskorištenost broskog prostora, no poboljšanje u iskorištavanju prostora kod tih brodova pruža LUF sustav [1].

### 4.2.3. FO-FO brodovi

Treća opcija ukrcajno/ iskrcajnih operacija je FO-FO sustav, točnije horizontalna tehnologija prekrcaja prema načelu dopluta - otpluta. Prvo se na barže ukrcavaju kontejneri a potom na brod. Ove se brodove naziva 'LASH- (engl. "Lighter Aboard Ship") brodovi. Uvjetno se dijele na: brodove kapaciteta od 77 teglenica (od po 375 t), SEA- BEE brodove koji su jedni od najvećih trgovačkih brodova na svijetu te teglenice prihvaćaju na tri palube za prihvat, BACAT brodove (engl. "Barges aboard Catamaran") imaju do 2700 tona nosivosti te se razvrstavaju na jednu palubu te "CAPRICORN brodovi" namijenjeni za transport Indijskim oceanom i Srednjem istoku [1].



**Slika 3.:** LASH- brod

Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lighter\\_boardship](https://en.wikipedia.org/wiki/Lighter_boardship)

## 5. TERET KOJI SE PREVOZI KONTEJNERIMA

Tereti koji se prevoze različiti su, a klasificiraju se prema nekoliko kriterija. Dvije osnovne skupine u koje se tereti dijele su: klasični i specijalni tereti [1].

## 5.1. KLASIČNI TERETI

Generalni tereti su klasični tereti te su to tereti koji su u vrećama, balama, bačvama, sanducima, kutijama, krletkama, svežnjevima, automobili, alati, strojevi, cijevi, daske, grede, kamen, mramor, gume, i dr. Klasični tereti se dalje razvrstavaju prema ambalaži i načinu pakiranja. Generalni teret se može prevoziti u jutenim, papirnatim ili plastičnim vrećama koje se potom slažu u kontejnere. Bitno je da teret u vreći tijekom transporta sadržava što manje vlage. Ukoliko vreće nisu pravilno složene moguće su deformacije stijenke kontejnera. U balama se prevozi tekstil, koža, vuna, papir, juta, pamuk i sl. Bala se prevozi bez zaštitnog omotača ili sa njime (od papira, grubog platna, plastike i sl.). Tijekom prijevoza bala kože potrebno je voditi računa o pojavi crva, kukaca i zaraznih bolesti. Potrebno je voditi računa o izbjegavanju kondenzacije jer u takvim uvjetima bale povećavaju volumen i dovode do deformacije stijenke kontejnera. U kartonskim kutijama uglavnom se prevoze tzv. laki tereti, konzerve, boce, lomljivi tereti. Zbog karakteristike da kartonske kutije u viskom stupnju upijaju vlagu iz zraka više se koriste plastične kutije [1].



**Slika 4.:** Tereti u kartonskim kutijama u kontejneru

Izvor: <https://octi.ca/storage-containers-vs-storage-trailers-which-is-better/>

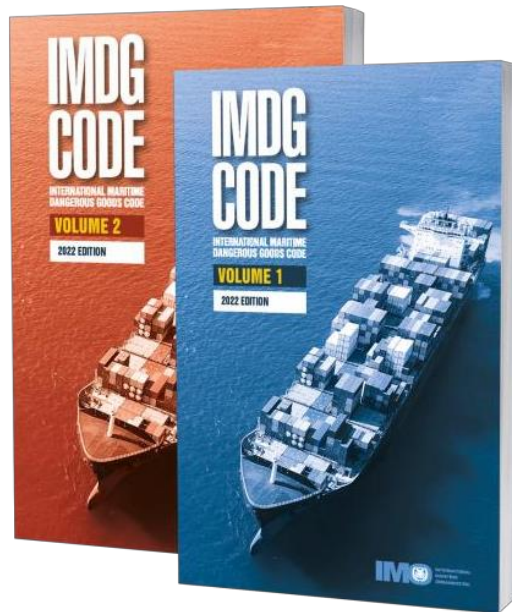
U košare i sanduke smještaju se laki i teški tereti, krhki i lomljivi tereti. Sanduci su uglavnom izrađeni od drveta. U bačvama se prevoze tekućine i zrnati i prašinski tereti. Bačve su drvene

ili limene, drvene bačve okovane su čeličnim obručima dok limene mogu, ali ne moraju biti. Teški tereti slažu se u kontejnere s niskim stranicama, sklopive kontejnere, kontejnere-platforme i kontejnere s otvorenim krovom i stranicama [1].

## 5.2. SPECIJALNI TERETI

Rasuti tereti, tekućine, stlačeni plinovi, izvangabaritni tereti, žive životinje i lako pokvarljiva roba spadaju u specijalne terete. Rasuti teret prevozi se u tzv. "*open top container*" ili "*bulk container*". Tako se prevoze sitnozrnati i krupnozrnati tereti poput žitarica, klice, brašno, rudača, boksit i dr. U slučaju kontejnera s otvorenim krovom lako se provodi trimovanje. Za prijevoz tekućih tereta koriste se isključivo tank- kontejneri ili kontejneri- cisterne. Tank-kontejner je tank pod tlakom ugrađen na čelični okvir te je opremljen utovarnim i istovarnim vratnicama i napravama za oslobađanje tlaka. U uporabi su dva osnovna oblika čeličnih okvira: "*BOX type*" (tip zatvorene kutije) s punim bočnim stijenkama te "*BEAM type*" (tip rešetke) samo s nosećim okvirima [1].

Tank i oprema izrađeni su od visokokvalitetnog nehrđajućeg čelika. Kapacitet tanka je od 17500 do 29000 litara. Razlikuju se tankovi s automatskom regulacijom temperature i rashladni tankovi (tzv. frigo) za prijevoz lako pokvarljive robe (npr. mliječni proizvodi i sl.). Sastavni dijelovi tank- kontejnera su: prednja strana tank- kontejnera, priključak za zrak, ventili za odušak, provlaka, odušnik na vrhu tank- kontejnera, nogostup, ljestve, stražnja strana tank- kontejnera, pločica s podacima, kontrolna kutija, priključak za električno grijanje, donji odušnik, priključak za parno grijanje, termometar. Tankovi IMO 0 izrađeni su za prijevoz tekućih tereta koji imaju plamište na temperaturi iznad 61°C, za koje ne postoji rizik od korozije ili toksičnosti, koji nisu na listi međunarodne organizacije za prijevoz opasnih tvari. Rabe se uglavnom za prijevoz jestivih biljnih i mineralnih ulja, masti, smola, mlijeka i dr. Poliuretanska ili polistirenska izolacija omogućavaju održavanje stalne temperature u tanku. Zbog neželjenih posljedica do kojih može doći tijekom prijevoza opasnih tereta upravo ova vrsta prijevoza smatra se najsloženijom. U glavi VII SOLAS-a obrađuje se problematika prijevoza opasnih tvari morem. Uz SOLAS Međunarodni pomorski kodeks za opasne tvari (engl. I.M.D.G. CODE- "*UN/International Maritime Dangerous Goods Code*") daje velika znanja u situacijama rukovanja opasnim teretom.



Slika 5.: IMDG CODE, IMO, izdanje 2023.

Izvor: <https://dgm.es/imdg-code-book-english>

Opasne tvari klasificirane su prema klasama u skladu s vrstom opasnosti koju iste mogu izazvati. Tako prvu klasu čine eksplozivi, odnosno tvari i predmeti koji mogu izazvati masovnu eksploziju. Popis klasa nalazi se u tablici 2.

Klasa	Naziv opasne tvari
Klasa I	Eksplozivi
Klasa II	plinovi koji su komprimirani 2.1. plinovi koji se mogu zapaliti 2.2. plinovi koji se ne mogu zapaliti 2.3. plinovi koji su otrovni
Klasa III	tekućine koje su zapaljive 3.1. grupa tekućina s vrlo niskim plamištem ispod 18° 3.2. grupa tekućina sa srednje niskim plamištem u rasponu od 18° do +23°C 3.3. grupa tekućina s visokim plamištem u rasponu od +23° do +61°C
Klasa IV	Zapaljiva kruta tijela 4.1. zapaljiva čvrsta tijela

	4.2. Čvrsta tijela i tvari sklone samozapaljenju 4.3. čvrsta tijela koja u dodiru s vodom ispuštaju zapaljive plinove
Klasa V	Tvari koje mogu oksidirati 5.1. tvari koje oksidiraju 5.2. organski peroksidi
Klasa VI	Otrovi (toksične tvari) 6.1. tvari koje su otrovne 6.2. zarazne (infektivne) tvari
Klasa VII	Radioaktivne tvari
Klasa VIII	Korodirajuće tvari
Klasa IX	Ostale opasne tvari

**Tablica 2.** Klase opasnih tereta

Kontejner- tank za prijevoz tekućih ili prašiniastih tvari koje su opasne dijeli se u četiri skupine:

Tip "IMO 1" koji se koriste u prijevozu: tekućina s točkom plamišta ispod 0°C, visokotoksične i korodirajuće tvari, samozapaljive tekućine, tvari koje postaju opasne kada se izlože vlaženju te oksidirajuće tvari.

Tip "IMO 2" koji je konstruiran za prijevoz: tekućina čija je točka zapaljenja u intervalu od 0° do +61°C, srednje i niskotoksičnih korodirajućih tvari, tekućina čiji je maksimalni unutarnji tlak manji od  $1,75 \cdot 10^5$  Pa (25 psi).

Tipovi "IMO 5" i "IMO 7" koji su konstruirani i namijenjeni isključivo za prijevoz stlačenih plinova. U tank-kontejneru tip "IMO 5" transportiraju se uglavnom teški plinovi R12 i ostali rashladni plinovi, etilen oksid, klor, laki plinovi propan, butan, amonijak itd. U tank- kontejneru tip "IMO 7" transportiraju se uglavnom dušik, kisik te inertni ili plemeniti plinovi helij, neon, argon, kripton, ksenon i radon [1].

Izvangabaritni tereti u morskome kontejnerskom transportu podrazumijeva terete čije dimenzije prekoračuju dimenzije te maksimalnu nosivost ISO standardnih kontejnera. Moguće ih je podijeliti u četiri kategorije:

1. "*overlength cargo*", tereti kod kojih je dužina veća od 20' ili 40' kontejnera,
2. "*overhigh cargo*", tereti kojima je ukupna visina veća od standardnog ISO kontejnera,

3. "*overwidth cargo*", teret čija je ukupna širina veća od širine standardnog ISO kontejnera,

4. "*overweight cargo*", teret čija je ukupna težina veća od maksimalne dopuštene težine (>30 tona) [1].

Specijalno konstruirani kontejneri, klasični kontejneri koji su djelomično preuređeni te klasični kontejneri koji su privremeno preuređeni upotrebljavaju se kod prijevoza živih životinja [1].



## 6. BRODARSKE KOMPANIJE I KONTEJNERSKE LUKE

Za 2023. godinu prema TEU vodeća kontejnerska kompanija u svijetu je MSC koji je prvi nakon 25 godina prekinuo tradiciju da se na prvom mjestu nalazi Maersk Line. MSC je osnovan 1970. godine u Švicarskoj. U floti MSC broji preko 645 brodova te ostvaruje kapacitet od 4287473 TEU-a. Danaski Maersk Shipping Line bio je na prvom mjestu 25 godina u kontinuitetu do 2023. Sada se nalazi na drugom mjestu, a flota broji preko 738 brodova te ostvaruje kapacitet od 4275542 TEU-a. Maersk veliki fokus stavlja na uvođenju novih tehnologija i ekološkog načina poslovanja. Protekle godine francuski CMA- CGM smjestio se na četvrto mjesto, a 2023. povisio se na ljestvici i postao treća kompanija u svijetu. CMA- CGM trenutno ima flotu s više od 568 brodova s postignutim kapacitetom od 3198217 TEU-a.



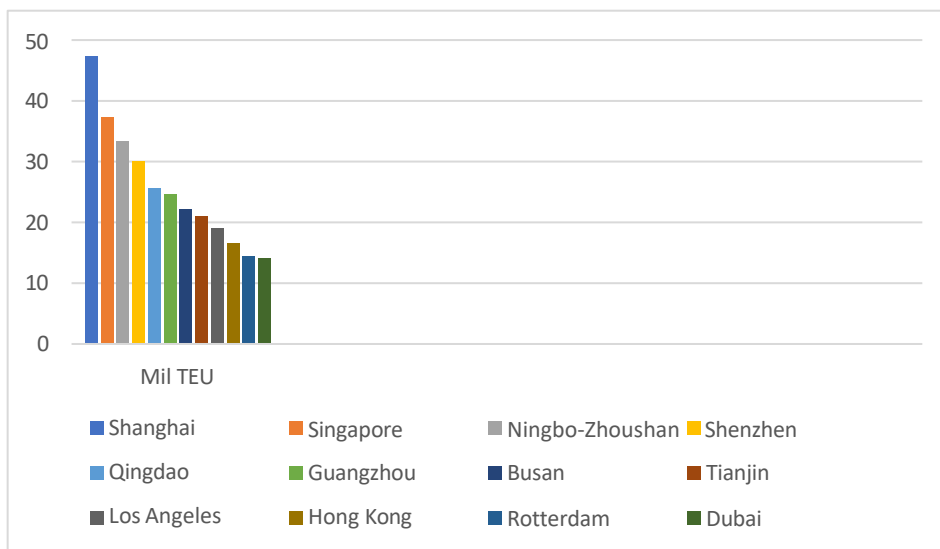
**Slika 6.:** Kontejnerski brod CMA- CGM

Izvor: <https://www.marineinsight.com/know-more/10-largest-container-shipping-companies-in-the-world/>

"China Ocean Shipping Company" ili COSCO s preko 480 brodova u floti djeluje u 40 zemalja svijeta nalazi se na četvrtom mjestu deset najvećih kontejnerskih kompanija. Kompanija Hapag-Lloyd sa sjedištem u Njemačkoj nastao je 1970. sjedinjenjem dviju tvrtki. Danas broje više od 250 brodova i ostvaruju kapacitet od oko 1743983 TEU-a. Ocean Network Express (ONE) japanska je kompanija koja obuhvaća tri brodarske tvrtke sa sjedištem u Singapuru, a zajedničku flotu čini 209 brodova s kapacitetom od 1.531.530 TEU. Na sedmom mjestu prema podacima smjestila se Evergreen Line sa sjedištem na Tajvanu sa kapacitetom od 1.477.644

TEU. Hyundai Merchant Marine sa sjedištem u Južnoj Koreji ostvaruje kapacitet preko 819.790 TEU. Jedna od najstarijih kompanija Yang Ming sa sjedištem na Tajvanu ima kapacitet od oko 6.62.047 TEU. Izraelska kompanija ZI, osnovana 1945. godine, ima flotu od 111 brodova te ostvaruje kapacitet od 4.19.064 TEU[5].

Za 2022. najveće kontejnerske luke u svijetu (mil. TEU) su: Shanghai, Singapore, Ningbo-Zhoushan, Shenzhen, Qingdao, Guangzhou, Busan, Tianjin, Los Angeles, Hong Kong, Rotterdam, Dubai. Graf 1 prikazuje dvanaest svjetskih luka od kojih je većina u Kini te ostvaren kapacitet izražen u TEU [6]. Dio lučkog sustava su kontejnerski terminali, odnosno riječ je o posebno izgrađenom i opremljenom objektu namijenjenom za prekrcaj kontejnera [2].



**Graf 1.** Kontejnerske luke (mil. TEU)

Priredio student prema: URL: <https://www.statista.com/statistics/264171/turnover-volume-of-the-largest-container-ports-worldwide/>

## 7. POZICIONIRANJE, UKRCAJ, ISKRCAJ I SLAGANJE TERETA

Pojam slaganje kontejnera podrazumijeva određivanje mjesta na koje će se na brodu kontejner postaviti. U skladu s određenim kriterijima vrši se tzv. pozicioniranje kontejnera. Nakon što se izvrši pozicioniranje vrši se operacija krcanja, tj. ukrcaj, iskrcaj ili postavljanje kontejnera u skladu sa skupom pravila. Kontejneri se krcaju ovisno o tipu kontejnera. Univerzalni 40' zatvoreni kontejner krca se tako da su mu vrata uvijek okrenuta prema krmi broda, ukoliko je teretni prostor na krmi 40' kontejneri se krcaju tako da su vrata okrenuta prema krmi ili pramcu broda. 20' zatvoreni kontejneri krcaju se na dva načina: tzv. sustavom vrata na vrata ili tako da su im vrata okrenuta prema krmi broda. Frigo kontejneri se krcaju tako da su im kompresor i priključni kabel okrenuti prema krmi broda, a vrata prema pramcu. Kod kontejnera za prijevoz rasutih tereta potrebno je paziti da su otvori okrenuti prema krmi broda. Puni tank - kontejner potrebno je ukrcati ili iskrcati samo pomoću tzv. "top spreader-a" ili skinuti pomoću čelik čela. Uobičajeno je da se krcaju na način da su im ljestve i termometar okrenuti prema krmi. Kontejner – platformu, a koji ima vangabaritni teret krca se na najvišu točku palube. Prazne platforme međusobno se povezuju zakretnim zatvaračima u blokovima od 5-6 komada. Kontejneri sa sklopivim stranicama krcaju se tako da se strana kontejnera u kojem se nalazi teret većeg volumena okrene prema pramcu. Ukoliko su kontejneri ove vrste prazni stranice se sklapaju i u blokovima po 4 komada ukrcavaju. Puni i prazni zatvoreni kontejneri ukrcavaju se uvijek sa zatvorenim vratima. Ukrcavaju se longitudinalno u odnosu na uzdužnicu broda. Jedino na RO-RO brodovima kontejneri se mogu krcati i transverzalno [7].

Rotacija putovanja podrazumijeva točno definiran redoslijed luka u kojima će se vršiti operacije ukrcaja i/ili iskrcaja. Kontejneri koji se prvi iskrcajavaju ne smiju biti prekriveni kontejnerima koji će se iskrcati u kasnijim lukama iskrcaja. Također važno je da se kontejneri različitih odredišnih luka ne miješaju. Za razliku od drugih vrsta brodova na kontejnerskom brodu ne postoji tzv. "Cargo plan" već se upotrebljava dokument plana smještaja kontejnera ili tzv. "container stowage plan". Riječ je o grafičkom prikazu svih pozicija na kojima su ukrcani kontejneri te za koju se luku određeni kontejner prevozi. Uz ovaj dokument postoji i "Bay list". Bay je prostor u koji se uzdužno može smjestiti jedan 40' kontejner ili dva 20' kontejnera. Na svakom kontejnerskom brodu prostor za smještaj kontejnera podijeljen je u "bay-eve" koji se broje od pramaca prema krmi. "Bay lista" izrađuje se za svaki bay posebno. Na listi se nalaze svi ukrcani kontejneri jednog bay-a te sadrži za svaku označenu poziciju podatke o luci ukrcaja

ili iskrcaja, identifikacijski broj i oznaku, brutotonažu, veličinu i tip, oznaku pošiljke te ukoliko postoje oštećenja.

Budući da se cca 40% kontejnera prevozi na otvorenoj palubi od izuzetnog je značaja neprekidna kontrola stabiliteta broda. Niže slijede svi bitni parametri koje treba uzeti u obzir kod prijevoza kontejnera morem [7].

## 7.1. KUT NAPLAVLJIVANJA BRODA

Kut naplavljanja je kut koji pokazuje koliko se stupnjeva brod može nagnuti u lijevo ili desno kod kojeg će najniži otvor na brodu biti u razini mora. Kut je direktno ovisan o srednjem gazu broda. Kut se može odrediti ili iz plana rebara broda ili prema jednadžbi:

$$\operatorname{tg} \theta_n = 2 \cdot \left( \frac{H-T}{B} \right)$$

Gdje je:

$\theta_n$ - kut naplavljanja broda (°)

H- visina od osnovice do najniže točke na brodu koja nije vodonepropusna (m)

T- srednji gaz broda (m)

B- najveća širina broda (m) [7].

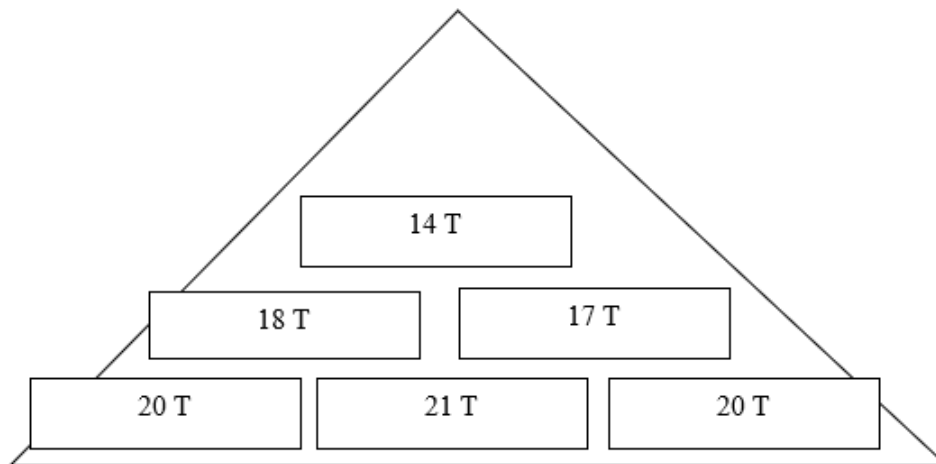
## 7.2. RASPORED POSREDNE NOSIVOSTI I ODGOVARAJUĆI MOMENTI

Kako bi se uočio utjecaj tzv. posredne nosivosti na stabilitet broda potrebno je znati njihov smještaj na brodu, vertikalne i horizontalne momente, momente inercije, te momente slobodnih površina. U osnovne posredne nosivosti spada: opskrba, posada, zalihe broda, slatka voda, napojna voda za kotlove, teško gorivo, tj. sve što omogućuje normalno funkcioniranje brodskog pogonskog kompleksa, a smanjuje korisnu nosivost broda [7].

Osnovne posredne mase u 100% iznosu čine svega 10% ukupne nosivosti broda. Ukupni vertikalni moment koji one proizvode iznosi  $1/63$  maksimalno dozvoljenog vertikalnog momenta za brod s punim opterećenjem. Kod osnovnih posrednih masa sistem slaganja kontejnera nema nikakav utjecaj.

U dodatne posredne mase spada balast koji također smanjuje korisnu nosivost broda, ali omogućuje njegovo održavanje u uspravnom položaju, dovođenje broda na odgovarajući gaz, te uravnoteženje poprečnih sila i momenata savijanja. Tijekom eksploatacije vrijedi pravilo da tankovi dvodna za balast zbog velikog efekta slobodnih površina budu ili 100% puni ili potpuno prazni. Pri stručnom slaganju kontejnera zahtjeva se da se upotrijebi što manje balasta.

Na kontejnerskim brodovima potrebno je koristiti tzv. piramidalni sistem opterećenja. Riječ je o sistemu slaganju kontejnera koji podrazumijeva slaganje kontejnera po bruto masi gdje najteži kontejneri idu na dno, a lakši linearno prema višim pozicijama. Na shemi 1 dan je primjer jednog piramidalnog sistema opterećenja [7].



**Shema 1.** Piramidalni sistem slaganja kontejnera prema težinama

Izvor: S. Kos i D. Vranić, *Prijevoz kontejnera brodom II: Stabilitet, krcanje i slaganje kontejnera na brod s proračunima*, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 1993. [7]

### 7.3. STATIČKI STABILITET BRODA

Kontejnerski brod u eksploataciji u svim stanjima ima odgovarajući stabilitet. Ako nema stabilitet može se prevrnuti pod utjecajem vanjskih sila (vjetar, valovi i sl.) ili se može toliko nagnuti da voda prodre kroz otvore u unutrašnjost broda.

Stabilitet broda ovisi o dva faktora: formi podvodnog dijela trupa i razmještanju težina. Momenti djelovanja na brod mogu biti statički ili dinamički. Prema navedenom razlikuju se dva osnovna tipa stabilnosta: statički i dinamički. Kod statičkog stabilnosta na brod sile djeluju statički, tj. ne mijenjaju se ovisno o vremenu. Osnovni parametri statičkog stabilnosta broda su: početna metacentarska visina, poluga statičke stabilnosti te moment statičke stabilnosti kojim se brod odupire prevrtanju [7].

### 7.3.1. Metacentralna visina nekorrigirana za utjecaj slobodnih površina

Metacentralna visina nekorrigirana za utjecaj slobodnih površina izračunava se na sljedeći način:

$$\begin{aligned} \overline{M} &= \overline{KM} - \overline{K} \dots\dots\dots 1 \\ \overline{K} &= \frac{\sum M_V}{D} \dots\dots\dots 2 \end{aligned}$$

Gdje su:

$\overline{KM}$ - visina poprečnog metacentra iznad osnovice broda (m). Dobije se iz dijagramnog lista za izračunati deplasman broda.

$\overline{K}$  – aplikata sistemnog težišta ili sistemno težište po visini opterećenog kontejnerskog broda od osnovice (m).

Zbroj svih težina na brodu po grupama i teretima prostora daje ukupnu nosivost broda. Kada se njoj pribroji težina praznog broda dobije se istisnina ili deplasman broda. Ako se podijeli ukupni horizontalni moment s istisninom dobije se apscisa sistemnog težišta [7].

$$\text{L.C.G.} = \frac{\sum M_H}{D} \dots\dots\dots 3$$

### 7.3.2. Metacentarska visina korigirana za utjecaj slobodnih površina

Momenti slobodnih površina svih tankova na brodu koji sadrže tekućine daju se u tabeli „specifikacija težina“.

$$\Delta \overline{M} = \overline{G} = \frac{\sum m_{sp}}{D} = \frac{\sum i \cdot \gamma_t}{D} \dots\dots\dots 4$$

Korigirana metacentarska visina iznosi:  $\overline{M} = \overline{M} - \overline{G} \dots\dots\dots 5$

i- moment tromosti slobodne površine u tanku s obzirom na uzdužnu os kroz vlastito težište

$\gamma_t$ - specifična težina tekućine

D- deplasman broda

Ovako određena metacentarska visina mora biti veća ili jednaka minimalno dozvoljenoj visini navedenoj u tablici „dozvoljeni vertikalni momenti“.

### 7.3.4. Pokus nagiba

Početna metacentarska visina na kontejnerskom brodu u određenom trenutku u toku ukrcanja kontejnera na brod ili po završetku trgovačkih operacija može se odrediti tzv. „pokusom nagiba“.

$$\overline{GG} \varphi = p : D \dots\dots\dots 6$$

$$\overline{GG}_1 = \frac{p \cdot d}{D} \dots\dots\dots 7$$

$$tg \varphi = \frac{\overline{GG}}{\overline{M_o G'}} \dots\dots\dots 8$$

$$\overline{M}_o = \frac{\overline{G} \overline{G}_1}{tg \varphi} = \frac{p \cdot d}{tg \varphi} \dots\dots\dots 9$$

$$\overline{M}_o G' = \frac{p \cdot d}{D \cdot tg \varphi} \dots\dots\dots 10$$

Kut nagiba broda mora biti maksimalno do 3°. Za male nagibe (do 3°) može se pretpostaviti da će se metacentar pomaknuti po simetrali broda za veličinu

$$\overline{M}_o = 1/2 \cdot \overline{M}_o \cdot tg^2 \varphi \dots\dots\dots 11$$

### 7.3.5. Vertikalni moment broda

Za određeni slučaj krcanja kontejnerskog broda izračunava se stvarni položaj sistemskog težišta po visini opterećenog broda od osnovice do osnovice, tj.

$$\bar{KG} = \sum Mv / D \dots\dots\dots 12$$

Dobivenoj vrijednosti pribrojava se „učinak slobodnih površina“ za taj slučaj nakreanosti broda:

$$\bar{KG} = \bar{KG} + \bar{CG} \dots\dots\dots 13$$

S dobivenom vrijednošću množi se deplasman broda i dobije se stvarni vertikalni moment broda, tj.

$$\bar{M} = D \cdot \bar{KG} \dots\dots\dots 14$$

Da bi se zadovoljila statistička stabilnost broda umnožak ( $D \cdot \bar{KG}$ ) mora biti manji ili jednak maksimalno dozvoljenom vertikalnom momentu za izračunati deplasman broda [7].

### 7.3.6. Proračun ukupnog trima broda

Trim i gazove broda dobiju se na osnovu sljedećih podataka. Za stvarno izračunatu istisninu iz dijagramnog lista ili iz skale nosivosti, iz tabelarnog dijagramnog lista ili iz tablice hidrostatskih svojstava broda odrediti sljedeće parametre:

- Srednji gaz (ds) u metrima
- Jedinični moment trima (Mj) u mT/m
- Udaljenost težišta istisnine broda od sredine broda ( $L/2$ ) = (L.C.W.L.) u metrima i veća od nule ako je usmjerena prema pramcu, a negativna ako je prema krmi
- Udaljenost težišta vodne linije, od sredine broda ( $L/2$ ) = (L.C.W.L.) u metrima, veća od nule ako je usmjerena prema pramcu, a negativna ako je usmjerena prema krmi broda
- Udaljenost poprečnog metacentra od kobilice broda ( $\bar{KM}$ ) u metrima.

Proračun trima i gaza na pramcu i krmi:

$$t = \frac{(L.C.G. - L.C.B.) \cdot D}{Mj} \dots\dots\dots 15$$

$$L.C.G. = \frac{\sum Mh}{D} \dots\dots\dots 16$$

t- ukupan trim broda, predznak (+) ako je brod pretežan, a predznak (-) ako je brod zatežan.



Pramčani trim određuje se prema sljedećoj formuli:

$$t_p = \frac{(L_{pp}/2 - L.C.W.L.)}{L_{pp}} \cdot t \dots\dots\dots 17$$

Krmeni trim određuje se prema sljedećoj formuli:

$$t_k = t_p - t \dots\dots\dots 18$$

Formula za određivanje gaza na krmi

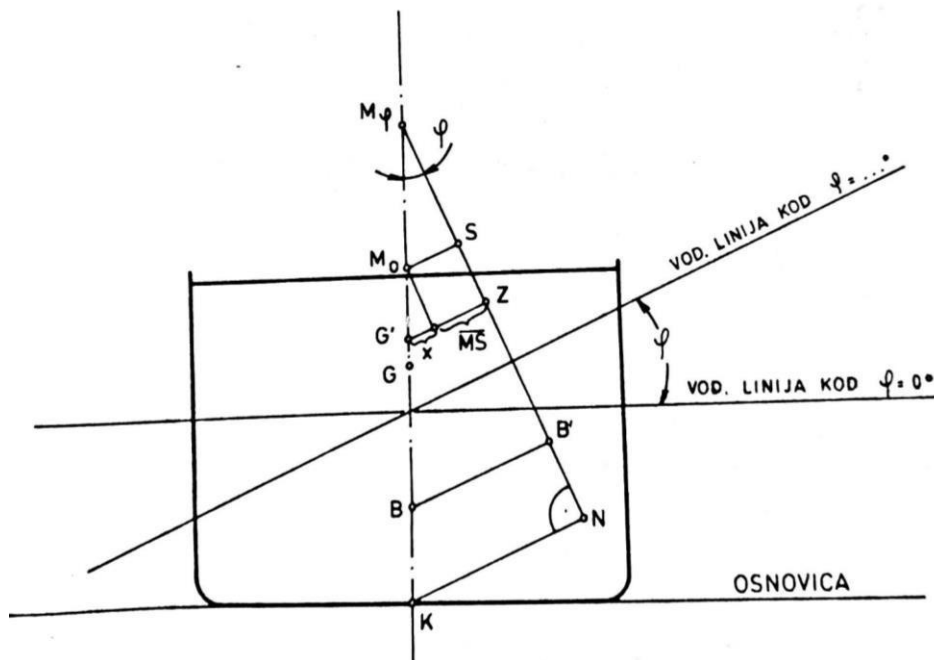
$$d_k = d_s + t_k \dots\dots\dots 19$$

Formula za određivanje gaza na pramcu

$$d_p = d_s + t_p \dots\dots\dots 20$$

### 7.3.7. Određivanje krivulje poluga statičkog stabiliteta kontejnerskog broda

Krajnji cilj proračuna statičkog stabiliteta broda je određivanje krivulje poluge te se to može izvršiti na sljedeći način:



**Slika 7.:** Statički stabilitet kontejnerskog broda

Izvor: S. Kos i D. Vranić, Prijevoz kontejnera brodom II: Stabilitet, krcanje i slaganje kontejnera na brod s proračunima, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 1993. [7]

Gdje je:

$M_0$ - položaj poprečnog metacentra za  $\varphi = 0^\circ$

$M_\varphi$ - položaj poprečnog metacentra kod kuta nagiba  $\varphi$

G- sistemno težište broda nekorrigirano za utjecaj slobodnih površina

G'- sistemno težište broda korigirano za utjecaj slobodnih površina

B- položaj težišta uzgona

K- točka u simetrali broda na osnovici

$\overline{M}$  nekorrigirana metacentarska visina broda

$\overline{M}_\varphi$  metacentarska visina korigirana za utjecaj slobodnih površina

$\overline{G}$  korekcija za efekt slobodnih površina

$\overline{K}$  nekorrigirana aplikata sistemnog težišta broda

$\overline{K}_\varphi$  aplikata sistemnog težišta broda korigirana za utjecaj slobodnih površina

$\overline{M}$  popravak poprečnog metacentra po aplikati zbog nagiba broda za kut  $\varphi$

$\varphi$ - kut nagiba broda

$\overline{GZ}$  poluga statičkog stabiliteta

Osnovna svrha poluge stabiliteta forme je da se omogući crtanje krivulje poluge, statičkog stabiliteta za bilo koji slučaj. Kod velikih kutova nagiba  $>7^\circ$  mjerilo stabiliteta više nije metacentarska visina nego poluga stabiliteta.

$$\overline{GZ} = \overline{M} + \overline{M}_\varphi \sin \varphi$$

Potrebno je obratiti pažnju na predznak poluge stabiliteta koji može biti (+) ili (-) [7].

#### 7.4. DINAMIČKI STABILITET KONTEJNERSKOG BRODA

Tijekom naglog mijenjanja veličine sila koje djeluju na brod dolazi do ubrzanja masa i tada je za stabilnost broda mjerodavan tzv. dinamički stabilitet. Za svladavanje kinetičke energije broda mjerodavna je površina ispod krivulje momenta statičkog stabiliteta. Krivulja dinamičkog stabiliteta broda je prvi integral krivulje momenta statičkog stabiliteta:

$$Std = \int_0^\varphi Mst \cdot d\varphi \dots\dots\dots 21$$

Proračun momenta vjetra računa se pomoću navedene formule:

$$Mv = 0,001 \cdot pv \cdot Av \cdot hv \dots\dots\dots 22$$

Mv- moment vjetra

pv- specifični tlak vjetra (Pa)

Av- površina izložena vjetru ( $m^2$ )

hv- udaljenost

Vrijednost specifičnog tlaka vjetra uzima se prema tablici u ovisnosti o području plovidbe broda i udaljenosti težišta površine izložene vjetru [7].

#### 7.4.1. Amplituda ljuljanja

Amplituda ljuljanja broda koji ima ljuljnu kobilicu grednu kobilicu ili oboje izračunava se:

$$\theta_r = k \cdot Q_{1r} \dots\dots\dots 23$$

Gdje je:

$\theta_r$ - amplituda ljuljana broda s kobilicom u stupnjevima

k- koeficijent ovisno o omjeru

Ak- ukupna površina ljuljnih kobilica

$$\theta_{1r} = x_1 \cdot x_2 \cdot y \dots\dots\dots 24$$

Gdje je:

$\theta_{1r}$ - amplituda ljuljanja broda s oblim uzvojem koji nema ljuljne kobilice u stupnjevima

$x_1, x_2$ - bezdimenzionalni umnožitelj

y- umnožitelj u stupnjevima [7].

### 7.4.2. moment prevrtanja broda

Kod određivanja momenta prevrtanja mogu postojati dva slučaja odnosno slučaj u kojemu brod ima normalne dijagrame statičkog i dinamičkog stabiliteta te slučaj u kojem je dijagram prekida prekida se kod kuta naplavlivanja. Moment prevrtanja određuje se na dva načina: pomoću dijagrama dinamičkog stabiliteta i pomoću dijagrama statičkog stabiliteta [7].

### 7.4.3. Period valjanja broda

Period valjanja broda može se izračunati prema IMO rezoluciji A. 562 (14):

$$T = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{\overline{MG}}} \dots \dots \dots 25$$

$$C = 0,373 + 0,023 \left(\frac{B}{d}\right) - 0,043 \left(\frac{L}{100}\right) \dots \dots \dots 26$$

Gdje je:

T- period valjanja broda (sek)

L- duljina broda na odnosnoj vodenoj liniji (m)

B- širina broda na glavnom rebru (m)

d- srednji gaz broda na glavnom rebru (m)

$\overline{MG}$  metacentarska visina broda korigirana za utjecaj slobodnih površina [7].

## 7.5. KRITERIJ ZA MINIMALNI STABILITET KONTEJNERSKOG BRODA

Pri projektiranju za svaki se brod određuje minimum stabiliteta. Iako se dugo smatralo da je metacentarska visina najvažnija karakteristika koja je numerički definirala stabilitet velik broj nesreća koje su se dešavale zbog lošeg stabiliteta pokazale su da brodovi s velikom metacentarskom visinom ne moraju uvijek imati zadovoljavajući stabilitet. Prevelika metacentarska visina u slučaju kratkih perioda njihanja tijekom ljuljanja broda uvjetuje veliku akceleraciju koja može biti opasna. Može doći do pucanja čelik- čela i drugih sustava koji učvršćuju kontejnere na palubi. Krivulja poluga statičke stabilnosti mnogo je karakterističnija

veličina za stabilitet. Sve karakteristike stabiliteta dolaze do izražaja u krivulji poluga te je ona najmjerodavnije sredstvo za prosuđivanje stabiliteta [7].

## 8. OŠTEĆENJA KONTEJNERA

Nepravilno rukovanje kontejnerima, nepravilno pakiranje i slaganje robe, neprikladna mehanizacija pri ukrcaju/ iskrcaju kontejnera često ošteti kontejner. Oštećenja se mogu podijeliti na četiri stupnja:

### 1. oštećenja zbog kojih je nemoguć nastavak uporabe

U slučaju takvih oštećenja kontejner se odmah povlači iz prometa. Razlikuju se totalna, gruba oštećenja i djelomična oštećenja. Kod totalnih oštećenja kontejner je toliko oštećen da bi troškovi popravka premašili vrijednost novog kontejnera. Gruba su ona oštećenja kod kojih je kontejner oštećen toliko da troškovi popravka iznose 40-60% vrijednosti novog kontejnera. Kod djelomičnih oštećenja troškovi iznose 20-30% vrijednosti novog kontejnera.

### 2. kontejner je uz oštećenja za daljnju uporabu

Kontejner se u ovom slučaju ne povlači već se i dalje koristi, a u ovom se stupnju razlikuju tri tipa oštećenja. Prvi tip su ogrebotine te one ne utječu značajno na upotrebu kontejnera, ali mijenjaju njegov vanjski izgled. Udubljenja su lakša oštećenja koja ne smanjuju unutarnji korisni prostor kontejnera. Iskrivljenja su posljedica nepravilne manipulacije te ukoliko izbacuju kontejner iz centra on postaje neupotrebljiv.

### 3. oštećenja nastala vremenskim faktorom ili tzv. habanje

Kontejner ima svoj vijek trajanja te s vremenom dolazi do oštećenja nastalih habanjem. U normalnim uvjetima te uz redovito održavanje kontejner traje od 5 do 7 godina.

### 4. sva ostala oštećenja

Iako kontejner izgledom daje privid dobrog stanja ukoliko su u njemu prevožena štetna roba (kemikalije, otrovi, kiseline itd.) on više nije za upotrebu. Kontejner mogu degradirati i razni mirisi.

Kontejneri koji su u komercijalnoj upotrebi moraju zadovoljiti sljedeće:

- Standarde "*International Convention for Safe Containers*" (CSC)
- Nepropusnost svjetla i vode u zatvorenom stanju
- Standarde po ISO te ispunjavaju zahtjeve TIR-a te "*Customs Convention on Containers*" [1].

## 9. ZAKLJUČAK

Kako u radu i stoji brzi razvoj kontejnerizacije za sobom je povukao i brzi odgovor brodogradnje na tehnološke i konstrukcijske zahtjeve. Također značajno je naglasiti kako posada kontejnerskih brodova igra veliku ulogu u uspješnom odvijanju transporta što je posebno vidljivo u pitanju slaganja, pozicioniranja i bilo kojeg rukovanja kontejnerima. Posada je posebno obučena za sva pitanja koja se tiču kontejnera i nastoji isti dovesti do odredišta.

Prikazani izračuni pokazuju koliko je proces prijevoza kontejnera morem složen proces. U vrijeme kada se sve odvija vrlo brzo potrebno je da i roba putuje vrlo brzo od mjesta pošiljatelja ka mjestu primatelja bez obzira koja je udaljenost. Kontejnerski brodovi prevoze većinu potrepština suvremenog čovjeka te će se iz tog razloga pomorski transport koji je dio većeg transporta uvijek biti ključna karika. Iako se u novije doba dio, posebice skupocjene, robe prevezio zračnim transportom, brodski je najjeftiniji, a samim time i najisplativiji.

Ulaganja u lučku infrastrukturu automatski povezana je s onom cestovnom što dovodi do novih investicija i otvaranja novih radnih mjesta. Različiti stručni kadrovi pronaći će zaposlenje, a o vrhuncu kontejnerizacije moguće je govoriti tek u budućnosti.

## 10. LITERATURA

- [1] S. Kos i D. Vranić, Morska kontejnerska transportna tehnologija I., Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2008.
- [2] E. Gržin i B. Rudić, Razvoj kontejnerizacije u svijetu i analiza kontejnerskog prometa u luci Rijeka, Zbornik Veleučilišta u Rijeci, Vol. 8 (2020), No. 1, str. 427-442.
- [3] R. Ivče i D. Vranić, Tereti u pomorskom prometu, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2006.
- [4] R. Ivče, D. Mišković i M. Popović, Tehnološki razvoj kontejnerskog broda kroz povijest, NAŠE MORE : znanstveni časopis za more i pomorstvo, Vol. 63 No. 1, 2016. str. 9-15.
- [5] Largest Container Shipping Companies In The World In 2023, URL: <https://www.marineinsight.com/know-more/10-largest-container-shipping-companies-in-the-world/> (10.8.2023.)
- [6] The largest container ports worldwide in 2022, based on throughput, URL: <https://www.statista.com/statistics/264171/turnover-volume-of-the-largest-container-ports-worldwide/> (11.8.2023.)
- [7] S. Kos i D. Vranić, Prijevoz kontejnera brodom II: Stabilitet, krcanje i slaganje kontejnera na brod s proračunima, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 1993.

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Primjer označavanja kontejnera .....
- Slika 2. M/b „APL President Truman“ .....
- Slika 3. LASH- brod .....
- Slika 4. Tereti u kartonskim kutijama u kontejneru .....
- Slika 5. IMDG CODE, IMO, izdanje 2023. ....
- Slika 6. Kontejnerski brod CMA- CGM .....
- Slika 7. Statički stabilitet kontejnerskog broda .....

## POPIS KRATICA

Kratika	Značenje kratice
BACAT	<i>Barges aboard Catamaran</i>
CSC	<i>Convention for Safe Containers</i>

FCC	<i>Fully cellular containership</i>
FO-FO	<i>Float on - float off</i>
I.M.D.G. CODE	<i>International Maritime Dangerous Goods Code</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LASH	<i>Lighter Aboard Ship</i>
LO-LO	<i>Lift on - lift off</i>
RO-RO	<i>Roll on - roll off</i>
SOLAS	<i>International Convention for the Safety of Life at Sea</i>
TEU	<i>Twenty-foot equivalent unit</i>
ULCV	<i>Ultra Large Container Vessel</i>