

# Teretni sustavi na tankerima za prijevoz sirove nafte

---

Ivče, Josip

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:187:073521>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-16**



**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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**JOSIP IVČE**

**TERETNI SUSTAV NA TANKERIMA ZA PRIJEVOZ SIROVE  
NAFTE**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**TERETNI SUSTAV NA TANKERIMA ZA PRIJEVOZ SIROVE  
NAFTE**

**CARGO SYSTEM ON CRUDE OIL TANKER**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Tehnologija prijevoza tekućih tereta

Mentor: dr. sc. Igor Rudan

Student: Josip Ivče

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112083023

Rijeka, 2023.

Student: Josip Ivčec

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112083023

### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

\_ TERETNI SUSTAV NA TANKERIMA ZA PRIJEVOZ SIROVE NAFTE \_\_\_\_\_  
(naslov završnog rada)

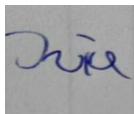
izradio/la samostalno pod mentorstvom \_\_\_\_\_ prof.dr.sc. Igor Rudan \_\_\_\_\_  
(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc Ime i Prezime)

te komentorstvom \_\_\_\_\_

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke \_\_\_\_\_  
(naziv tvrtke).

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la 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/la sam i povezo/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



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

Ime i prezime studenta/studentice

Student: Josip Ivče

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

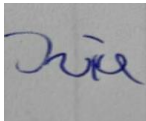
JMBAG: 0112083023

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 - autor



---

(potpis)

## SAŽETAK

Tankereri za prijevoz sirove nafte predstavljaju najveće brodove koji plovo svjetskim morima. Okosnicu ovog rada čini teretni sustavi na tankeru za prijevoz sirove nafte. U ovom radu dat je pregled vrsti tankera za prijevoz sirove nafte s obzirom na njihovu nosivost kao i konstrukciju.

Analizirano je stanje na tankerskom tržištu brodova i značaj tankera u globalnom prijevozu tereta morem. U radu su opisani sustavi za prekrcaj tereta (sustav cjevovoda, sustav ventila, te sustav pumi) čija obilježja utječu na sigurnost i učinkovitost tijekom ukrcaja i iskrcaja tereta. Razmatra se inertiranje šticećenih prostora kojim se procesom dobiva inertna atmosfera i na taj način onemogućava stvaranje eksplozivne atmosfere. U radu su analizirana onečišćenja uljem s brodova za prijevoz sirove nafte. Isto tako je naglašeno kako posada broda mora imati određena znanja i vještine za djelovanje u slučaju onečišćenja uljem.

**Ključne riječi:** tanker za prijevoz sirove nafte, tankersko tržište broda, sustavi za prekrcaj tereta, onečišćenja uljem.

## **SUMMARY**

Crude oil tankers are the largest ships sailing the world's seas. This paper describes cargo system of crude oil tankers. In this paper types of crude oil tankers are described according to their deadweight as well as their construction.

The tanker ship market and importance tankers in the global sea freight transport were analyzed. The paper describes cargo handling systems (pipeline system, valve system, and pums system) whose characteristics affect on safety and efficiency during cargo loading and unloading.

The inerting of protected spaces is being considered, a process by which an inert atmosphere is obtained and thus prevents the creation of an explosive atmosphere. The paper analyzes oil pollution from tanker ships carrying crude oil. It was also emphasized that the ship's crew must have certain knowledge and skills to act in case of oil pollution.

**Key words:** crude oil tanker, tanker ship market, cargo handling systems, oil pollution.

## SADRŽAJ

<b>SAŽETAK.....</b>	<b>I</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>II</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. SVOJSTVA SIROVE NAFTE.....</b>	<b>3</b>
2.1. Točka magljenja.....	4
2.2. Značajna temperatura svojstva sirove nafte i održavanje temperature tijekom transporta .....	5
2.3. Gustoća i viskozitet.....	6
<b>3. OPĆENITO O TANKERIMA ZA PRIJEVOZ SIROVE NAFTE....</b>	<b>10</b>
3.1. Povijesni razvitak tankera .....	12
3.2. Tržište tankera za prijevoz sirove nafte .....	15
<b>4. OPREMA ZA MANIPULACIJOM TERETOM .....</b>	<b>19</b>
4.1. Cjevovod tereta na tankeru za prijevoz sirove nafte.....	20
4.2. Priključno mjesto za spoj sa obalom - Mainfold .....	21
4.3. Ventili .....	22
4.4. Pumpe tereta .....	23
<b>5. SUSTAV INERTNOG PLINA .....</b>	<b>27</b>
5.1. Dijagram zapaljivosti.....	27
5.2. Dobivanje inertnog plina .....	28
5.3. Postupak inertiranja na brodovima za prijevoz sirove nafte.....	30
<b>6. POSTUPCI PRI MANIPULACIJI SIROVOM NAFTOM.....</b>	<b>33</b>
6.1. Ukrcaj tereta.....	34
6.2. Iskrcaj tereta.....	35
<b>7. ONEČIŠĆENJE SIROVOM NAFTOM.....</b>	<b>37</b>
7.1. Metode čišćenja .....	37
7.2. Statistika incidenta sa sirovom naftom .....	38
7.3. Brodski plan u slučaju onečišćenja .....	41
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>42</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>44</b>



## 1. UVOD

Tankeri spadaju u namjenski konstruirane brodove za prijevoz određene vrste tekućeg tereta. U ovom radu će pobliže biti razmatran tanker za prijevoz sirove nafte. U radu je korištena brodska dokumentacija tankera „Istra“ koji spada u višenamjenske tankere, te je pored ostalih tekućih tereta u mogućnosti prevoziti i sirovu naftu.

Okosnica ovog rada je teretni sustav na tankerima za prijevoz sirove nafte. Rukovanje sustavom tereta sirove nafte je zahtjevno i posada broda, posebno prvi časnik, moraju imati potrebna znanja i biti uvježbani kako bi se operacije izvodile na siguran i učinkovit način. Da bi prekrcaj sirove nafte tekao na zadovoljavajući način potrebno je poštivati propisane postupke.

Brodarsko društvo je dužno pripremiti sve postupke vezano za siguran prekrcaj tereta uključujući i one u izvanrednim situacijama. Posada broda je dužna slijediti propisane postupke kako bi prekrcaj tekao na siguran način. Kod prekrcaja broda se od posade zahtjeva rukovanje s više sustava (sustavom ventila, cjevovoda, pumpi za prekrcaj, sustavom za posušivanje, sustavom pranja tankova i sustavom inertiranja) u vremenu koje je ograničeno.

Struktura ovog rada se sastoji od osam poglavlja. U uvodnom dijelu su naglašeni sigurnost i učinkovitost na tankerima za prijevoz sirove nafte te je prikazana struktura rada. U drugom poglavlju su opisna svojstva sirove nafte koja posada mora poznavati da bi prekrcaj i prijevoz morem bio siguran. U trećem poglavlju su dana važnija obilježja tankera za prijevoz sirove nafte s povijesnim pregledom te je dat kratki osvrt na tankersko tržište. U četvrtom poglavlju je opisana oprema za manipulacijom sirovom naftom. Opisani su sustavi cjevovoda, ventili, manifold, te sustav pumpi. Rukovanje ovim sustavima od bitnog je značenja da pored sigurnosti bude ostvarena i potrebna učinkovitost kako bi se prekrcaj tereta obavio po planu i unutar ugovorenog vremena. U petom poglavlju je opisan sustav inertnog plina koji pruža sigurnost tijekom manipulacije i prijevoza sirove nafte brodovima. Inertni sustav je složen sustav i posada broda mora poznavati njegov način rada kako bi se postigli zahtijevani učinci.

U poglavlju šest su dati postupci manipulacije sirovom naftom. Postupci su propisani od strane brodarskog društva, te brod ima i priručnik s uputama za obavljanje manipulacija ukrcaja i iskrcanja tereta. Spremnost broda, kao i terminala za navedene manipulacije se provjerava listama provjere. U sedmom poglavlju su opisana moguća onečišćenja sirovom

naftom po uzrocima. Unutar poglavlja su opisane metode čišćenja, statistički su analizirana onečišćenja sirovom naftom te je opisan brodski plan u slučaju onečišćenja.

## 2. SVOJSTVA SIROVE NAFTE

Sirova nafta je crno smeđa tekućina specifičnog mirisa prirodnog porijekla. Najčešće se nalazi u naftnim ležištima ispod Zemljine površine, ali se može naći i na površinskim nalazištima gada je najčešće vezana uz kamen škriljevac. Porijeklo sirove nafte u znanstvenim krugovima nije u potpunosti razjašnjeno i smatra se neobnovljivim izvorom energije, iako je sredinom prošlog stoljeća bilo pokušaja da se takva teorija opovrgne i dokaže kako je i ona zapravo obnovljiv izvor energije koji se kontinuirano stvara unutar Zemljine kore. Danas se zastupa teorija kako je nafta nastala od biljnih i životinjskih ostataka u Zemljinoj kori pod djelovanjem visoke temperature i tlaka.

Sve sirove nafte, bez obzira na lokaciju nalazišta se sastoje od smjese ugljikovodika s različitim dodacima sumporovih, dušikovih i kisikovih spojeva. Također su u sirovoj nafti u tragovima prisutni i metali. U sirovoj nafti se kao ugljikovodici najčešće nalaze alkani (parafini), cikloalkani (nafteni) te razni aromatski ugljikovodici. Ostatak kojeg čine organski spojevi sadržavaju u različitim omjerima dušik, kisik i sumpor. Kao metali u tragovima najčešće se pojavljuju željezo, nikal, bakar te vanadilij. Sumpor je najčešće u sirovoj nafti prisutan u obliku sumporovih organskih spojeva (u najvećem dijelu sumporovodik). Prisustvo sumporovih organskih spojeva zbog svojeg korodirajućeg djelovanja na metale te otrovnog i štetnog djelovanja na ljudsko zdravlje je nepoželjno. Kemijski sastav sirove nafte (omjer pojedinih spojeva i elemenata) ovisi o vrsti nafte, tj. o lokaciji samog nalazišta sirove nafte i starosti organske tvari i njezinu očuvanju u šupljim stijenama (kavernama) te o fizikalnim uvjetima u samom nalazištu.

U sirovoj nafti se nalazi otopljeni ili neotopljeni određena količina prirodnog plina. Količina otopljenog plina u sirovoj nafti uvjetuje njeno crpljenje iz nalazišta. Veća količina otopljenog plina označava laganiju naftu te pogodniju za crpljenje. Nafta se na površinu crpi kroz umjetno izrađene bušotine. Razlikuju se dva načina izlaska sirove nafte smještene unutar zemljine kore na površinu: eruptivno i mehaničkim metodama crpljenja. U prvoj fazi eksploatacije bušotine sirova nafta nakon izvedenih tehnoloških zahvata eruptira. Nakon početne faze iskorištavanja nalazišta, kada tlak postane nedostatan za crpljenje, primjenjuje se tehnologija potiskivanja plinom ili se koriste određene vrste sisaljki.

Pored sirove nafte se iz ležišta dobiva i prirodni plin, tako da podizanjem nafte prema površini dolazi do smanjenja tlakova što uzrokuje izdvajanje plina. Kako bi se iz nafte izdvojile preostale količine plina te voda nafta se određenim postupcima separira. Sirova

nafta je nakon toga spremna za otpremu u rafineriju na preradbu bilo kopnenim ili morskim putem.

Kao što je prethodno navedeno vrste sirovih nafti se mogu značajno razlikovati prema svojstvima što ovisi o lokaciji njihova nalazišta, odnosno sastavu. Sirove nafte s većim udjelom ugljikovodika su nižeg vrelišta te manje gustoće i od njih je moguće frakcijskom destilacijom dobiti veći udio vrijednijih naftnih produkata. Nasuprot tome sirove nafte s većim udjelima neugljikovodika sadrže veći udio sumpora i metala koje potrebno ukloniti te se teže prerađuju. Neka od značajnih fizikalno-kemijska svojstva sirove nafte su točka magljenja, točka stinjanja, temperatura svojstva, gustoća i viskoznost.

## **2.1. Točka magljenja**

Točka magljenja predstavlja temperaturu kod koje se uočava kristalizacija u sirovoj nafti te naftnim frakcijama. Parafinski odnosno drugi spojevi koji pri nižim temperaturama prelaze u čvrsto oblik te se počinju pojavljivati u obliku magle ako se pri tome uzorak hladi u određenim uvjetima. Ovo svojstvo jedan je od parametara koji označava kvalitetu sirove nafte kao i naftnih produkata.

U slučaju sirove nafte točka magljenja je ona temperatura pri kojoj ona počinje poprimati zamagljen izgled uslijed formiranja kristala parafina.

Točka stinjanja odnosno protjecanja sirove nafte ili derivata predstavlja najnižu temperaturu pri kojoj takva tekućina još uvijek slobodno protiče pri zadanim uvjetima. Ispod te temperature navedene tekućine prestaju s proticanjem i dolazi do njihova stvrdnjavanja.

Točka tečenja je značajna jer u primjeru sirove nafte pokazuje prisutnost parafina. Sirove nafte s većim udjelom parafina imaju višu temperaturu tečenja. Kod niskih temperatura parafin u sirovoj nafti se kristalizira pa pumpanje postaje jako otežano, gotovo nemoguće. Danas se u praksi takvim vrstama sirove nafte dodaju kemijski preparati kako bi se snizila točka stinjanja. Međutim kod transporta i prekrcaja sirove nafte navedeni problem se rješava zagrijavanjem tekućine.

## **2.2. Značajna temperatura svojstva sirove nafte i održavanje temperature tijekom transporta**

Temperatura tališta i ledišta su vrlo bitni faktori u sustavu skladištenja i transporta sirove nafte kojih treba poznavati kako bi se postigla maksimalna učinkovitost sustava. Točka ledišta predstavlja temperaturu kod koje spojevi ugljikovodika u sirovoj nafti prelaze iz tekućeg agregatnog stanja u kruto stanje. Kod porasta temperature dolazi do otapanja tvari, a kod nižih temperatura do njenog skrutnjavanja. U nekim slučajevima temperatura tališta i ledišta nisu uvijek iste, međutim za potrebe manipulacija sirovom naftom ove se razlike zanemaruju. S obzirom na to da vrsta sirove nafte ima više, načini prijevoza morem se razlikuju, a određene vrste sirove nafte je tako potrebno zagrijavati u tankovima tijekom transporta.

Da li je i koliko potrebno grijati teret u slučaju transporta sirove nafte morem zavisi najviše o njenoj gustoći, o tome koliko ista ima udjela spojeva ugljikovodika, odnosno ne-ugljikovodika te ostalih elemenata. Kao što je prethodno navedeno kod transporta sirove nafte je bitno poznavati temperaturu krutišta sirove nafte koja se prevozi. Nafta iz Venezuele ima veću specifičnu gustoću od Arapske nafte te stoga ima i višu temperaturu krutišta te tijekom transporta zahtijeva poseban način zagrijavanja.

Temperatura krutišta tereta se unosi u dnevnik o grijanju tereta. Dnevnik je potrebno voditi kada tokom prijevoza treba zagrijavati teret sirove nafte. Iz ovoga su dnevnika vidljivi također i cjelokupni postupci tretmana sirove nafte i njezino stanje tijekom prijevoza.

Cilj zagrijavanja sirove nafte tijekom transporta morem je održavanje tereta u tekućem stanju da bi se omogućio njegov iskrcaj na uobičajen način. Prilikom zagrijavanja treba voditi računa da ne dođe do gubitka kvaliteta. Zagrijavanje veće od propisanog za određenu vrstu sirove nafte može dovesti do većeg isparavanja lakših frakcija sirove nafte što onda za posljedicu ima smanjeni udio proizvodnje lakih derivata. Postoje dva moguća sustava koji se koriste kod zagrijavanja sirove nafte:

- ugradnja sustava cijevi (tzv. „serpentina“) ugrađenih na dno tanaka kroz koje prolazi para ili termalno ulje za zagrijavanje tereta. Regulacija temperature odnosno potrebno zagrijavanje sirove nafte izvodi se regulacijom protoka pare, vode odnosno termalnog ulja kroz sustav cjevovoda.
- grijanje sirove nafte pomoću palubnih grijača predviđenih za svaki tank.

Na modernim tankerima za prijevoz sirove nafte češće se ugrađuju serpentine. Temperatura pare, vode, odnosno termalnog ulja koji se koriste u serpentinama za

zagrijavanje sirove nafte ne smije prelaziti 220°C. Temperaturu je potrebno podignuti s 44°C na 66°C u razdoblju od 4 dana. Nakon toga se takva temperatura kontinuirano održava. Nadzor nad temperaturom tereta je potrebno stalno provoditi za svaki tank. Sustav ima alarm koji će upozoriti časnike kod prekoračenja zadane temperature zagrijavanja tereta. Mjerni instrumenti za mjerenje temperature u tankovima su postavljeni na tri razine (na dnu, na sredini, te pri vrhu tanka). Na slici koja slijedi je prikazan ugradbeni sustav cijevi (tzv. „serpentina“).



**Slika 1. Sustav cijevi (tzv. „serpentina“) za grijanje tereta**  
Izvor: <https://captajitvadakayil.in/2021/02/11/steam-heating>

Na slici koja slijedi je prikazan sustav zagrijavanja tereta upotrebom Framo palubnog grijača.



**Slika 2. Framo palubni grijač**  
Izvor: <https://www.framo.com/cargo-pumping-systems>

### 2.3. Gustoća i viskozitet

Gustoća ( $\rho$ ) se općenito može definirati kao masa uzorka određene tvari u jedinici volumena kod određene temperature. Gustoća se izražava u  $\text{g/cm}^3$  ili  $\text{kg/m}^3$ . Za razliku od toga relativna gustoća se dobiva usporedbom omjera mase određenog obujma uzorka i mase istog obujma vode te je prema tome bezdimenzionalna veličina. Gustoća je promjenjiva veličina i ovisna je o temperaturi. Gustoća koja je navedena za specifičnu temperaturu kod

15°C ima naziv prava gustoća te ona pokazuje stvarnu masu. Tablice se koriste kod pretvaranja prave gustoće u prividnu gustoću (gustoću na zraku). U Velikoj Britaniji i USA relativna gustoća i API specifična težina (prema American Petroleum Institute) se najčešće koriste.

Specifična težina je zamijenila naziv relativna gustoća koji se ranije upotrebljavao u industriji nafte. Može se odrediti prema sljedećem izrazu:

$$\text{Relativna gustoća na } 15^\circ/15^\circ\text{C} = \frac{\text{masa razmatranog volumena na } 15^\circ\text{C}}{\text{masa istog volumena vode na } 15^\circ\text{C}} \quad (1)$$

Određivanje relativne gustoće koristeći jedinicu za temperaturu Farenhajt se može izvesti prema sljedećem izrazu:

$$\text{Relativna gustoća na } 60^\circ/60^\circ\text{F} = \frac{\text{masa razmatranog volumena na } 60^\circ\text{F}}{\text{masa istog volumena vode na } 60^\circ\text{F}} \quad (2)$$

Gustoća sirove nafte prema API se može odrediti prema sljedećem izrazu:

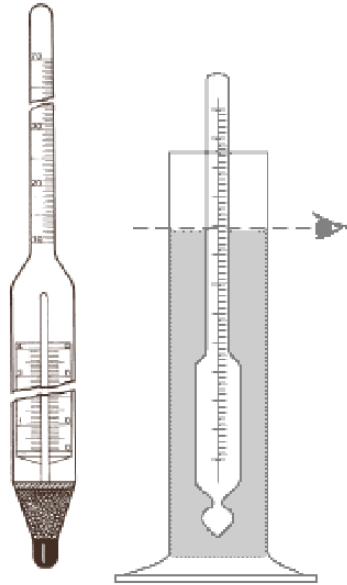
$$\text{API gustoća na } 60^\circ\text{F} = \frac{141,5}{m\text{Relativna gustoća } 60^\circ/60^\circ\text{C}} - 131,5 \quad (3)$$

Gustoća sirove nafte i naftnih produkata varira u rasponu, od 0,75 do 1,06 g cm<sup>-3</sup>. Najčešće se pojavljuje gustoća koja varira u rasponu od 0,82 do 0,97 g m<sup>-3</sup>. Sirove nafte se mogu prema gustoći podijeliti u:

- lake nafte (15 15d = < 0,854)
- nafte srednje gustoće (15 15d = 0,854 – 0,933)
- teške nafte (15 15d = > 0,93)

Gustoća sirove nafte isto tako ovisi i o samom kemijskom sastavu nafte. Međutim to je vrlo teško utvrditi. Općenito se smatra da aromatski spojevi povećavaju gustoću sirove nafte, dok za razliku od toga povećana koncentracija zasićenih ugljikovodika ima za posljedicu smanjenje gustoće sirove nafte.

Gustoća sirove nafte se određuje Areometrom. Obično je izrađen od stakla ili plastike. Po svom obliku vrlo je sličan salinometru.



**Slika 3. Areometar**

Izvor: [https:// www. file/Users/Korisnik/Downloads/OPKI\\_vjezbe\\_2018.pdf](https://www.file/Users/Korisnik/Downloads/OPKI_vjezbe_2018.pdf)

Na gornji dio tijela koji je u obliku staklene cjevčice nastavlja se, donji, širi dio, u obliku valjaka. Na donjem dijelu valjaka se nalazi kuglica u kojoj se nalazi živa ili olovna sačma. Može imati ugrađeni termometar. Skalarni dio za očitavanje vrijednosti gustoće se nalazi na gornjem dijelu tijela areometra. Instrument je potrebno u određenim vremenskim razmacima baždariti.

Viskoznost je vrlo bitno svojstvo tekućine koje utječe na protok nafte i naftnih derivata. Svojstvo viskoznosti se može sagledati kao mjeru unutarnje otpornosti na protok tekućine zbog sila kohezije između molekula odnosno molekularnih skupina. Viskoznost se može razmatrati kroz:

- dinamička viskoznost ( $\eta$ )
- kinematička viskoznost ( $\nu$ ), te
- indeks viskoznosti ( $\tau$ ).

Dinamička viskoznost se dobiva kao udio primijenjenog smičnog naprezanja gradijenta u odnosu na brzinu smicanja. Jedinica kojom se izražava dinamička viskoznost u SI sustavu je Pascal sekunda (Pa's).

Kinematička viskoznost predstavlja omjer između dinamičke viskoznosti i gustoće, a iskazuje mjeru kojom se tekućina opire protjecanju pod djelovanjem sile teže. Može se odrediti se mjerenjem vremena u kojem tekućina protiče kroz kapilaru određenih dimenzija.



Kinematička viskoznost se u SI sustavu mjeri u  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ . Viskoznost sirove nafte i naftnih produkata je vrlo važno svojstvo pri transportu pa je nekad potrebno zagrijavati jako viskozne kapljevine jer se kod povišenja temperature s  $20\text{ }^\circ\text{C}$  na  $100\text{ }^\circ\text{C}$  viskoznost reducira za više od deset puta. Također kinematička viskoznost može dosta razlikovati obzirom na vrstu sirove nafte.

Indeks viskoznosti se upotrebljava za brojčani prikaz utjecaja temperature na viskozitet. Dean i Davis skala indeksa viskoznosti se bazira na stavljanju brojčanih skalarnih određenoj vrsti nafte. Vrijednost 0 se pridružila tipičnoj nafti s nalazišta u Meksičkom zaljevu, dok se vrijednost 100 pridružila sirovoj nafti iz Pensilvanije. Kategorizacija od 0 do 100 se izvela za nafte iz drugih nalazišta.

$$\tau = \frac{L-U}{L-H} * 100 \quad (4)$$

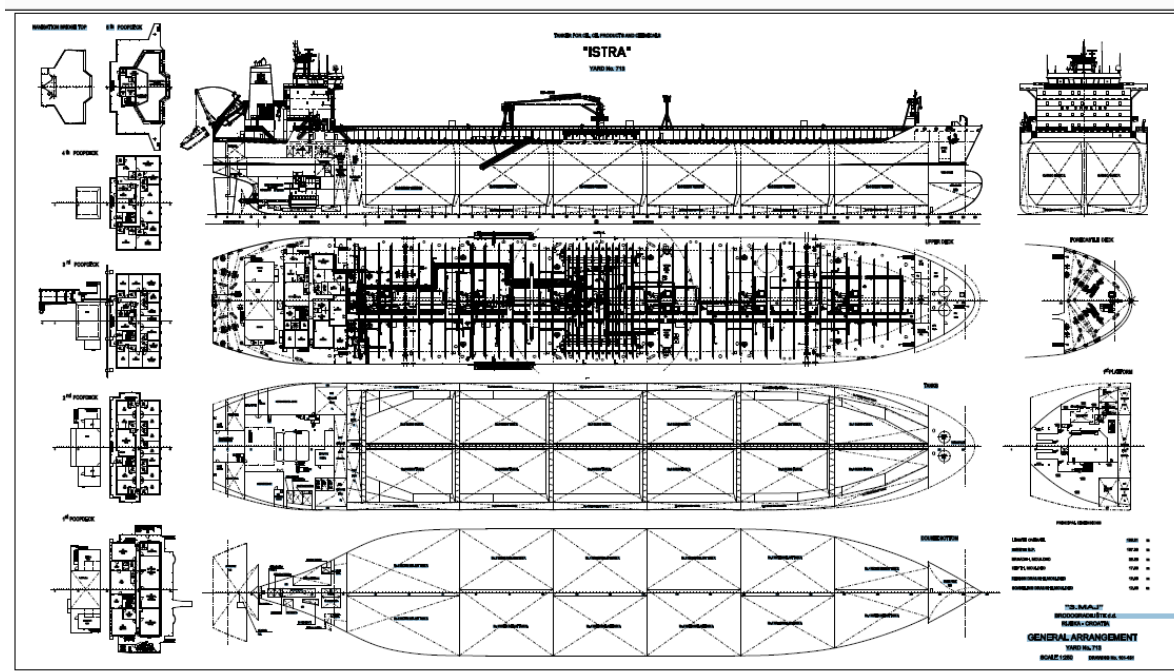
Gdje su:

- $\tau$  - indeks viskoznosti,
- L i H - viskoznosti referentnih uzoraka s vrijednostima indeksa 0 i 100,
- U - viskoznost uzorka koji se razmatra pri temperaturi od  $38\text{ }^\circ\text{C}$

### 3. OPĆENITO O TANKERIMA ZA PRIJEVOZ SIROVE NAFTE

Prijevoz sirove nafte morem obavlja se specijaliziranim brodovima pod nazivom tankeri za prijevoz sirove nafte. Konstrukcijska obilježja spomenutog broda su uvjetovana obilježjima tereta kojeg prevoze. Tako da postoji razlika brodova za prijevoz sirove nafte i brodova za prijevoz naftnih derivata prvenstveno u sustavu za ukrcaj i iskrcaj tereta. Tankeri koji prevoze sirove nafte su po nosivosti veći od brodova za prijevoz naftnih produkata i predstavljaju najveće brodove koji plove svjetskim morima (VLCC<sup>1</sup>, ULCC<sup>2</sup>).

Kako bi se smanjila masa broda, te tako povećala njegova nosivost tankeri se grade po uzdužnom sustavu gradnje s pojačanim uzdužnjacima, ukrepljenim palubama, pojačanim poprečnim pregradama, te okvirnim rebrima i palubnim sponjama. Teretni prostor tankera za prijevoz sirove nafte je smješten između koferdama iza pramčane sudarne pregrade te koferdama ispred pregrade strojarnice. Prostor tereta je razdijeljen uzdužnim i poprečnim nepropusnim pregradama u više bočnih te centralnih tankova kod velikih tankera, dok su kod manjih tankera po dva tanka smještena poprečno unutar trupa.



Slika 4. Generalni plan tankera „Istra“

Izvor: Podaci iz brodske dokumentacije

<sup>1</sup> VLCC – Very Large Crude Carrier (od 200.000 do 300.000 tona nosivosti)

<sup>2</sup> ULCC – Ultra Large Crude Carrier (od 300.000 tona nosivosti i više)

Kod većih tankera za prijevoz sirove nafte (iznad 100.000 t nosivosti) unutrašnjost trupa tankera, odnosno teretni prostor podijeljen je sa dvije uzdužne pregrade zbog poprečne stabilnosti broda (utjecaj slobodnih površina uslijed pomicanja tereta s boka na bok. Tankovi tereta su međusobno odvojeni praznim prostorom. Broj tankova ovisan je o veličini broda. Na slici koja slijedi prikazan je tanker „Istra“ izgrađen u brodogradilištu „3. Maj“ koji pored prijevoza sirove nafte može prevoziti naftne proizvode i kemikalije.

Brod se obzirom na osnovne dimenzije trupa ubraja u Panamax brodove, što podrazumijeva da je mogao prolaziti Panamskim kanalom prije njegova proširenja. Nakon rekonstrukcije Panamskim kanalom mogu prolaziti i „Postapanamax brodovi“ (duljine 367 m, širine 50 m i gaza 15 m). U tablici koja slijedi prikazani su osnovni podaci tankera „Istra“

**Tablica 1. Osnovni podaci tankera „Istra“**

Duljina preko svega	195,20 m
Duljina između okomica	187,30 m
Širina	32,30 m
Gaz	12,0 m

Izvor: Podaci iz brodske dokumentacije

Tankeri za prijevoz sirove nafte se ubrajaju u brodove s jednom palubom. Brodovi nemaju klasična grotla kao brodovi za prijevoz suhih tereta već su to manja grotla koja služe za ulazak u prostor tankova. U počecima prijevoza sirove nafte tankeri nisu imali dvostruko dno tako da se nakon iskrcanja tereta u iste tankove krcao balast.

Nadgrađe broda je smješteno na krmenom dijelu broda, Strojarnica se nalazi ispod nadgrađa. Tankeri za prijevoz sirove nafte najčešće imaju jedan glavni stroj i vijak. Tankere za prijevoz sirove nafte se prema načinu gradnje trupa i smještaj tankova mogu podijeliti u:

- tankere s jednostrukom oplatom (ovakvi brodovi danas radi ekoloških propisa najčešće više ne plove),
- tankere sa dvostrukom oplatom i
- tankere sa središnjom palubnom konstrukcijom.

Moderni tankeri su najčešće građeni s dvostrukom oplatom ili središnjom palubnom konstrukcijom. Osnovna prednost takvih tankera je da se u slučaju većih oštećenja trupa izbjegniju moguća izlijevanja i štetan učinak na okoliš.

### 3.1. Povijesni razvitak tankera

Prema povijesnim istraživanjima tekući teret se na Sredozemlju započeo prevoziti već od 3. stoljeća p.n.e., kada su se amfore koristile za prijevoz vina i ulja. Nakon toga sa su se prijevozom tekućeg tereta u drvenim bačvama započeli baviti Englezi i Norvežani.

Prema povijesnim izvorima Kinezi su prvi počeli s eksploatacijom sirove nafte. Najstarija bušotina iz 2 stoljeća nađena je u Kini, bila je duboka više od 100 m, a bušilo se bambusovim cijevima. Nafta se koristila za proizvodnju soli (grijanje i evaporacija). Kina i Japan su koristili naftu i plin u 7. st. za osvjetljenje i grijanje. Ulice Bagdada bile su u 9. st. pokrivena katranom. Arapi i Perzijanci dobivali su iz nafte gorive proizvode za ratne svrhe. Nafta se u antičko vrijeme upotrebljavala kao lijek, mazivo, građevni materijal za izolaciju i gradnju puteva, osvjetljavanje te se javila potreba i za njen prijevoz morskom putem.

Kinezi su prema povijesnim izvorima bili prvi prijevoznici nafte kao tereta. Postoje sačuvani nacrti takvih brodova kod kojih prostori za teret odijeljeni pregradama u poprečnom smislu. Isto tako su poznavali i ekspanzijsko svojstvo sirove nafte kao tereta.

Godina 1859. se uzima kao godina početka industrijske eksploatacija sirove nafte. Industrijska eksploatacija je isto tako uvjetovala transport sirove nafte, ne samo kopnom već i morem. Godine 1861. sirova nafta se prevozi kao brodski teret u drvenim bačvama na jedrenjaku "Elisabeth Watts" iz Amerike do Londona na putovanju od 45 dana. Godine 1869. godine brod "Charles" umjesto drvenih bačvi teret sirove nafte prevozi u četvrtastim metalnim spremnicima obloženim drvom. Kako što je vidljivo sirova nafta se u počecima transporta morem prevozila kao generalni teret. Drvene bačve, kao i metalni spremnici obloženi drvom nisu se pokazali dobrim rješenjem u prvom redu zbog prevelikog izgubljenog prostora.

Godine 1886. godine izgrađen je tanker "Gluckauf" u Newcastlu. Problemi koji su se do tada pojavljivali u obliku istjecanja nafte, pojava zapaljivih atmosfera koje su predstavljale potencijalnu mogućnost nastanka požara odnosno eksplozije, pokušali su se riješiti inovacijama na ovom brodu.



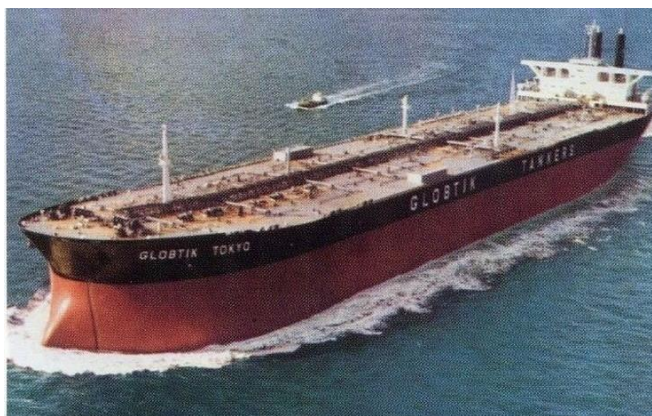
**Slika 5. Jedrenjak "Gluckauf"**

Izvor: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca\\_esv=557467280 &q=gluckauf&tb](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca_esv=557467280 &q=gluckauf&tb)

Sirova nafta se ukrcavala u 8 tankova koji su bili smješteni unutar trupa broda. Tankovi su bili postavljeni po širini od boka do boka. Za razliku od dosadašnjih brodova koji su bili jedrenjaci ovaj brod je pokretao parni stapni stroj. Također ukrcaj i iskrcaj broda s prijašnjih nekoliko dana smanjen i trajao je manje od jednog dana što je predstavljalo veliku promjenu i u eksploataciji samog broda. Tanker „Gluckauf“ je tako predstavljao značajni napredak u transportu nafte morem.

Tankeri izgrađeni početkom 20. st. su već bili nosivosti između 5000 t i 8000 t. Tijekom II. sv. rata kako bi se morem u jednom konvoju opskrbnih brodova transportirala čim veća količina nafte dolazi do povećanja nosivosti tankera. Završetkom II. sv. rata izgrađeni su tankeri veličine 23.000 t. Dvadeset godina kasnije, 1965. godine, u Americi je izgrađen tanker „Manhatan“ čija je nosivost iznosila 107.000 t. Japan, kao veliki uvoznik sirove nafte, vrlo brzo nakon toga izgrađuje tanker „Tokio Maru“ nosivosti 156.000 t.

Rat između Izraela i Egipta 1967. uzrokuje zatvaranje Sueskog kanala. Uslijed nemogućnosti plovidbe Sueskim kanalom, da bi se namirile potrebe tržišta, počela je izgradnja tankera velikih nosivosti. U tome je prednjačio Japan te je njihova kompanija „Gloptik Tankers“ početkom sedamdesetih godina prošlog stoljeća izgradila tri tankera od kojih je svaki imao nosivost od gotovo pola milijuna tona. Na sljedećoj slici je prikazan tanker „Gloptik Tokio“ nosivosti 483.644 t.



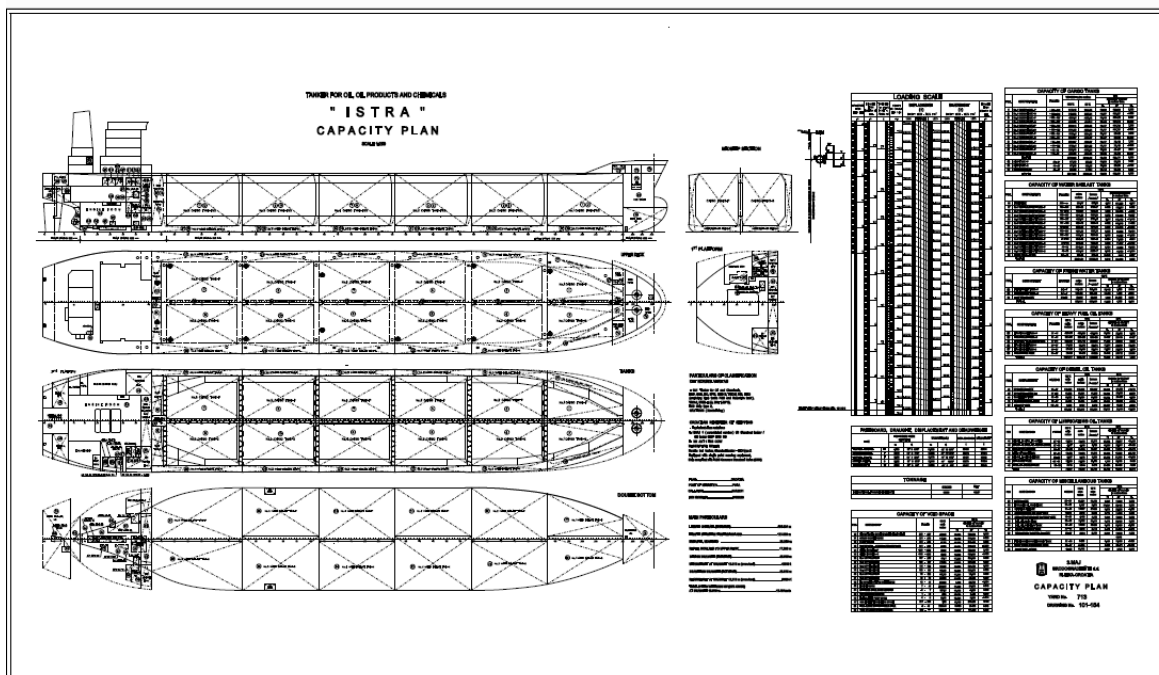
**Slika 6. Tanker „Gloptik Tokio“**

Izvor: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca\\_esv=558063145&q=GLOBTIK+TOKYO](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca_esv=558063145&q=GLOBTIK+TOKYO)

Nakon ponovnog otvaranja Sueskog kanala 1977.g više nema potrebe za tankerima tako velike nosivosti te oni odlaze u rezalište ili završavaju kao usidreni brodovi u kojima se skladištila sirova nafta[9]. Suvremeni tankeri za transport sirove nafte nisu veći od 450.000 t nosivosti. Najveći tanker za prijevoz sirove nafte danas je „Euro“ (duljine 380 m, širine 68 m, gaza 24 m i nosivosti približno 440.000 t izgrađen u korejskom brodogradilištu. Današnje tankere za prijevoz sirove možemo općenito podijeliti kao:

- Panamax – tankeri ukupne nosivosti od 60000 t do 80000 t,
- LR1- tankeri ukupne nosivosti od 55.000 t do 80.000t,
- LR2- tankeri ukupne nosivosti od 80.000 t do 120.000t,
- Aframax (Average Freight Rate Assessment) – tankeri ukupne nosivosti od 80.000 t do 120.000 t,
- Suezmax – tankeri čija veličina ograničava prolaz Suezom, ukupne nosivosti od 120.000 t do 180.000 t.
- VLCC (Very Large Crude Carrier) – tankeri ukupne nosivosti od 200.000 t do 320.000 t
- ULCC (Ultra Large Crude Carrier) – tankeri ukupne nosivosti iznad 320.000

Na sljedećoj slici je dat plan kapaciteta Panamax tankera „Istra“



**Slika 7. Plan kapaciteta tankera „Istra“**  
 Izvor: Podaci iz brodske dokumentacije

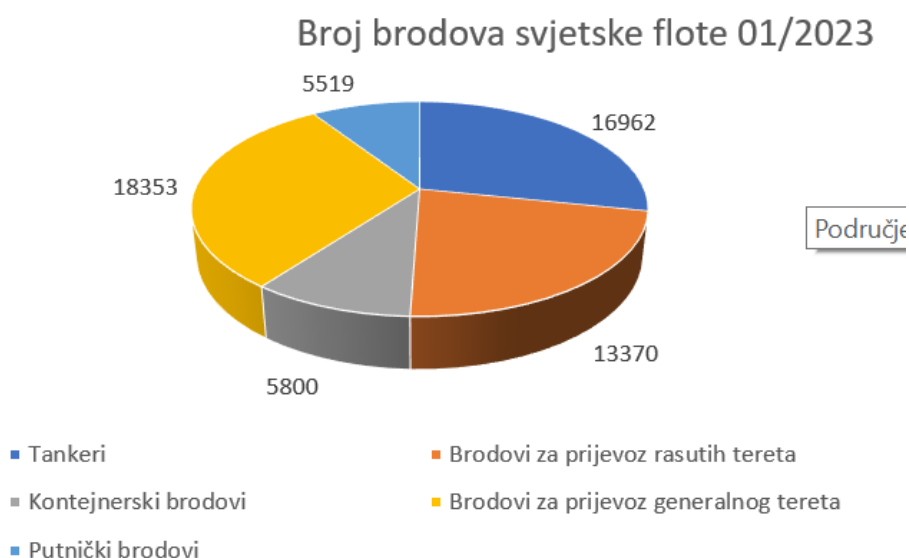
Kapacitet tankova za prijevoz tereta tankera „Istra“ iznosi 57.336,82 m<sup>3</sup> koji u svojim tankovima pored sirove nafte može prevoziti naftne proizvode i kemikalije.

### 3.2. Tržište tankera za prijevoz sirove nafte

Tržište tankera koje pokriva transport sirove nafte morem je specifično. Trgovanje sirovom naftom je usko povezano s transportnim lancima uključujući i pomorski prijevoz jer vlasnici tereta određuju i način prijevoza. Velike naftne tvrtke velikim dijelom svoju sirovu naftu prevoze vlastitom flotom brodova, unajmljenim brodovima odnosno brodovima tankerskih brodara s kojima su najčešće zaključili dugoročne ugovore. Pomorski prijevoz sirove nafte vezan je uz tržišnu potražnju za sirovom naftom koja je uvjetovana nizom faktora, od političkih do onih vezanih za gospodarske prilike zemalja uvoznica. Veća potražnja za sobom povlači i bolje uposlenje flote. Slabija potražnja označava prisilno povlačenje dijela flote u mirovanje, odnosno rezalište. Knjige narudžbi brodova u doba pada tržišta se slabije popunjavaju dok se tijekom uzleta tržišta knjige narudžbi redovito dobro popunjavaju.

Ukupan broj tankera je početkom 2023. iznosio 16.962 broda. Ukupno su imali 786,7 miliona tona nosivosti. Od toga je u istom razdoblju tankera za prijevoz sirove nafte bilo 8445 i ukupno su imali 565,2 miliona tona nosivosti. Uspoređujući 2019. godinu i 2023.

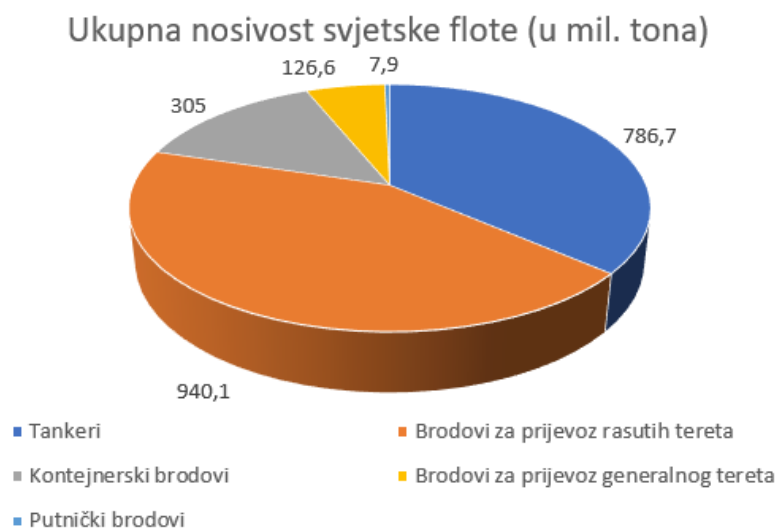
godinu ukupna nosivost tankera za prijevoz sirove nafte je 2019. godine činila udio od 26,3% u svjetskoj floti, dok je 2023. godine taj udio smanjen na 26,1%. U razdoblju od 2019. godine do 2023. godine broj brodova za prijevoz sirove nafte se povećavao po prosječnoj stopi od 1,8%, dok se u istom razdoblju ukupna nosivost povećavala po prosječnoj stopi od 3,3%.<sup>9</sup> Slici koja slijedi prikazan je broj brodova svjetske flote prema vrsti.



**Slika 8. Broj brodova svjetske flote prema vrsti brodova u siječnju 2023**

Izvor: Izradio autor prema Shipping statistic and Market review 01/23

Na slici koja slijedi prikazana je ukupna nosivost svjetske flote u milionima tona nosivosti.



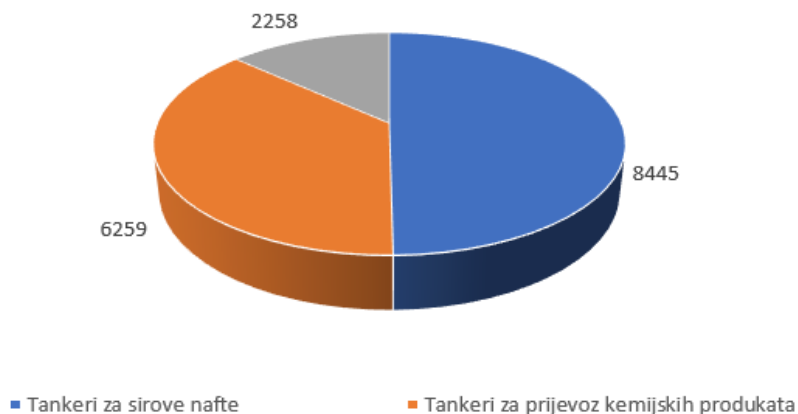
**Slika 9. Ukupna nosivost svjetske flote prema vrsti brodova u siječnju 2023**

Izvor: Izradio autor prema Shipping statistic and Market review 01/23



Na slici koja slijedi prikazana je razdioba vrste tankera prema broju brodova za siječanj 2023. godine.

Razdioba vrste tankera po broju brodova

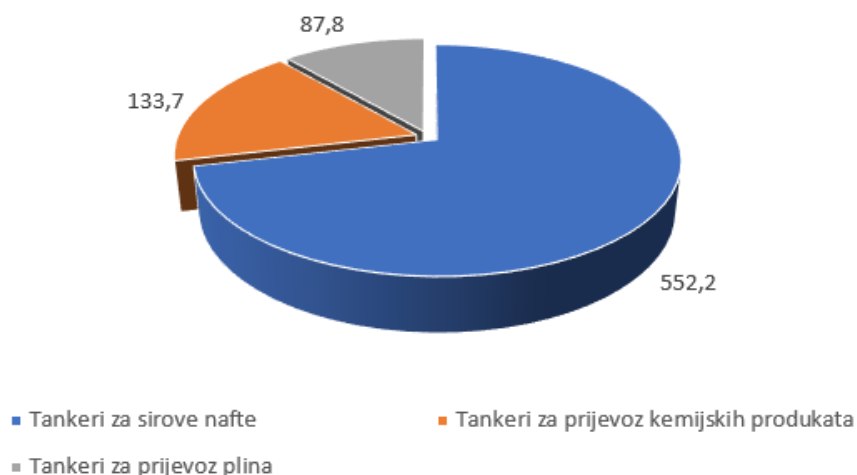


**Slika 10. Razdioba vrste tankera prema broju brodova u siječnju 2023**

Izvor: Izradio autor prema Shipping statistic and Market review 01/23

U siječnju 2023 tankeri za prijevoz sirove nafte u tankerskoj floti su činili najveći udio i ta vrsta brodova prema broju je bila gotovo polovicu tankerske flote (49,7%). U razdoblju od 2019. godine do siječnja 2023. godine najveći porast u broju brodova je imala flota tankera za prijevoz plina, gotovo dvostruki u odnosu na brodove za prijevoz sirove nafte. Na slici koja slijedi prikazana je razdioba vrste tankera po nosivosti za siječanj 2023. godine.

Razdioba vrsta tankera po nosivosti (u mil. tona)



**Slika 11. Razdioba vrste tankera po nosivosti u siječnju 2023**

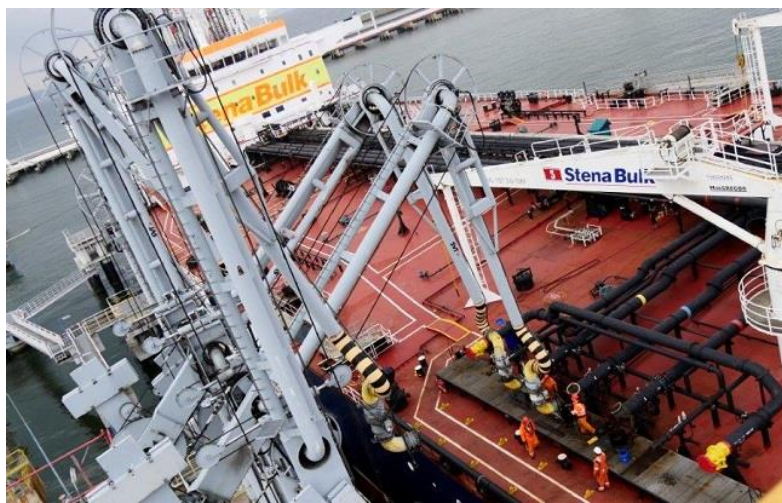
Izvor: Izradio autor prema Shipping statistic and Market review 01/23

Također u siječnju 2023 tankeri za prijevoz sirove nafte u tankerskoj floti su prema nosivosti činili najveći udio i ta vrsta brodova je bila gotovo dvije trećine tankerske flote (71,9%). U razdoblju od 2019. godine do siječnja 2023. godine najveći porast po nosivosti je imala flota tankera za prijevoz plina, također gotovo dvostruki u odnosu na brodove za prijevoz sirove nafte.

Može se na temelju analize dostupnih podataka zaključiti da je tankerska flota brodova za prijevoz sirove nafte uspoređujući je s ostatkom tankerske flote brodova najbrojnija, ukupnom nosivošću najveća, te da su brodovi za prijevoz sirove nafte i po pojedinačnom kapacitetu najveći tankeri.

#### 4. OPREMA ZA MANIPULACIJOM TERETOM

Poznato je da sirova nafta teret koji se najčešće ukrcaja u jednoj ukrcajnoj luci kao teret istih obilježja u sve predviđene tankove. Međutim postoje brodovi koji obzirom na odijeljeni sustav tankova, cjevovoda i pumpi mogu prevoziti i više vrsta sirove nafte odjednom kao što je to u primjeru tankera „Istra“. Tankeri za prijevoz sirove nafte moraju imati priključke cjevovoda istog standarda kao priključci na kopnenim prekrcajnim rukama kako bi se prekrcaj obavljao na siguran način. Standardi također moraju biti poštovani u pogledu pozicija ventila i odgovarajućih spojnih prirubnica za ostale sustave kojima se brod priključuje na sustave kopna. Na slici koja slijedi prikazano je spajanje tankera s terminalom.



**Slika 12. Spajanje cjevovoda tankera za prekrcaj sirove nafte tankera i terminala**

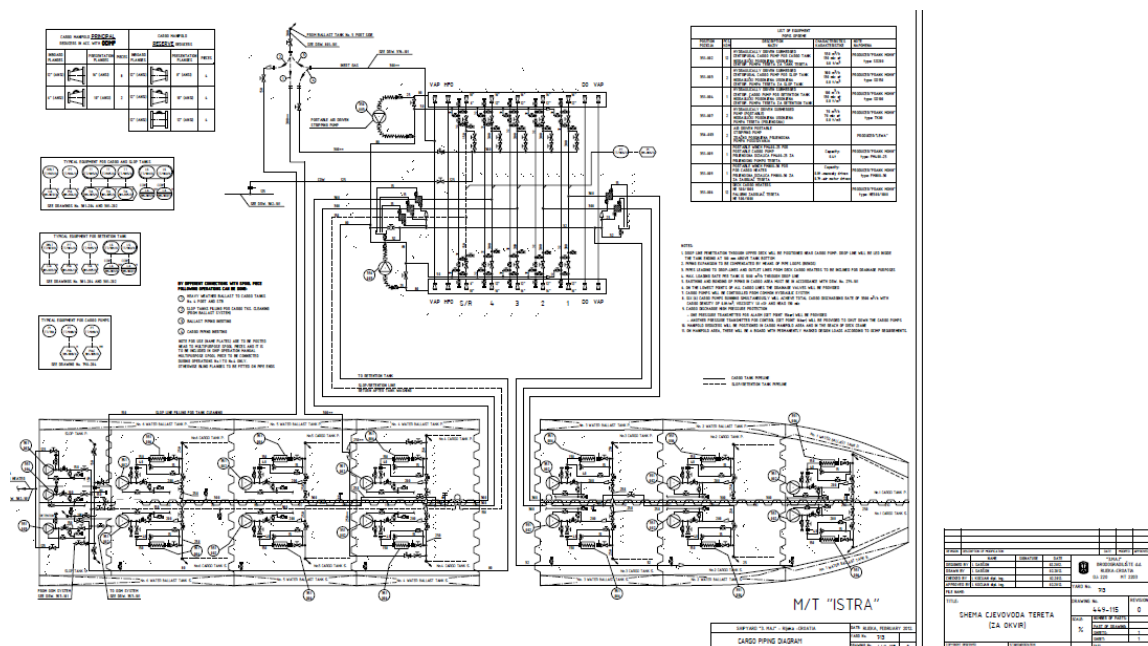
Izvor: <https://www.iotco.ir/en/newsagency/1364/New-crude-oil-terminal-opens-in-Gda%C5%84skautor>

Brod dolaskom na terminal mora u potpunosti biti spreman za obavljanje prekrcajnih operacija. Spremnost broda i terminala za prekrcaj tereta se obavlja koristeći liste provjere „brod – terminal“ i listi provjere „terminal – brod“. Utvrđivanje bilo kojeg nedostatka na brodu i opremi odgađa prekrcajne operacije dok se takav nedostatak ne otkloni.

U dijelu koji slijedi opisati će se najbitniji sustavi sustava za prekrcaj tereta na tankeru za transport sirove nafte. U početnom dijelu će se opisati sustav cjevovoda koji svojim obilježjima mora zadovoljavati ne samo mjere sigurnosti već omogućiti učinkovit prekrcaj tereta. Sustav ventila, čiji opis nakon toga slijedi osigurava željeni protok i smjer sirove nafte, te isto tako i mogućnost zaustavljanja prekrcajnih operacija u slučaju bilo koje opasnosti. Sustav pumi koji čini bitan segment sustava prekrcaja tereta i koje se uobičajeno koristi kod iskrcanja tereta, iako se u slučaju potrebe mogu koristiti i kod ukrcanja tereta, opisan će se u završnom dijelu poglavlja.

#### 4.1. Cjevovod tereta na tankeru za prijevoz sirove nafte

Sustav cjevovoda tereta na tankeru za prijevoz sirove nafte predstavlja jedan od bitnih komponenti sustava za prekrcaj tereta. Pored toga cjevovodima je također moguće transfer tereta iz tanka u tank. Također je moguće odgovarajućim cjevovodima te ventilima na palubi i pumpnoj stanici spojiti svaki cjevovod i svaki tank s određenom pumpom tereta. Uspješnost i brzina takvih operacija zavisi najviše o vještini časnika zaduženog za manipulaciju teretom. Isto tako konstrukcija cjevovoda mora biti izvedena tako da se onemogući bilo koji rizik kontaminacije dva odvojena tanka. Kako bi se spriječila nepoželjna komunikacija između dva odvojena tanka u cjevovodima se ugrađuju slijepne priрубnice. Cijevi za prekrcaj tereta zavise o samoj veličini tankera tako da kod manjih tankera uobičajeno iznose između 150 i 200 milimetara, dok kod velikih tanker promjer cjevovoda tereta iznosi 300 milimetara i više. Cjevovodi na tankeru za prijevoz sirove nafte moraju omogućiti istovremeni prekrcaj dva i više tankova. Shema cjevovoda tereta na tankeru „Istra“ Panamax veličine je prikazana na sljedećoj slici.



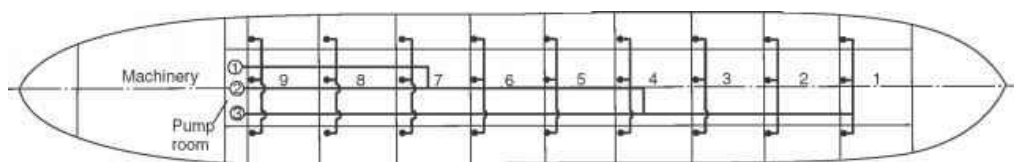
Slika 13. Shema cjevovoda tereta na tankeru „Istra“

Izvor: Podaci iz brodske dokumentacije

Razmještaj i oblik cjevovoda tereta ovisi o tome da li je cjevovod namijenjen prekrcaju tereta preko pumpne stanice ili preko sustava uronjenih pumpi. Sustav prekrcajnih cjevovoda preko pumpne stanice omogućuju veći kapacitet uspoređujući ih sa sustavima prekrcaja pomoću uronjenih pumpi. Cijevi cjevovoda za prekrcaj tereta najčešće se izrađuju od valjanih čelika, lijevanog željeza, te legiranih čelika. Projekt cjevovoda se prije ugradnje

provjerava i odobrava od strane klasifikacijskog društva. Nakon ugradnje cjevovod se testira isto tako od strane klasifikacijskog društva koje odobrava njegovu upotrebu. Isto tako se provode periodični pregledi i testiranja da bi se utvrdilo stanje cjevovoda. Palubni cjevovodi su više izloženi djelovanju morske vode što može uzrokovati koroziju i oštećenje cjevovoda. Kako bi se to spriječilo potrebno je vršiti stalni nadzor te bojanje cjevovoda. Cjevovodi koji se nalaze ispod palube se mogu teže nadzirati te se teže utvrđuju njihova početna oštećenja. Cjevovodi imaju elemente koji produžuju ili mogu skratiti cjevovod kod pojave termičke dilatacije ili pregiba odnosno progibanja broskog trupa.

Glavni cjevovod tereta kod tankera za prijevoz sirove nafte smješten je iznad palube i spojen je na manifold. Služi za ukrcaj i iskrcaj tereta. Glavni cjevovod ima tri linije. Na brodu je spojen na sustav cjevovoda za iskrcaj tereta (sustava preko pumpne stanice, odnosno sustava uronjenih pumpi) ili kod ukrcaja tereta na drop liniju. Na slici koja slijedi dat je prikaz glavne linije kod tankera za prijevoz sirove nafte.



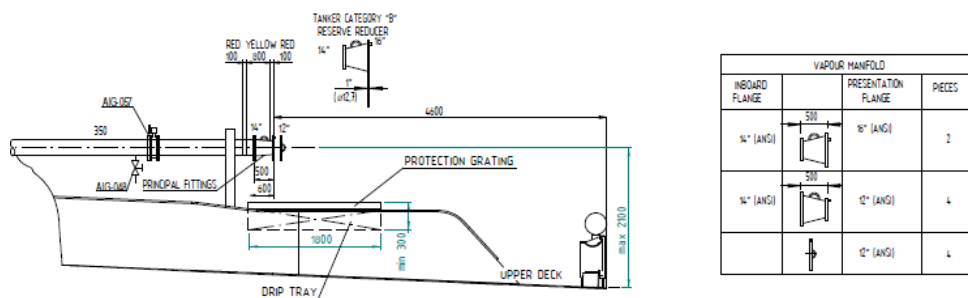
**Slika 14. Shema mainfolda na tankeru za prijevoz sirove nafte**

Izvor: <https://www.beyonddiscovery.org/ship-construction/cargo-pumping-and-piping>

Posušivanje tankova se može vršiti ejektorom, koji je vezan s glavnim cjevovodom iskrcaja tereta ili je za tu namjenu ugrađen dodatni cjevovod koji ima manji kapacitet, obično 20% do 25% kapaciteta kojeg ima glavni cjevovod i koji ima spoj na stapne pumpe

#### **4.2. Priključno mjesto za spoj sa obalom - Mainfold**

Tankeri za prijevoz sirove nafte se s obalnim terminalom spajaju preko mainfolda (priključnog mjesta). Pozicija mainfolda je najčešće na lijevom i desnom boku, približno na polovici duljine broda što omogućava da se brod na terminal može privezati lijevim ili desnim bokom. Neki tankeri za prijevoz sirove nafte mogu imati manifold na krmu i on se koristi kod brodova koji su privezani krmom za obalu u četverovezu. Posebne vrste tankera za prijevoz sirove nafte koje teret prekrcaju na sidrištu imaju mogućnost prekrcaja preko priključnih pozicija na pramcu. Dio brodske opreme čine i redukcije priključaka s brtvama kako bi se brod mogao spojiti na obalni tip priključka koji ne odgovara broskom.



**Slika 15. Shema mainfolda za povrat para na tankeru „Istra“**

Izvor: Podaci iz brodske dokumentacije

Mainfoldi se spajaju na prekrcajne ruke koje moraju bit dobro učvršćene. Prekrcajne cijevi se podižu na brod s manjim dizalicama koje se nalaze s obje strane broda. Mainfoldi su izrađeni od lijevanog željeza. Pored mainfolda tereta se još nalazi i manifold linije koja služi da se pare iz tanka tereta transportiraju na obalu (vapour line) čiji je nacrt za tanker „Istra“ prikazan na slici 15.

### 4.3. Ventili

Za regulaciju protoka sirove nafte te usmjeravanje protoka prema tankovima, odnosno pumpama ili glavnom cjevovodu kod sustava tereta koriste se ventili, zasuni i pipci. Svaki takav ugrađeni element mora biti testiran i odobren od strane klasifikacijskog društva. Prije ugradnje se provjerava nacrtna dokumentacija i materijal gradnje, a nakon ugradnje i njegova funkcionalnost. Također se redovitim pregledima utvrđuje i njihovo stanje.

Izvedbe regulacije ventila mogu biti različite međutim na tankerima za prijevoz sirove nafte mora zadovoljiti stroga pravila sigurnosti i najčešće je:

- pneumatsko,
- hidraulično i
- ručno.

Suvremeni tankeri danas imaju ventile čija se regulacija izvodi pneumatski ili hidraulički zbog same veličine ventila i otpora kojeg treba savladati. Ventilima se upravlja daljinski iz kontrolne sobe. Isto tako postoji mogućnost ručnog zatvaranja direktno na palubi broda.

Ventili su uobičajeno izrađeni od lijevanog čelika, a imaju kućište, poklopac, sjedište, vreteno, jaram, kolo i pladanj. Osnovna podjela ventila je na ventile regulacije

protoka, nepovratne ventile, te prekotlačne ventile. Svi ventili pored redovitih kontrolnih pregleda moraju biti provjereni prije početka ukrcaja ili iskrcaja tereta. Regulacijski ventili se pored zatvaranja i otvaranja mogu koristiti i za regulaciju protoka tekućine. Kod nepovratnih ventila pladanj pumpe se zatvara automatski nakon što je pumpa prestala raditi. Na taj način se sprečava povrat tekućine prema pumpi tereta. Razlog tome je sprečavanje da se tekućina vrati nazad prema pumpi.

Prekotlačni ventili u sustavu tereta omogućavaju snižavanje nastalog nadtlaka u tanku tereta odnosno propuštaju tekućine ili plina kada se u tanku javi prisutnost nadtlaka koji je iznad onoga graničnog. Stvoreni nadtlak iznad graničnog će podići pladanj ventila i propustiti tekućinu ili plin da prolaze kroz izlaz prema ispustu ili povratnom cjevovodu. Kada tlak padne ispod graničnog pladanj ventila će se zatvoriti.

Prekotlačno vakumski ventili na tankerima za prijevoz sirove nafte (P/V) automatskim radom kod pojave previsokog, odnosno preniskog tlaka, sprečavaju moguće oštećenje tanka tijekom prekrcaja kao i tijekom samog prijevoza. Uvlačenje zraka unutar tanka tereta u slučaju otvaranja kod sniženog tlaka u tanku može prouzročiti pojavu zapaljive smjese o čemu posebno treba voditi računa.

Za vrijeme hladnog vremena treba redovito provjeravati da se prekotlačni vakumski ventili ne blokiraju ledenim pokrovom koji bi u tom slučaju onemogućio ispravno funkcioniranje takvih ventila. Odušnici tereta također se mogu blokirati kada se vlažan zrak koji izlazi iz tanka tereta kondenzira i smrzne u gornjem dijelu.

#### **4.4. Pumpe tereta**

Pumpe tereta se mogu opisati kao strojevi koji se koriste za podizanje tereta na višu visinsku razinu, a za pogon koriste određeni energetske pogon. Pumpe se razlikuju prema svojim obilježjima i načinu djelovanja. Kapacitet pumpi tereta kojima se istovremeno mogu biti uključene u iskrcaj tereta je približno 5% korisne nosivosti tankera po satu te tako teoretski daju mogućnost da se tanker iskrca u period manjem od dvadeset sati. Pumpe tereta se mogu nalaziti u pumpnoj stanici ili mogu biti uronjene pumpe.

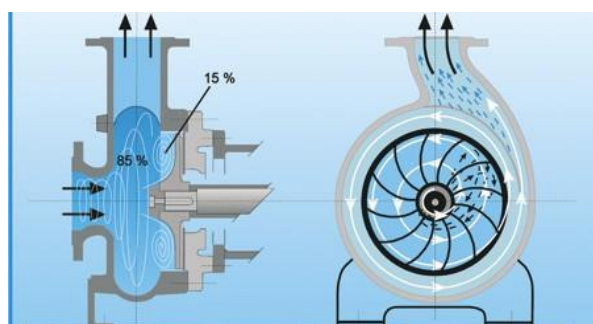
Pumpe tereta koje se nalaze u pumpnoj stanici pogonski dio imaju u strojarnici te vratilom koje prolazi kroz pregradu strojarnice pokreću mehanički dio pumpe. Vratilo prolazi pregradom strojarnice kroz plinsko nepropusnu brtvu kojom se sprečava da pare tereta dospiju u prostor strojarnice.

Uronjene pumpe tereta uobičajeno pogon imaju postavljen na glavnoj palubi, osim u slučaju kada imaju hidraulički pogon. Uronjene pumpe kod kojih je pogon smješten na glavnoj palubi mogu biti pogonjene parom ili el. energijom. Pumpe koje imaju hidraulički pogon pogonski dio se nalazi u nepropusnom kućištu na dnu tanka.

Za manipulaciju teretom se na tankeru za prijevoz sirove nafte koriste sljedeće vrste pumpi:

- centrifugalne pumpe,
- stapne pumpe,
- mlazne pumpe.

Danas se na tankerima za prijevoz sirove nafte uobičajeno koriste pumpe centrifugalnog tipa. Kod centrifugalne pumpe tekućina struji od strane usisa prema tlačnoj strani pomoću centrifugalne sile. Centrifugalna pumpa se sastoji od sljedeći osnovnih elemenata: vratila kojim se spaja pogonski dio i mehanički dio (kućište u kojem se nalazi rotor s lopaticama pumpe). Kućište pumpe na jednom dijelu ima izlaz prema usisnom cjevovodu, a na drugom dijelu ulaz prema tlačnom cjevovodu. Centrifugalne pumpe koje se nalaze u pumpnoj stanici pogonsko vratilo vrti rotor pumpe čije lopatice povlače tekućinu (u ovom slučaju sirovu naftu) iz usisnog cjevovoda i tlače je u tlačni cjevovod. Povećava se brzina tekućine djelovanjem centrifugalne sile tako da se veliki dio pretvara u tlak.



**Slika 16. Osnovni prikaz centrifugalne pumpe tereta**

Izvor: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca\\_esv=558882007&q](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca_esv=558882007&q)

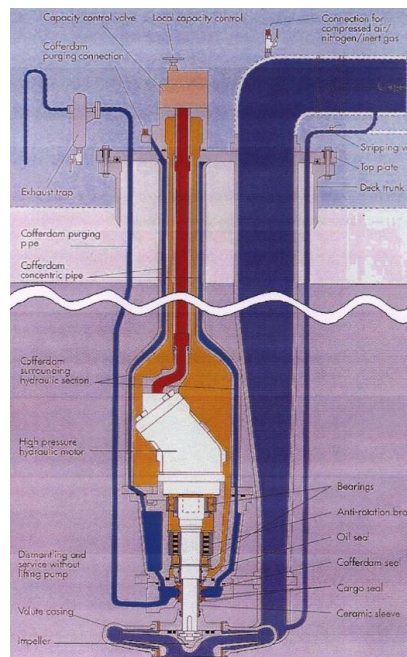
Centrifugalne pumpe moraju biti ispunjene fluidom prije startanja te su iz tog razloga smještene nisko u pumpnoj stanici. Ispunjavanje centrifugalne pumpe može biti na dva načina: koristeći ugrađeni samousisni stroj na sustavu, te na način da se pumpa pokrene, a pri tome se ostavi zatvorenim tlačni ventil. Takvim punjenjem fluida u kućište pumpe stvaraju područja sa zrakom te je potrebno pažljivo prozračivanje sustava. Ventil tlačne strane se otvara kada pumpa postigne zadovoljavajući radni tlak. Također je kod



zaustavljanja pumpe važno postepeno zatvarati ventil na tlačnoj strani te nakon što protok prestane isključuje se pogonski stroj.

Prema vrsti pogona mogu biti parne, hidraulične ili električne. U sustavu manipulacije teretom one se koriste za iskrcaj, transfer tereta i u nekim slučajevima za ukrcaj tereta. One za razliku od stapnih zauzimaju manje prostora. Pravilnim rukovanjem i ozračivanjem postižu vrlo visoke prekrcajne rate. Za tekućine koje imaju veliki viskozitet ove pumpe nisu upotrebljive.

Framo centrifugalna pumpa je hidraulična pumpa uronjivog tipa koja se postavlja na predviđene otvore na palubi. Postoji mogućnost zavarivanja njenog postolja ili da se učvrsti vijcima što znači da se može premještati i koristiti za više tankova. Hidraulički motor se nalazi unutar pumpe smještene na dnu tanka. Pogonski dio hidromotora pumpe se nalazi na palubi. Na sljedećoj slici prikazana je Framo hidraulička pumpa. Tanker „Istra“ ima Framo centrifugalne pumpe kojima se pored iskrcaja izvodi i posušivanje tankova. Trim broda treba bi biti takav da osigurava dobro posušivanje tanka.



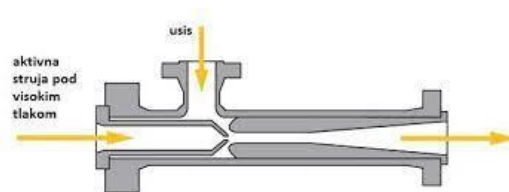
**Slika 17. Framo centrifugalna pumpa tereta**

Izvor: <https://www.rgaamb.top/products.aspx?cname=framo+pumps+on+tanker>

Stapne pumpe se mogu koristiti za iskrcaj tereta te kao pumpe za posušivanje. Danas se rijetko koriste na tankerima za prijevoz sirove nafte kao glavne pumpe tereta već se koriste za posušivanje preostalog tereta zbog ograničenja centrifugalnih pumpi tereta u tom dijelu prekrcajnih operacija. Stapne pumpe su samousisne što znači da nije potrebno da se unutar pumpe nalazi tekućina kako bi se postigao potreban tlak za funkcioniranje pumpe. U stapnim pumpama protok tekućine nije konstantan već se mijenja zbog hoda samog klipa unutar

cilindra pumpe. Stapne pumpe stvaraju protok tekućine od usisnog cjevovoda prema tlačnom cjevovodu uz pomoć stapa. Unutar pumpe stap se linearno pomiče za vrijeme prvog hoda u jednom smjeru i usisava tekućinu iz usisnog cjevovoda te u povratnom hodu tlači tekućinu u tlačni cjevovod. Stapne pumpe imaju ograničen broj okretaja i on iznosi najviše do 300 u minuti. Brzina dobave je, kao i brzina usisa mala, ali se mogu koristiti za veće dobavne visine.

Mlazne pumpe odnosno ejektor se koriste za posušivanje usisnog cjevovoda i tankova tereta. Svaki tank ima odvojeni sustav za posušivanje. Takve pumpe pomoću pogonskog fluida (teret, para, zrak, para, voda u određenim količinama, te odgovarajućeg tlaka i brzine) stvaraju podtlak koji usisava preostalu tekućinu i na taj način posušuju tank. Cjevovod tereta se posušuje na način da ejektor stvara vakum u cijevima. Ejektor posušuje tank na način da se pogonsko sredstvo u sapnicu dovodi pod određenim višim tlakom. Na izlasku iz mlaznice, oko mlaza pogonskog sredstva, nastaje podtlak kojim se preko ulaza na ejektoru usisava dobavni medij. Pomiješani, pogonsko sredstvo i medij dobave, brzinom koja velika ulaze u difuzor. U difuzoru se fluid gubi na brzini, a tlak povećava. Na slici koja slijedi je prikazan ejektor za posušivanje tereta.



**Slika 18. Ejektor za posušivanje tereta**

Izvor: [https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca\\_esv=559191296&q=mlazna+pumpa](https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&sca_esv=559191296&q=mlazna+pumpa)

U slučaju da se posušivanje izvodi ejektorima, a kako svaki tank ima svoj ejektor posušivanje se izvodi odvojeno. Dobavna mješavina fluida se usmjerava prema *slop* tanku. Teret iz *slop* tanka se recirkulira i ponovo se koristi kao pogon ejektora. *Slop* tankovi se kod iskrcaja tereta zadnji iskrcajavu da bi se cijelo vrijeme iskrcaja osigurao medij za pogon ejektora.

## 5. SUSTAV INERTNOG PLINA

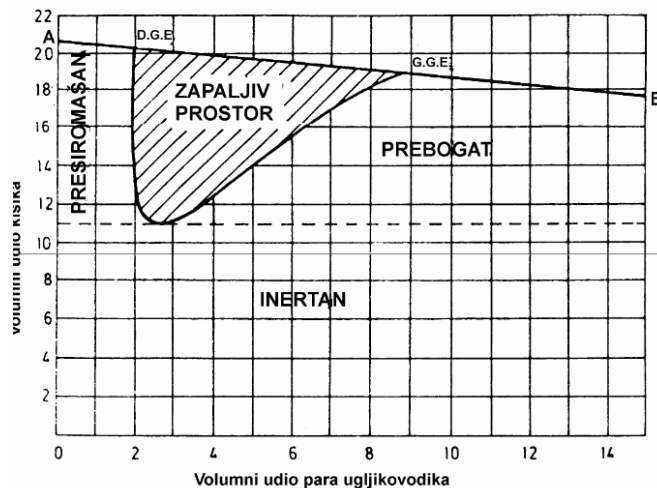
Nezgode koje su dešavale na tankerima za prijevoz sirove nafte, naftnih produkata, ukapljenih plinova i kemikalija uvjetovale su uvođenje sustava inertnog plina. Tijekom prijevoza takvih tereta oslobađaju se eksplozivne pare koje se mogu zapaliti vanjskim izvorom paljenja (iskre koje se pojavljuju kod statičkog elektriciteta, iskre nastale el. strujom ili mehaničkim djelovanjem, tople površine itd.) ili može doći do samozapaljenja (ako se postignu visoke temperature).

Vrlo opasne situacije se mogu pojaviti prilikom prekrcaja tereta sirove nafte. Tada se potrebno pridržavati svih propisanih postupaka koji pored ostalog zahtijevaju uklanjanje svih mogućih izvora paljenja iz zone prekrcaja. Međutim u nekim procesima iskrcaja, kao što je proces pranja sirovom naftom, postoji mogućnost pojave statičkog elektriciteta. Kako bi se spriječila mogućnost nastanka eksplozivne atmosfere uvodi se sustav inertnog plina kojim se kontrolira atmosfera u tanku i ostalim prostorima gdje se postoji potreba. Inertnim plinom se smanjuje koncentracija kisika i na taj način onemogućava proces gorenja odnosno eksplozije.

Postupkom inertiranja se dobiva inertna atmosfera u štíćenom prostoru koju čine u odgovarajućim udjelima inertni plin smjesa para ugljikovodik i kisik. Kako bi se uvidio značaj inertiranja potrebno je analizirati dijagram zapaljivosti.

### 5.1. Dijagram zapaljivosti

Pare koje se pojavljuju iznad površine sirove nafte su pare ugljikovodika. Udio određenog ugljikovodika ovisi o vrsti sirove nafte, tlaku koji se javlja i temperaturi. Kod dijagrama zapaljivosti potrebno je definirati tri točke (donja granica eksplozivnosti, gornja granica eksplozivnosti i stehiometrijsku koncentraciju). Donja granica eksplozivnosti se definira kao koncentracija smjese para u zraku sa najnižim udjelom kod koje može nastati eksplozija uz izvor paljenja. Gornja granica eksplozivnosti se može definirati kao koncentracija smjese para u zraku s najvišim udjelom pri kojoj još može nastati eksplozija. Stehiometrijska koncentracija je definirana kao ona koncentracija smjese para pri kojoj je eksplozija najjača. Smjesa para sirove nafte ima donju granicu eksplozivnosti kod 2% pare ugljikovodika i 20,4% kisika. Gornja granica eksplozivnosti je kod udjela od 9% para ugljikovodika i udjela od 19% kisika. Izvan ovih granica smjesa para je „presiromašna“ odnosno prebogata te neće doći do eksplozije. Na prikazu koji slijedi dat je dijagram zapaljivosti.



**Slika 19. Dijagram zapaljivosti**

Izvor: Kurtela Ž., Osnove brodstrojarstva“, Veleučilište u Dubrovniku, Dubrovnik, 2000.

Inertnim plinom koji se uvodi u štice prostora dolazi do smanjenja sadržaja kisika kao važnog faktora trokuta gorenja odnosno eksplozivnosti. Kada se postotak kisika smanji na razinu od ispod 11% do eksplozije više ne može doći zbog njegove premale količine.

Isto tako ako se u smjesi para nalazi manje od 2% para ugljikovodika, a bez obzira na udio kisika do eksplozije neće doći. Ako je koncentracija para ugljikovodika približno 9% do eksplozije neće doći.

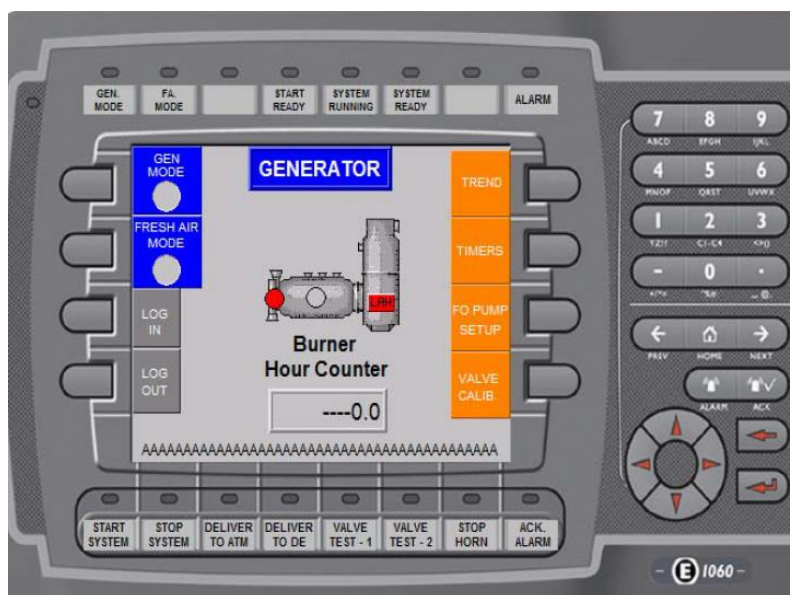
## 5.2. Dobivanje inertnog plina

Osnovna definicija za inertni plin bila da je to plin koji ne podržava gorenje. Najbolji inertni plin je dušik kojeg u zraku ima 70,8%. Dušik se kao inertni plin može koristiti za sve vrste tereta, međutim proizvodnja dušika je vrlo skupa. Inertni plin koji se doprema u teretne tankove prema IMO zahtjevima mora imati nadtlak 200 do 600 mm stupca vode, manje od 8% kisika te temperaturu manju od 50°C. Prihvaća se da inertni plin sadrži manje udjele sumpornog dušika, vlage i nečistoća. Plin navedenih obilježja se na brodu može dobiti izgaranjem goriva u generatoru inertnog plina ili uzimanjem i prečišćavanjem ispušnih plinova iz dimovoda koji nastaju radom brodskih strojeva. Također treba spomenuti da se inertni plin može dobiti frakcijskom destilacijom iz zraka. Tim procesom se može dobiti čisti dušik. Međutim proizvodnja takvog dušika je vrlo skupa i čisti dušik se ne koristi za inertiranje na tankerima za prijevoz sirove nafte. Tanker „Istra“, kako se radi o višenamjenskom tankeru, inertni plin dobiva pomoću generatora za proizvodnju inertnog plina. Brod „Istra“ ima fiksnu instalaciju inertnog plina koja se sastoji od: generatora

inertnog plina, dva ventilatora, glavni i pomoćni ogranci inertnog plina, vodena brtva na palubi, P/V ventila, te elektroničke kontrole i automatizacija. Cjelokupni sustav inertnog plina na tankeru „Istra“ se može razmatrati kroz dva osnovna podsustava:

- proizvodno postrojenje za proizvodnju inertnog plina i njegovu isporuku pod pritiskom sredstvom puhala, do tankova tereta.
- distribucijski sustav za kontrolu protoka inertnog plina u odgovarajuće tankove tereta u traženo vrijeme.

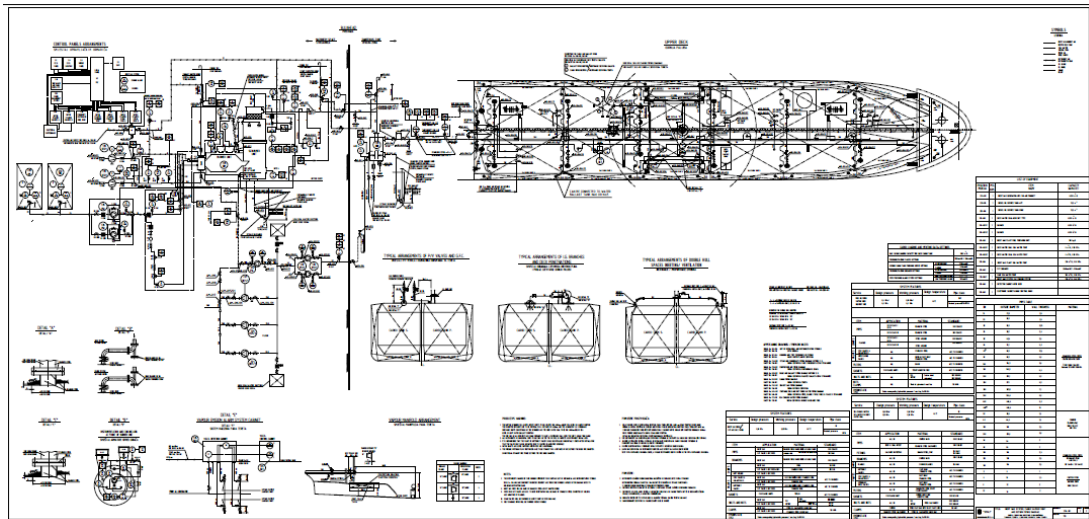
Generator inertnog plina na tankeru „Istra“ je automatiziran i koristi brodski dizel za izgaranje. Dobiveni inertni sadrži između 2% do 6% kisika. Kapacitetom je generator predviđen za inertiranje svih teretnih tankova pri maksimalnoj stopi iskrcaja od 3300 m<sup>3</sup>/h (6 teretnih pumpi). Ugrađena su dva ventilatora za dovod plina u tankove tereta i svaki od njih pokriva 100% proizvodnje generatora. Na slici koja slijedi prikazan je osnovni prikaz na displeju za upravljanje sustavom inertnog plina tankera „Istre“.



**Slika 20. Osnovni prikaz na displeju za upravljanje sustavom inertnog plina tankera „Istra“**

Izvor: Podaci iz brodske dokumentacije

Inertni plin se distribuira u tankove tereta pomoću ogranaka spojenih na glavni cjevovod inertnog plina. Svaka grana cjevovoda sadrži ventil tako da bilo koji spremnik može biti izolirani od ostalih. Vodena brtva na palubi i nepovratni ventil sprječavaju povratni tok ugljikovodičnih plinova iz tankova tereta, čime se izbjegava potencijalna opasnost. P/V ventili sprječavaju pojavu nadtlaka te podtlaka u tankovima. Sustav inertnog plina na tankeru „Istra“ prikazan je na sljedećoj slici.



**Slika 21. Shema sustava inertnog plina na tankeru „Istra“**

Izvor: Podaci iz brodske dokumentacije

### **5.3. Postupak inertiranja na brodovima za prijevoz sirove nafte**

Sustavima inertiranja zaštita od eksplozije u tankovima tereta se ostvaruje uvođenjem inertnog plina kako bi se postigla niska udio kisika i reducirala koncentracija eksplozivnih smjesa plinova ugljikovodika na sigurnu razinu, te time ostvarila inertna atmosfera u tankovima. Inertiranjem bi se razine kisika trebala smanjiti ispod 8%. Uobičajeno se u praksi koncentracije kisika smanjuje na 3-5%. Održavanje atmosfere inertiranjem u tankovima tekućeg tereta vrlo je važno tijekom prijevoza te prekrcaja tereta. Tijekom plovidbe u tankovima se održava lagani nadtlak (0,2 bara) inertnim plinom kako zrak (kisik) iz okoline ne bi ulazio u prostor tereta. Kod iskrcaja volumen tanka se, prateći iskrcaj tereta, ispunjava inertnim plinom. Kod ukrcaja teret istiskuje mješavinu inertnog plina i para tereta iz tanka. Nekada se ta mješavina para tereta i inertnog plina ispuštala u atmosferu, dok se danas posebnom linijom predaje terminalu. Tankeri nosivosti iznad 20.000 tona te tankeri na kojima se upotrebljava sustav pranja tankova sirovom naftom moraju imati ugrađen sustav za inertiranje. Na brodovima koji prevoze sirovu nafte inertiranje tankova se može izvoditi:

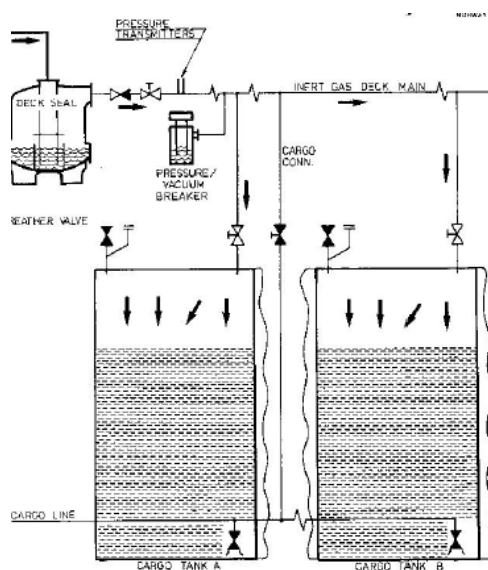
- sustavom koji vrši inertiranje potiskivanjem para, te
- sustavom koji vrši inertiranje miješanjem inertnih plinova i para tereta.

Kod metode inertiranja tanka tereta potiskivanjem, inertni plin ulazi u tank jako malo brzinom kako ne bi došlo do nekontroliranog miješanja inertnog plina i para tereta. Kod ove metode se zahtjeva više od jedne izmjene volumena tanka tereta. Ova metoda je dobra u

tome što je potrebna manja količina inertnoga plina te omogućuje istovremeno inertiranje više tankova tereta. Inertni plin je lakši od para tereta te ga lagano potiskuje prema dnu tanka. Kroz otvore na dnu tanka pare tereta izlaze u atmosferu. Mjerenje udjela kisika se izvodi na otvorima kroz koje izlaze pare tereta. Kada se utvrdi da je udio kisika manji od 8% (odnosno u praksi 5%) tank tereta je zadovoljavajuće inertiran.

Kod metode inertiranja miješanjem inertirani plin u teretni tank ulazi velikom brzinom. U tanku se miješaju inertni plin i zapaljive pare tereta. Brzina inertnog plina mora omogućiti da inertni plin doprije do dna tanka. U procesu miješanja, pojavljuje se smjesa inertnog plina i zapaljivih para koja je homogena. Smjesa izlazi kroz odušnik na vrhu tanka. Koncentracija para u smjesi koja je eksplozivna se postepeno smanjuje kao se provodi inertiranje. Metodom miješanjem može se istovremeno inertirati manje tankova nego što je to metodom potiskivanja jer je u ovom slučaju potrošnja inertnog plina veća. Tijekom inertiranja tankova miješanjem također se zahtjeva mjerenje sadržaja kisika i eksplozivnih para. Mjerenja je potrebno provoditi na nekoliko mjesta u tanku.

Za mjerenje udjela kisika kod obje metode inertiranja je potrebno koristiti kalibrirani mjerni instrument. U slučaju kada mjerenja kod metode inertiranja miješanjem pokazuju da je koncentracija kisika na dnu tanka veća nego u gornjim dijelovima tanka tereta potrebno je povećati brzinu strujanja inertnog plina. Kod takvih situacija prekida se inertiranje dva ili više tankova istodobno i nastavlja se samo s inertiranjem samo jednog tanka. Na slici koja slijedi prikazan je postupak inertiranja tijekom iskrcaja kod tankera „Istra“.



**Slika 22. Inertiranje tijekom iskrcaja na tankeru „Istra“**  
Izvor: Podaci iz brodske dokumentacije

Na tankeru „Istra“ inertiranje tankova tereta se provodi metodom miješanja. Prema uputama danim za rukovanje sustavom zahtijeva se veliku brzinu plina na ulazu u tank tereta kako bi inertni plin dospio do dna tanka i spriječio stvaranje opasnih džepova. Također se zahtijeva inertiranje najviše dva spremnika istodobno kako bi se postiglo zadovoljavajuće miješanje inertnog plina i para tereta.



## 6. POSTUPCI PRI MANIPULACIJI SIROVOM NAFTOM

Pripreme broda za prekrcajne operacije (ukrcaj ili iskrcaj tereta) započinju prije dolaska broda na terminal kako bi se postigla potrebna razina sigurnosti. Pored pripreme broda i terminal mora poduzeti potrebne mjere kako bi brodu omogućio siguran prihvata i boravak na terminalu. Kako bi se ti zahtjevi uskladili na međunarodnoj razini donesen je International Safety Guide for Oil Tankers & Terminals (ISGOTT) je priručnik koji daje preporuke za tankere i osoblje terminala kod rukovanja sirovom naftom i produktima na siguran način. Priručnik je nastao tako da su se spojila dva zasebna priručnika (TankerSafety Guide i International Oil Tanker and Terminal Safety Guide). Priručnik pokriva postupke vezane uz prihvata broda na terminalu te manipulaciju teretom i ne odnosi se na dizajn i konstrukciju brodova i terminala već samo pokriva postupke. Priručnik je podijeljen u dva djela. U prvom dijelu su dati postupci za izvođenje aktivnosti na terminalu i brodu na siguran način, dok su u drugom dijelu dati tehnički detalji i pojašnjenje postupaka.

Brodarsko društvo je dužno na brod dostaviti priručnik za operacije s teretom u kojem su dana uputstva kako se na siguran način izvodila manipulacija teretom i balastom te inertiranje i pranje tankova. Također brodarsko društvo dostavlja brodu naputke za siguran boravak i operacije s teretom u skladu s zahtjevima ISGOTTA-a. Polazeći od zahtjeva priručnika ISGOTT brod prije dolaska u luku razmjenjuje sve potrebne informacije s terminalom. Prvi časnik broda i odgovorna osoba terminala popunjavaju sigurnosne kontrolnu listu Brod/Obala i Obala/Brod. Koristeći liste provjere brod se u potpunosti priprema za dolazak na terminal i operacije prekrcaja tereta. Danas gotovo svi terminali daju najvažnije podatke na svojim web stranicama, a također uvijek postoji mogućnost da se nejasnoće otklone dostupnim sredstvima komunikacije.

Prvi časnik na brodu je zadužen za manipulaciju teretom te on priprema planove ukrcaja ili iskrcaja tereta, debalastiranja ili balastiranja, posušivanja tankova u slučaju iskrcaja, operacije vezano uz sustav inertnog plina, te pranje tankova nakon iskrcaja. Također je potrebno izvršiti potrebne pripreme vezano uz mainfold, te dizalicu.

Danas se sprečavanju onečišćenja s brodova, posebno tijekom prekrcajnih operacija daje veliki značaj. Visina brodske ograde koja je nepropusna (od 25 do 40 cm) onemogućava izlivanje nafte u more te je usmjerava prema *slop* tankovima. Kao sirova nafta ne bi s palube (u slučaju izlivanja na palubu) dospjela u more kroz palubne odvode potrebno je na njih postaviti čepove.

Protupožarna oprema mora biti postavljena u skladu s predviđenim planom kod ukrcaja odnosno iskrcaja tereta. Na pramcu i krmu se postavljaju posebna užad za tegljenje

koja se po boku spušta do razine mora. Bitna mjera predostrožnosti je i spajanje kabela s uzemljenjem kako bi se umanjila moguća razlika naboja elektriciteta između obale i broda čime se sprečava iskrenje pri spajanju ili odvajanju cijevi za prekrcaj tereta. Manipulacija fleksibilnih cijevi koje se spajaju na mainfold se vrši s brodskom dizalicom. Prirubnice se moraju spojiti sa svim vijcima kako bi se osigurao siguran spoj. Također brod mora biti sigurno vezan na terminalu kako ne bi došlo do pomicanja broda koji bi mogli utjecati na sigurnost prekrcajnih ruku. U tankovima tereta ne smije biti ostataka od prethodnog tereta te moraju biti inertirani tijekom iskrcanja tereta.

Vrlo je važno da je brodska posada kao i osoblje terminalu u potpunosti spremno za prekrcajne operacije. Prvi časnik palube i odgovorna osoba terminala dogovaraju početak i tok prekrcajnih operacija kao i način komunikacije za vrijeme boravka broda na terminalu.

### **6.1. Ukrcaj tereta**

Ukrcaj tereta ne može započeti prije nego što se utvrdi da li su otvoreni odušnici za ventilaciju tankova, ventili tankova tereta u koje se krca sirova nafta, te se izvodi potrebna priprema za mjerenje visine od razine tekućine do svoda tanka (Ullage). Najprije se otvaraju ventili broda, a nakon toga postepeno i ventili terminala. Na početku ukrcanja izvodi se provjera sustava ukrcanja te je brzina protoka relativno mala. Nakon što izvršene potrebne provjere i utvrđeno da svi segmenti ukrcanja zadovoljavaju započinje se s dogovorenom ratom ukrcanja (količina tereta ukrcanu u jedinici vremena).

Ukrcaj se izvodi prema unaprijed pripremljenom planu te je potrebno pratiti redoslijed ukrcanja i planiranih količina. Za svaki segment ukrcanja potrebno je poznavati stabilnost i naprezanje brodske konstrukcije. Paralelno s ukrcanjem tereta izvodi se iskrcanje balasta.

Prema planu je navedena razina tekućine u tanku kod koje započinje završna faza ukrcanja tereta za svaki tank. U završnoj fazi ukrcanja brzina ukrcajne rate se smanjuje na približno 1/3 predviđene maksimalne brzine ukrcanja. O početku završne faze ukrcanja se obavještava terminal kako bi osoblje terminala prilagodilo ukrcajnu ratu. Uobičajeno se završavaju paralelno po dva tanka. Zaduženi član posade prati *ullage* određenog tanka i o tome preko mobilne stanice obavještava prvog časnika koji koordinira ukrcanje. Brzina protoka tereta se smanjuje kako se tankovi nadopunjavaju. Kod nadopunjavanja zadnjeg tanka brzina ukrcanja je vrlo mala (približno 1/10 normalne rate ukrcanja) kako bi se izbjeglo

prelijevanje. U toj fazi ukrcaja osoblje terminala mora biti pripravno za zaustavljanje ukrcaja.

Redoslijed zatvaranja ventila kod završetka ukrcaja je isto tako unaprijed dogovoren. Najprije se zatvaraju ventili terminala, a nakon pražnjenja priključnog cjevovoda i ventili broda. Također se očitavaju gazovi broda na pramcu, krmu te na sredini broda. Polazeći od *ullaga* u svakom tanku i temperature tereta računa se količina ukrcanog tereta.

Zbog ekspanzije tereta uslijed povećavanja temperature tereta maksimalno se dozvoljava ukrcaj do 98% kapaciteta tanka, zbog ekspanzije tereta kod povećavanja temperature tijekom prijevoza. Alarm u obliku svjetlosnih i zvučnih signala se javlja kada razina tereta u tanku dosegne zadanu razinu. Pred kraj ukrcaja teret se ukrcava smanjenom ratom. Prvi časnik palube prati završetak ukrcaja iz kontrolne sobe za teret ali se ukrcaj mora pratiti i na palubi. Na palubi završetak ukrcaja prate drugi i treći časnik palube i oni preko mobilne stanice o svemu obavještavaju prvog časnika. Nakon završetka ukrcaja i posušivanja cjevovoda odvajaju se prekrajne ruke. U slučaju kada se podaci o ukrcajnoj količini tereta razlikuju od podataka broda piše se protest.

## **6.2. Iskrcaj tereta**

Prvi časnik radi plan iskrcaja kojeg odobrava zapovjednik broda vodeći pritom računa o obilježjima terminala na kojem će se vršiti iskrcaj tereta. Plan iskrcaja mora sadržavati sve bitne podatke o teretu i opremi koja će se koristiti tijekom iskrcaja te redoslijedu operacija.

Spajanje obalnih ruka na mainfol započinje nakon što se brod sigurno privezao. Posada se tijekom iskrcaja mora pridržavati propisanih postupaka koje su date od strane brodarskog društva. Sigurnost na terminalu je na prvom mjestu, ali treba biti zadovoljena i učinkovitost iskrcajnih operacija. Ova dva bitna faktora ovise o suradnji, komunikaciji i koordinaciji između terminala i broda. Prvi časnik i odgovorna osoba terminala dogovaraju sve segmente iskrcaja tereta i zajedno ih nadziru.

Vještaci za nadzor tereta izvode početni pregled tereta. *Ullage* se najčešće mjeri ručno (sa sondom) kao najpouzdaniji način. Mjeri se temperatura tereta i uzima početni uzorak tereta, te određuje količina vode. Nakon izvršenih mjerenja proračunskom metodom se određuje količina tereta. Nakon prihvaćenja proračuna o količini tereta iskrcaj može započeti te brod i terminal započinju s otvaranjem odgovarajućih ventila. Ventili mainfolda i pokretanje pumpi započinje nakon ponovne provjere spoja brod kopno te poduzetih svih

protupožarnih mjera te mjera sprečavanja onečišćenja uljima. Nakon obavijesti brodu da je terminal spreman za prihvatanje tereta te da je sustav za inertiranje pripravan započinje iskrcaj tereta. Pumpe tereta nakon što su zagrijane postupno započinju s radom uz prethodno otvaranje odgovarajućih ventila. Na početku iskrcaja pumpe rade manjim kapacitetom kako bi se utvrdila ispravnost sustava iskrcaja tereta. Nakon toga se pumpe i ventili postave na radni kapacitet kako bi se postigle ugovorene rate iskrcaja. Balastiranje broda prati tijekom iskrcaja. Operacija iskrcaja započinje od pramčanih tankova prema krmi kako bi se postigao zatežan brod radi lakšeg iskrcaja i posušivanja. Cijelo vrijeme iskrcaja je potrebno održavati stanje zatežan brod zbog boljeg rada pumpi.

Kada razina u tanku omogući pranje tankova i terminal odobri započinje se s pranjem tankova sirovom naftom prema unaprijed pripremljenom planu.

Posušivanje cijevi se izvodi ejektorima ili stapnim pumpama. Sadržaj iz ejektora se odvodi u taložne tankove. Nakon toga se zaustavlja inertiranje tankova. Ova faza označava završetak iskrcaja terminal i o tome se obavještava terminal. Posada i djelatnici terminala započinju s odvajanjem prekrcajnih ruku od mainfolda.

Kod iskrcaja ipak ostane nešto malo tereta po tankovima. Taj ostatak je potrebno odrediti i on se unosi u službeno izvješće. Količina koja je ostala ovisi o mogućnosti sustava posušivanja, ali i o znanju i iskustvu prvog časnika palube.

## 7. ONEČIŠĆENJE SIROVOM NAFTOM

Manipulacija sirovom naftom nosi rizik od onečišćenja. Posljedice onečišćenja velikih razmjera su katastrofalni po floru i faunu, ali indirektno imaju učinak na ljude i njihove djelatnosti vezane uz more. Onečišćenje sirovom naftom s tankera "Prestige" ispred Španjolske obale 2002. godine izazvalo je veliki pomor ribe. Prema istraživanjima 8 grama nafte je dovoljno da onečisti 1m<sup>3</sup> mora. Radi zaštite okoliša, kao i sprečavanja djelovanja takvih onečišćenja na ljudsku zajednicu Međunarodna pomorska organizacija (IMO) je donio veći broj konvencija od kojih je najvažnija Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova (MARPOL).

Uzroci onečišćenja teretom sirove nafte mogu biti različita. Prema istraživanjima kao najbrojnije se mogu navesti:

- oprema koja može biti neispravna ili se njome krivo rukuje,
- ne pridržavanje propisanih postupaka bilo od posade ili terminala,
- ljudski faktor kao vrlo bitan čimbenik,
- nedostatak znanja, uvježbanosti i usklađenosti posade, kao i osoblja terminala.

Međunarodni i nacionalni propisi u ovom segmentu imaju za cilj sprečavanje onečišćenja mora i posljedica koje pri tome mogu nastati. Danas se veliki zahtjevi postavljaju ispred brodarskog društva i posade broda, a također je i nadzor brodova puno stroži i učinkovitiji tako da se situacija znatno poboljšala. Međutim isto tako ako dođe do bilo kakvog onečišćenja posada mora znati postupke u takvim situacijama.

### 7.1. Metode čišćenja

Čišćenje uljnih onečišćenja na moru ne provodi brodska posada, bilo da je brod privezan u luci ili je u plovidbi bez odobrenja obalnih vlasti. Brod sa svojom opremom može sanirati manja uljna onečišćenja, međutim najčešće to rade specijalizirana društva. Posada broda mora znati postupke, imati odgovarajuća znanja i biti uvježbana, ali ona najčešće djeluje na načina da umanja opseg onečišćenja.

Metode uklanjanja uljnih onečišćenja možemo općenito podijeliti na:

- mehaničku metodu,
- metodu spaljivanjem,
- kemijske i biološke metode.

Mehanička metoda čišćenja bi bila ograđivanje plutajućim branama ili u nedostatku brana ograđivanje plutajućim konopcima. Nakon toga se područje čisti određenom vrstom sakupljača ulja (plovila opremljena za prikupljanje ulja i druga sredstva namijenjeni za uklanjanje ulja s površine mora). Ulje se s površine mora može ukloniti uljnim upijačima (absorbentima) koji spadaju u materijale koji upijaju ulje i odbijaju vodu.

Tehnika spaljivanja (in-situ) je tehnika paljenja velikih količina nafte s površine mora. Ova tehnika se koristi se kad je u kratkom razdoblju potrebno smanjiti obujam nafte. Gorenje je kontrolirano. Kod ove vrste spaljivanja ulje na površini mora se hvata na vatrootpornu plutajuću branu koju vuku dva broda.

Uljna onečišćenja se također mogu sanirati raspršivanjem kemijskih sredstava kao što su demulgatori (služe za razbijanje emulzije ulja) i bio razgradnjom upotrebljavajući bioagense. Demulgatori ulja (disperzanti) su kemijska sredstva čije je djelovanje identično kao i deterdženta za suđe. Stvaraju se uljne kapljice koje su dodatno otežane pa tonu.

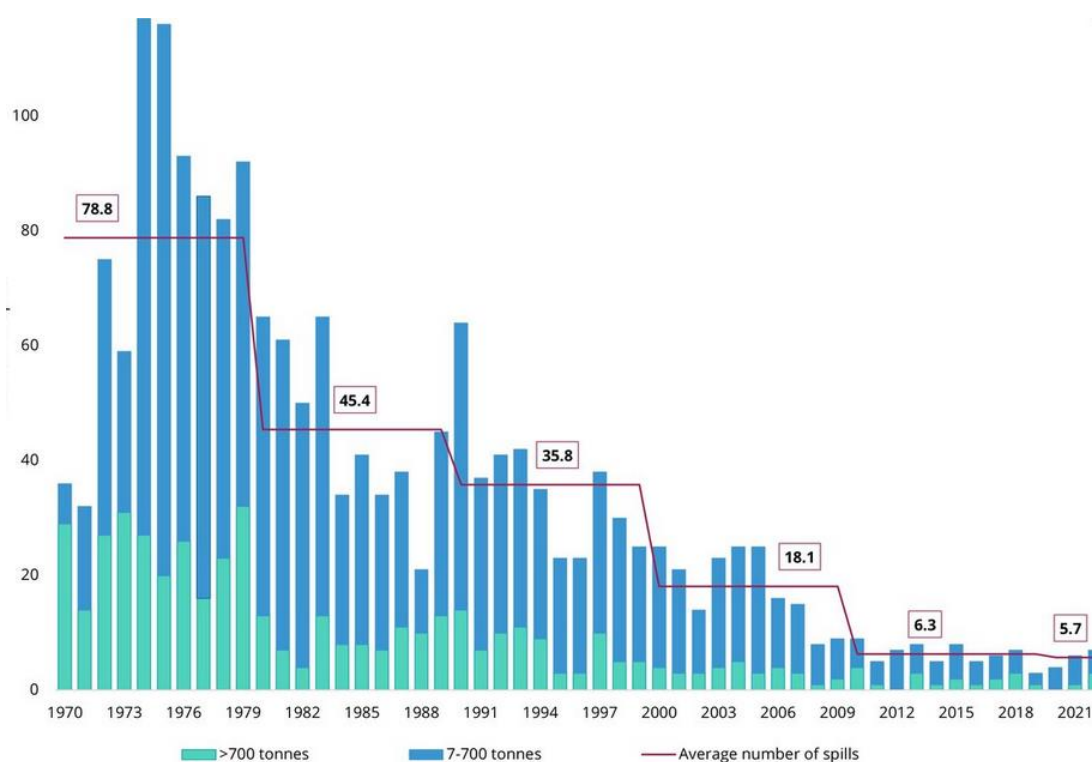
Najprihvatljivija je metoda biorazgradnje. Nafta se pod utjecajem biološkog djelovanja razgrađuje na jednostavne sastojke kao što su ugljikov oksid, voda i biomasa. Biološku razgradnju se može potaknuti utjecajem gljivica, bakterija ili pljesni. Prema istraživanjima miješana zajednica mikroorganizama može razgraditi do 97% sirove nafte. Danas se u razgradnji sirove nafte koriste i posebno modificirane vrste bakterija koje u relativno kratkom vremenu mogu u potpunosti razgraditi uljno onečišćenje.

## **7.2. Statistika incidenta sa sirovom naftom**

Prema podacima neprofitne organizacije International Tankers Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) onečišćenja mora sirovom naftom nisu česta i puno su manja nego unazad tridesetak godina. ITOPF održava bazu podataka o izlivanju nafte s brodova, uključujući kombinirane brodove i teglenice. Baza sadrži podatke o slučajnom izlivanju sirove nafte od 1970. godine, osim onih koji su rezultat ratnih djelovanja. Podaci se čuvaju, a sadrže mjesto i uzrok incidenta, uključeno plovilo, vrstu prolivene nafte i količinu izlivanja. Iz povijesnih razloga, izlivanja su općenito kategorizirana prema veličini, <7 tona, 7-700 tona i >700 tona iako se stvarna izlivena količina također bilježi. Trenutno su u bazi pohranjeni podaci za više od 10 000 incidenata, od kojih velika većina spada u najmanju kategoriju, tj. <7 tona.

Prema podacima ITOPF-a u 2022. godinu zabilježena su tri velika izlijevanja (>700 tona) i četiri srednja izlijevanja (7-700 tona). Dva velika izlijevanja dogodila su se u Aziji, a jedno u Africi. Srednja izlijevanja dogodila su se u Sjevernoj Americi, Aziji i Africi. Time prosjek u ovom desetljeću iznosi gotovo 6 izlijevanja (>7 tona) godišnje. To je na razini prosjeka za 2010. godinu.

Tijekom proteklih pola stoljeća, statistički gledano učestalost izlijevanja većih od 7 tona iz tankera pokazala je izražen trend pada. Na slici koja slijedi je prikazan trend izlijevanja od 1970. godine do 2021. godine.

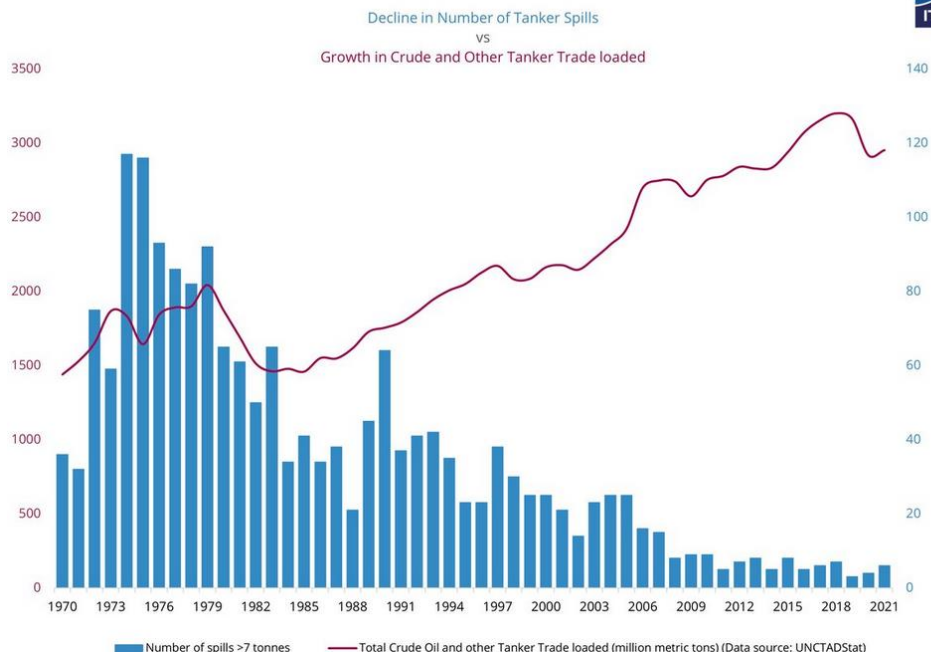


**Slika 23. Trend izlijevanja od 1970. godine do 2021. godine**

Izvor: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>

Prosječan broj izlijevanja godišnje u 1970-ima bio je približno 79. Broj izlijevanja se smanjio za više od 90% (6 u prosjeku) u 2010-ima i ostaje na približno istoj razini i u ovom desetljeću.

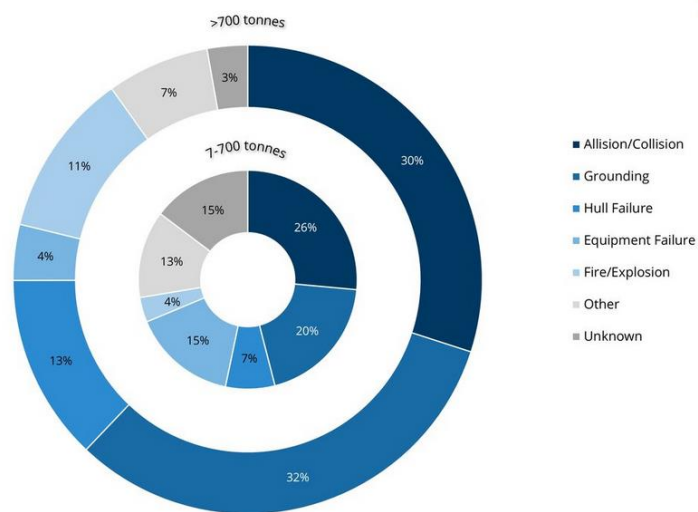
Povećani promet tankera u svijetu podrazumijeva i veći rizik od onečišćenja sirovom naftom. Na slici koja slijedi je prikazana usporedba trgovine sirovom naftom i broj izlijevanja.



**Slika 24. Usporedba broja izlijevanja i prometa sirovom naftom**  
 Izvor: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>

Primjećuje se silazni trend izlijevanja unatoč ukupnom porastu trgovine naftom tijekom promatranog razdoblja.

Na slici koja slijedi dat je prikaz udjela uzroka izlijevanja ulja prema podacima ITOPF-a za razdoblje od 1970. do 2022. godine.



**Slika 25. Uzroci izlijevanja ulja**  
 Izvor: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>



Većina izlivanja nafte (>7 tona) zabilježenih između 1970. i 2022. uzrokovana su sudarima/udarima i nasukanjima.

### **7.3. Brodski plan u slučaju onečišćenja**

Svaki tanker od 150 BT i veći i svaki trgovački brod od 400 BT i veći moraju posjedovati brodski plan u slučaju opasnosti od onečišćenja uljem (SOPEP). Plan je na brod dužno dostaviti brodarsko društvo i mora sadržavati sve podatke i postupke u slučaju opasnosti od onečišćenja uljem. Plan se ne može mijenjati bez odobrenja klasifikacijskog društva. Zapovjednik broda je također u predviđenim terminima dužan održavati vježbe kako bi posada čim bolje znala svoje zadaće u slučaju opasnosti od uljnog onečišćenja.

Za svaku održanu vježbu potrebno je napraviti izvještaj u pismenom obliku te isto tako upisati vrijeme održavanja vježbe u brodski dnevnik. Izvješće o održanoj vježbi se prilaže u posebnu mapu. Također ga treba dostaviti u upravu brodarskog društva. Svaki član posade bi u skladu s brodskim planom morao znati svoje dužnosti.

## 8. ZAKLJUČAK

Sirova nafta i njeni produkti zauzimaju značajno mjesto u pomorskom prometu. Vrste sirovih nafti se mogu značajno razlikovati prema svojim obilježjima što ovisi o lokaciji njihova nalazišta, odnosno sastavu. Pri prijevozu morem potrebno je poznavati svojstva sirove nafte kao što su temperatura, gustoća i viskozitet, točka magljenja i točku sitnjanja kao bi mogli odrediti količinu sirove nafte, te omogućila njena protočnost.

Tankereri za prijevoz sirove nafte predstavljaju najveće brodove koji plove svjetskim morima. Građeni su po uzdužnom sustavu gradnje. Prostor tereta je razdijeljen uzdužnim i poprečnim nepropusnim pregradama u više bočnih te centralnih tankova kod velikih tankera dok kod manjih tankera imamo po dva tanka u poprečnom smislu broda. Suvremeni tankereri imaju dvostruku oplatu ili središnju palubnu konstrukciju tako da se u slučaju većih oštećenja trupa izbjegnu moguća izlivanja i štetan učinak na okoliš.

Transport sirove nafte morem vezan je uz tržišnu potražnju za sirovom naftom koja je uvjetovana nizom čimbenika. Početkom 2023. ukupan broj tankera je iznosio 16.962 broda. Imali su ukupno imali 786,7 miliona tona nosivosti. U istom razdoblju tankera za prijevoz sirove nafte bilo je 8445 i ukupno su imali 565,2 miliona tona nosivosti.

Dolaskom na terminal brod mora biti spreman za obavljanje prekrcajnih operacija. Koristeći liste provjere „brod – terminal“ i liste provjere „terminal – brod“ utvrđuje se spremnost broda i terminala za prekrcaj tereta. Sustav cjevovoda svojim obilježjima mora zadovoljavati ne samo mjere sigurnosti već omogućiti učinkovit prekrcaj tereta. Sustav ventila osigurava željeni protok i smjer sirove nafte, te isto tako i mogućnost zaustavljanja prekrcajnih operacija u slučaju bilo koje opasnosti. Sustav pumi koji čini bitan segment sustava prekrcaja tereta. Uobičajeno se pumpe koriste kod ukrcaja tereta, iako se u slučaju potrebe mogu koristiti i kod iskrcaja tereta.

Uvođenje sustava inertnog plina uvjetovale su nezgode koje su dešavale na tankerima za prijevoz sirove nafte, naftnih produkata, ukapljenih plinova i kemikalija. U šticienom prostoru se procesom inertiranja dobiva inertna atmosfera i na taj način onemogućava stvaranje eksplozivne atmosfere. Razine kisika bi se inertiranjem trebala smanjiti ispod 8% sukladno konvenciji, dok se u praksi razine kisika se uobičajeno smanjuje na 3-5%.

Brodarsko društvo je dužno na brod dostaviti svu potrebnu dokumentaciju za operacije s teretom i balastom te za inertiranje i pranje tankova. Brodska posada kao i osoblje

terminala trebaju u potpunosti biti spremni za prekrcajne operacije. Prvi časnik palube i odgovorna osoba terminala dogovaraju početak i tok prekrcajnih operacija.

Rizik od onečišćenja postoji i u slučaju manipulacija sirovom naftom. Posada broda mora imati određena znanja i vještine za djelovanje u slučaju onečišćenja uljem, a najčešće djeluje na načina da umanja opseg onečišćenja. Prema podacima neprofitne organizacije International Tankers Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) onečišćenja mora sirovom naftom nisu česta i puno su manja nego unazad tridesetak godina. U posljednjem desetljeću u prosjeku bude nekoliko značajnijih onečišćenja uljem godišnje.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Sustav cijevi (tzv. „serpentina“) za grijanje tereta.....	5
Slika 2. Framo palubni grijač.....	5
Slika 3. Areometar.....	6
Slika 4. Generalni plan tankera „Istra“.....	8
Slika 5. Jedrenjak "Gluckauf".....	10
Slika 6. Tanker „Gloptik Tokio“.....	11
Slika 7. Plan kapaciteta tankera „Istra“.....	12
Slika 8. Broj brodova svjetske flote prema vrsti brodova u siječnju 2023.....	13
Slika 9. Ukupna nosivost svjetske flote prema vrsti brodova u siječnju 2023.....	13
Slika 10. Razdioba vrste tankera prema broju brodova u siječnju 2023.....	14
Slika 11. Slika 11. Razdioba vrste tankera po nosivosti u siječnju 2023.....	14
Slika 12. Spajanje cjevovoda tankera za prekrcaj sirove nafte tankera i terminala.....	16
Slika 13. Shema cjevovoda tereta na tankeru „Istra“.....	17
Slika 14. Shema mainfolda na tankeru za prijevoz sirove nafte.....	18
Slika 15. Shema mainfolda za povrat para na tankeru „Istra“.....	19
Slika 16. Osnovni prikaz centrifugalne pumpe tereta.....	21
Slika 17. Framo centrifugalna pumpa tereta.....	22
Slika 18. Ejektor za posušivanje tereta.....	23
Slika 19. Dijagram zapaljivosti.....	25
Slika 20. Slika 20. Osnovni prikaz na displeju za upravljane sustavom inertnog plina tankera „Istra“ .....	26
Slika 21. Shema sustava inertnog plina na tankeru „Istra“.....	27
Slika 22. Inertiranje tijekom iskrcaja na tankeru „Istra“.....	28
Slika 23. Trend izlivanja od 1970. godine do 2021. godine.....	35
Slika 24. Usporedba broja izlivanja i prometa sirovom naftom.....	36
Slika 25. Uzroci izlivanja ulja .....	36