



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SPECIÁLNÍ LODNÍ PŘEPRAVA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Příbyl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Zeizinger

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Jan Příbyl**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Zelzinger**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Speciální lodní přeprava

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá kritickou rešerší z oblasti lodní dopravy se zaměřením na přepravu kapalných a plyných látek.

Cíle bakalářské práce:

Zpracujte kritickou rešerší problematiky speciální lodní přepravy - transport kapalných a plyných látek. V rešerši se zaměřte na konstrukční řešení nákladového prostoru těchto plavidel v závislosti na přepravovaném materiálu. Dále se zaměřte také na možnosti využití převáženého materiálu jako paliva a zhodnoťte výhody a nevýhody tohoto přístupu.

Seznam doporučené literatury:

Eyres, D.J.: Ship Construction. 6th ed. Burlington: Elsevier, 2007. ISBN 9780080468235.

Tupper, E.C.: Introduction to naval architecture. 4th ed. Amsterdam: Elsevier, Butterworth Heinemann, 2004. ISBN 9780080478715.

Rejzek, M. a Štochl, M.: Vzdušná a námořní doprava v podmínkách OS České republiky: skripta. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2006. ISBN 978-80-7231-181-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Cílem mé bakalářské práce bylo zpracovat problematiku speciální lodní dopravy z hlediska přepravy kapalných a plyných látek. Práce je zaměřena na konstrukční řešení nákladového prostoru těchto lodí a obsahuje konstrukční řešení nádrží pro převoz surové ropy, ropných produktů, nebezpečných látek, zkapalněného zemního plynu (LNG) a zkapalněného ropného plynu (LPG). Práce obsahuje konstrukční řešení trupu těchto lodí se zaměřením na příď a její důležitost pro vlastnosti pohybu lodi a převáženého nákladu. Práce se dále věnuje také možnosti využití převáženého materiálu jako paliva, a to z hlediska ekonomie a dopadu na životní prostředí.

KLÍČOVÁ SLOVA

lodní doprava, přeprava kapalných látek, přeprava plyných látek, konstrukce nádrží, převoz ropy, převoz LNG, převoz LPG, tanker, převoz nebezpečných látek, lodní příď, využití materiálu jako paliva

ABSTRACT

The aim of my bachelors thesis was to evaluate the issue of maritime shipping in terms of the transportation of liquid a gaseous cargo. Thesis is focused on design solutions for cargo space of tanker ships and contains the construction solution for oil tanker, product tanker, chemical tanker, LNG carrier and LPG carrier tanks. Furthermore, the thesis describes the structural design of the hull, focusing on the bow of the ship and its importance to the characteristics of the movement of the ship and its cargo. The thesis also deals with the possibility of using transported cargo as fuel in terms of both fuel economy and environmental impact.

KEYWORDS

maritime shipping, liquid cargo transport, gaseous cargo transport, cargo tank design, transportation of crude oil, transportation of crude oil products, LNG transportation, LPG transportation, tanker, chemical tanker, ship's bow, use of cargo as fuel



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Příbyl, J. *Speciální lodní přeprava*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Zeizinger.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Lukáše Zeizingera a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2017

.....

Jan Příbyl



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat svému vedoucímu, panu Ing. Lukáši Zeizingerovi za jeho pomoc, rady a připomínky při tvorbě této závěrečné práce. Také bych chtěl poděkovat svým rodičům, přátelům a všem, kteří mě podporovali po celou dobu studia.



OBSAH

Úvod.....	9
1 Vývoj lodí	10
1.1 Historie vývoje plavidel.....	10
1.2 Moderní přeprava zboží	11
2 Moderní přepravní typy lodí - tankery.....	12
2.1 Oil tanker.....	12
2.2 Gas carrier	12
2.3 Chemical tanker	13
2.4 ULOC Supertankery	14
3 Konstrukční řešení skladovacího prostoru.....	15
3.1 Konstrukce nádrží pro LNG.....	16
3.1.1 Membránové nádrže.....	17
3.1.2 Sférické nádrže.....	20
3.1.3 Prismatické nádrže.....	22
3.1.4 Porovnání	23
3.2 Konstrukce skladovacích prostor pro převoz ropy a oleje	24
3.2.1 Konstrukce prostor pro převoz nebezpečných látek	29
3.3 Konstrukce nádrží pro LPG.....	31
3.3.1 Nádrže zcela pod tlakem.....	31
3.3.2 Nádrže mírně pod tlakem.....	33
3.3.3 Nádrže zcela zchlazené (bez použití tlaku).....	33
4 Využití převáženého materiálu jako pohonné hmoty	35
4.1 Pohonné soustavy lodí	35
4.1.1 Diesellový pohon.....	36
4.1.2 Lodní šroub	37
4.2 Spalování převážené ropy	37
4.2.1 HFO	38



4.2.2	MGO.....	39
4.2.3	MDO/IFO.....	40
4.3	Spalování LNG.....	41
4.4	Alternativní typy pohonu.....	44
4.4.1	Jaderný pohon.....	44
4.4.2	Diesel-elektro motory.....	46
4.4.3	Větrný pohon.....	47
5	Konstrukční řešení trupu.....	48
5.1	Vývoj lodní příďe.....	48
5.2	Hruškovitá příď (Boulbous bow).....	50
5.3	Project X-Bow / Převrácená příď (Inverted bow).....	51
5.4	Speciální typy příďe používané v lodní dopravě.....	53
6	Porovnání a výsledky.....	55
6.1	Statistika námořní dopravy za rok 2016[84].....	55
6.2	Efektivita námořní dopravy.....	56
6.3	Ekologický dopad.....	58
6.3.1	Emise spalování.....	58
6.3.2	Havárie tankerů.....	58
	Závěr.....	59
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	70
	Seznam příloh.....	72



ÚVOD

Lodní doprava je v dnešním světě jednou z nejdůležitějších forem dopravy a obzvláště z hlediska dopravy zboží a surovin se stala zcela nenahraditelnou. Již od dávných dob je námořnictví důležitou součástí lidské civilizace, neboť nám dovolilo uskutečnit mnoho velkých objevů. Tak, jak se vyvíjela lidská civilizace, tak se vyvíjela i námořní doprava, vznikaly stále větší, rychlejší a efektivnější lodě. Z prvních dřevěných plavidel se dnes staly obrovské ULOC supertankery, LNG Carriery a kontejnerové lodě, které každý den dopravují tuny materiálu, surovin, produktů a zboží. Jednou z nejdůležitějších částí dnešní námořní dopravy se stala přeprava kapalných a plyných látek.

Na vysoké efektivitě lodní přepravy se významně podílejí konstrukční řešení nádrží pro přepravu kapalných a plyných látek. Tankery pro převoz LNG a LPG využívají sférických a membránových nádrží pro převoz zkapalněného plynu. Ropné tankery jsou od roku 2015 z hlediska bezpečnosti nuceny využívat dvouplášťové konstrukce. Důležitou pro efektivitu námořní dopravy je také konstrukce trupu lodi, obzvláště příďe. Většina moderních přepravních lodí dnes využívá hruškovité příďe.

Dalším důvodem pro efektivitu lodní přepravy je možnost využití převáženého materiálu jako paliva, obzvláště spalování surového ropného produktu. Za palivo budoucnosti je však považován zkapalněný zemní plyn, LNG, jehož spalování je efektivní a zároveň velice ohleduplné k životnímu prostředí.



1 VÝVOJ LODÍ

Lod', jako plavidlo určené pro pohyb po vodě, je jedním z nejdůležitějších vynálezů v historii člověka, do doby prvních balónů a letadel. Byl to jediný způsob, jak se přepravovat přes vodní plochu. Lodě nám napříč historií pomohly objevovat nové kontinenty, zdroje jídla a materiálů a dodnes jsou důležitou součástí průmyslu a dopravy. Od rámu spletených z větví, přes plachetnice až po dnešní obrovské ocelové ULOC supertankery, lodě se vyvíjely společně s naší civilizací a měnily se podle naší potřeby, z přepravních strojů na válečné a nyní specializované pro jakýkoliv úkol.

1.1 HISTORIE VÝVOJE PLAVIDEL

Za první plavidlo používané člověkem se dá považovat vor, který známe jako několik kmenů stromů spojených provazem. Používaly se stohy z větví, pletené koše, nebo dokonce nafouknuté zvířecí kůže.

Za první mořeplavce lze považovat Féničany, kteří pro plavbu využívali plachetnic s pádly na obou stranách, svázaných z vydlabaných kmenů stromů. S růstem velikosti lodi rostla také potřeba pro její pohon pádly. Féničané byli proto prvními, kdo postavil loď se dvěma řadami pádel, galéru. Podobné lodě sestrojovali Řekové a Římané, dvoupatrové lodě jimi byly nazvány bireme a třípatrové trireme, které daly vzniknout hruškovité přídi (viz 5.1).

Ve středověku se konstrukce lodí posunula dále díky používání hřebíků pro upevnění prken na rámy lodí. Ty musely být natlučeny přes sebe ,aby dosáhli vodotěsnosti.

Na konci 11. století došlo k dalšímu vývoji plavidel, lodě se začaly stavět s rovnou zádí a pevným kormidlem, což dovolovalo výstavbu stále větších lodí díky zlepšení celkové ovladatelnosti. [1]



1.2 MODERNÍ PŘEPRAVA ZBOŽÍ

Velký nárůst mezinárodní přepravy přišel po druhé světové válce, USA převzala iniciativu a dodávala zboží do zemí zničených válkou a ekonomicky strádajících. Metody převozu zboží se začaly vyvíjet se specializací na daný druh zboží, s nárůstem obchodu rostla také velikost přepravních lodí. Velkou roli v přepravě hrálo také zavedení paletizace a později kontejnerování zboží, loď bylo možné naložit a vyložit v podstatně kratším čase. Většina baleného zboží se od roku 1950 převáží v kontejnerech.

Dalším faktorem v moderní přepravě se staly vnitrozemské vodní cesty/kanály, v roce 1869 byl otevřen Suezský kanál, který dovoval nákladním lodím cestovat mezi Amerikou a Asií bez nutnosti obeplouvat africký kontinent. O 45 let později byl otevřen Panamský kanál, který spojil Atlantský oceán a Pacifik.



2 MODERNÍ PŘEPRAVNÍ TYPY LODÍ - TANKERY

Lodě pro přepravu kapalných a plyných materiálů lze jednoduše shrnout pod názvem tankery. Tankerů však existuje mnoho druhů a typů, dělení může být provedeno z hlediska celé řady faktorů. Za nejdůležitější z nich lze považovat dělení dle velikosti (viz 3.2) a dělení dle typu/účelu.

Dělení dle typu/účelu provádíme dle dané látky, kterou tanker převáží, takto můžeme rozdělit tankery na tři velké skupiny, a to na ropné (oil tanker), pro převoz plynů (gas carrier) a pro převoz nebezpečných látek (chemical carrier).

2.1 OIL TANKER

Za první pravý ropný tanker (oil tanker) lze považovat loď GLUCKAUF, která vyplula v polovině 19. století. Původně byla ropa a olej přepravovány v sudech nebo barelech, GLUCKAUF byl první lodí se speciálně upraveným nákladovým prostorem ve formě nádrží. Trup byl rozdělen do osmi menších nádrží, design velice podobný dnešním tankerům. Potřeba pro tankery začala narůstat po roce 1911, s nástupem diesellových motorů. V roce 1950 byl jedním z nejpoužívanějších tankerů typ T2, kterého bylo vyrobeno více než 600 kusů. T2 byl vyroben Spojenými státy pro použití ve válce a po ukončení konfliktu se stal základem tankerových flotil mnoha převozních společností.

Ropný průmysl se dále rozvíjel, hlavně díky obrovskému nárůstu produkce automobilů se začali vyrábět nové, větší tankery. Na nárůstu velikosti tankerů se podepsalo také uzavření Suezského kanálu v druhé polovině 19. století, které přinutilo dovozce ropy ze Středního východu, aby převáželi náklad cestou okolo Jižní Afriky. Rozvoj velikosti tankerů se stal soutěží pro výrobce a prvním, kdo překonal hranici 100 000 tun převáženého materiálu byla loď Universe Apollo, která tak započala generaci tankerů označovaných VLCC (Very Large Crude Carriers), kterou později následovala generace ještě větších tankerů označená ULCC (Ultra Large Crude Carriers). (viz 3.2.) [2]

2.2 GAS CARRIER

Prvním tankerem pro převoz plynů se stala v roce 1959 loď Methane Pioneer, která ukázala, že námořní doprava je již natolik vyspělá, aby dokázala přepravovat velké kvantity plyných látek na velké vzdálenosti. Lodě pro přepravu plynů nejprve používaly prismatické nádrže s hliníkovou membránou.



Vývoj šel rychle dopředu a prismatické nádrže brzy nahradily membránové nádrže, první známý design byl Gas Transport, tankery Artic Tokyo a Polar Alaska byly schopné převézt až 71 500 m³ nákladu. V roce 1973 firma Höegh přišla s prvním LNG tankerem se sférickými nádržemi, tento design se stal známým jako Moss Rosenberg design. Podobně jako v případě ropných tankerů, tankery pro převoz plynů začaly zvětšovat množství převezeného nákladu, v roce 1999 Samsung Heavy Ind. vytvořili a otestovali LNG carrier s obsahem 138 378 m³. Obsah tankerů během posledních let dále rostl, dnes je největším tankerem pro převoz plynů LNG carrier Arctic Princes s obsahem 147 000 m³. [3]

Společně s tankery pro LNG se vyvíjely také tankery pro LPG, které používají podobný design, avšak nevyžadují splnění tak náročných podmínek jako LNG tankery. (viz 3.3)

2.3 CHEMICAL TANKER

Chemikálie a nebezpečné látky byly nejprve, podobně jako tomu bylo ropných produktů, převáženy v sudech. Tato metoda převoze se však ukázala nebezpečná a neefektivní, a tak byly vyvinuty speciální lodě, podobné svojí stavbou ropným tankerům, které využívají speciálních nádrží pro převoz chemikálií a jiných nebezpečných látek. Lodě pro převoz nebezpečných látek mohou převážet mnoho různých druhů produktů, i přesto že by se mohlo zdát, že tyto lodě jsou uzpůsobeny pouze pro převoz chemikálií, jako jsou kyseliny a jedy, většinu nákladu tvoří potravinářské výrobky, jako jsou oleje, tuky a alkohol. Obecný chemický tanker je vybaven množstvím rozdílných nádrží, které mu dovolují převážet veškeré druhy nebezpečných látek.

Další specializací chemických tankerů vznikly nové typy lodí s vlastním označením.

- Slurry tanker - speciální typ tankeru upravený pro převoz odpadních materiálů, které se nerozpouštějí ve vodě, jedná se o ekologicky neškodné odpady, které mohou být využity jako hnojivo.
- Juice tanker - tankery pro převážení šťávy z ovoce nebo zeleniny a moštu jsou dalším zvláštním typem chemického tankeru, největší komoditou je pomerančová šťáva.
- Wine tanker - tanker s nádržemi speciálně upravenými pro převoz vína.[4]



2.4 ULOC SUPERTANKERY

Za speciální typ lodí lze považovat nejvyšší třídu ropných tankerů, označenou TI nebo také supertanker. Čtyři největší tankery na světě, TI Oceania, TI Europe, TI Asia a TI Africa, pomohli vyřešit v roce 2001 problém s dodávkami surové ropy mezi kontinenty. Tyto supertankery jsou zvláštní hlavně svojí velkou životností, 25 let a vysokou rychlostí, 16,5 uzlu. Tyto supertankery byly ve své době ikonou námořního průmyslu, dnes jsou však díky svojí nákladné údržbě a provozu téměř nepoužívané, dva ze čtyř největších tankerů, TI Asia a TI Africa, jsou odstavené a slouží pouze jako odkladné zařízení (FSO – Floating, Storage and Offloading vessel).[5]



3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SKLADOVACÍHO PROSTORU

Pro převážení kapalných a plyných látek se používají tankery, jedny z nejstarších typů lodí pro přepravu materiálu. Nejznámějším typem tankeru je ropný tanker, převážející surovou ropu a různé stupně rafinované ropy. Dalším důležitým typem tankeru je chemický tanker, převážející nejenom nebezpečné látky, ale také potravinové produkty jako džus nebo olivový olej.

Nádrže v ropných tankerech jsou součástí samotného trupu lodi a jsou vyrobeny ze speciálních ocelí s vysokou odolností proti korozi. Nádrže pro chemické tankery používají několik různých typů nádrží z materiálů specializovaných pro převážené látky, pro potravinové produkty se používá hlavně nerezová ocel.

Plynné látky jsou převáženy zkapalněné, zchlazené nebo pod tlakem, převáží se v nádržích plně izolovaných. Jakékoliv výpary jsou znovu zkapalněny, anebo se používají jako palivo pro pohon samotné lodě. Dva hlavní typy lodí pro přepravu zkapalněných plynů jsou LNG tankery a LPG tankery. Tyto tankery mohou využívat membránové, sférické nebo prismatické nádrže.

Důležitou součástí každého tankeru je také konstrukce jeho příďe (viz 5), dnešní tankery využívají hruškovitou příď, která zvyšuje jejich rychlost, efektivitu provozu a také bezpečnost při provozu. Konstrukční řešení trupu lodi zajišťuje snížení pohybu látek v nádržích a umožňuje využívat nádrže bez upřednostnění bezpečnosti z hlediska tvorby vlny na hladině převážené látky.

Nádrže pro převoz zkapalněných plynů využívají kromě tradičních kovových materiálů také dřevo a překližku, plasty a pryskyřici. Kombinace těchto materiálů jim dává jejich specifické vlastnosti, jako je výborná izolace a schopnost přenášet rázy od pohybu kapaliny v nádrži na trup lodi a tlumit je.



3.1 KONSTRUKCE NÁDRŽÍ PRO LNG

LNG, zkapalněný zemní plyn, přichází do svého stavu zchlazením na teplotu -162 °C, k tomuto procesu dochází na pobřeží před přesunem nákladu do skladovacích prostor lodi. Poměr objemu mezi plynným a zkapalněným skupenstvím zemního plynu je $\frac{600}{1}$. Tankery udržují LNG v kapalném stavu po celou dobu převozu. Pro udržení zemního plynu v kapalném stavu lze využít dvou metod, a to transportu v nádobě pod tlakem nebo jeho chlazením pod teplotu zkapalnění.

LNG se převáží zcela chlazený, beze změny tlaku (atmosférický tlak). Prostory pro náklad jsou plně izolovány, aby nedocházelo k velkému odpařování. Odpařování nelze zcela zabránit, malé množství odpařeného plynu lze využít jako palivo (viz. 4.3), znovu zkapalnit nebo v případě nebezpečí vypustit do atmosféry. Moderní tankery používají malé zkapalňovací jednotky (reliquifacation plant) na palubě, aby zabránily jakémukoliv úbytku paliva, případně, pokud využívají LNG jako palivo, odpařují větší množství paliva za pomoci výparníku (forcing vaporiser).

Nádrže pro přepravu LNG slouží k tomu, aby dokázaly pojmout obsah LNG na kryogenních teplotách, oddělit jej bezpečně a úplně od trupu lodi a posádky a tepelně jej izolovat, aby nedocházelo k odpařování. Důležitou vlastností je procento obsahu odpařeného plynu (BOR-boil-off rate), které nesmí překonat 0,15 % za den.[6]

Z konstrukčního hlediska lze nádrže dělit do dvou hlavních skupin:

Membránové

- provedení Gaz Transport
- provedení Technigaz

Sférické

- provedení Moss Rosenberg



Obr. 1 Tankery Granatina (Membránová nádrž provedení GT96 s kapacitou 140500 m³) a Galea (Sférická nádrž provedení Moss s kapacitou 135000 m³), náležící společnosti Shell International Trading and Shipping Co Ltd (STASCO)[51]

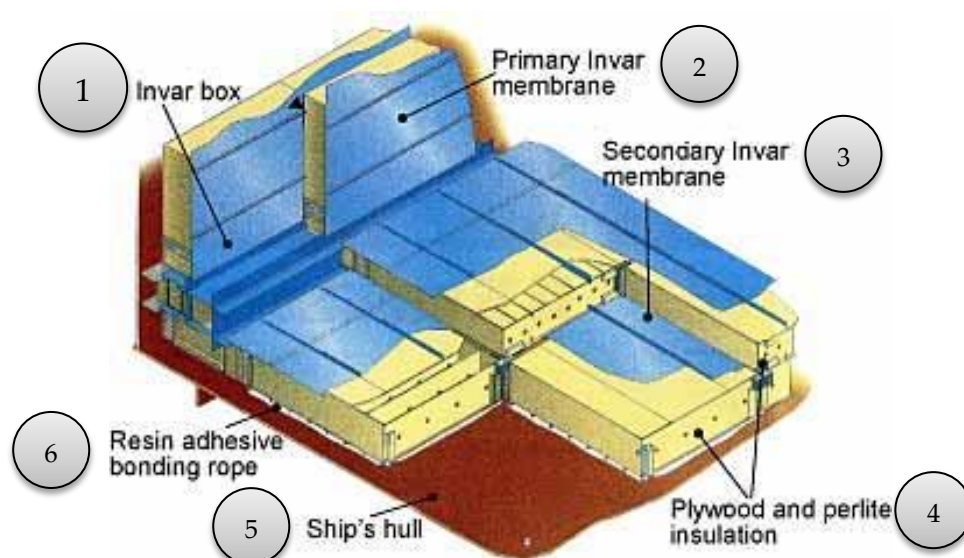


Jako třetí skupinu lze považovat nádrže prismatické, které se zaměřují na bezpečnostní hledisko pohybu kapaliny v nádrži, tzv. “šplouchání” (sloshing).

3.1.1 MEMBRÁNOVÉ NÁDRŽE

Membránové nádrže jsou konstruovány, aby pojmuly zkvalněný plyn za pomoci dvou membrán. Tyto membrány jsou vyrobeny z nerez oceli nebo slitiny niklu. Mezi membránami je mezera vyplněná izolací a izolace je umístěna i na vnějšku druhé vrstvy směrem k trupu lodi, aby nedocházelo k přenosu tepla.

Provedení Gaz Transport, design GT96, používá zmíněný systém dvou membrán. Vnitřní membrána je lemována souběžně s trupem lodi vrstvami izolace a zádržného potahu. Nádrž se skládá z těchto částí:



Obr. 2: Řez provedením GT96[52]

1. Membrána je vyrobena z materiálu “Invar” (slitina 36% nikl-železo s nízkou roztažností).
2. Primární flexibilní membrána, která je v přímém kontaktu s kryogenickým plynem (-162 °C), vyrobena z materiálu “Invar”, široká typicky 0,7 mm.
3. Sekundární flexibilní membrána, vyrobena také z materiálu “Invar”, její šířka je stejně jako u první 0,7 mm.
4. Vrstva beden z překližky naplněných perlitem, ta se nazývá primární izolace a je široká asi 230 mm.
5. Sekundární izolace ze stejného materiálu, většinou o šířce 300 mm, v kontaktu s trupem lodi.
6. Sekundární izolace je s trupem lodi spojena vrstvou lepidla na bázi pryskyřice.



Nádrž se tedy skládá ze dvou téměř identických membrán a izolační výplně. V případě proniknutí nákladu primární bariérou sekundární bariéra zastaví únik nákladu do prostor lodi. Systém zajišťuje, že veškerý hydrostatický tlak od nákladu je rovnoměrně přiveden na trup lodi skrze membrány a izolaci. Sekundární bariéra je navržena dle normy „IGC Chapter 1V 4.7.4“ pro lodě přepravující zkapalněné plyny, dle této normy může uniklý náklad zůstat v prostoru mezi membránami maximálně 15 dní.



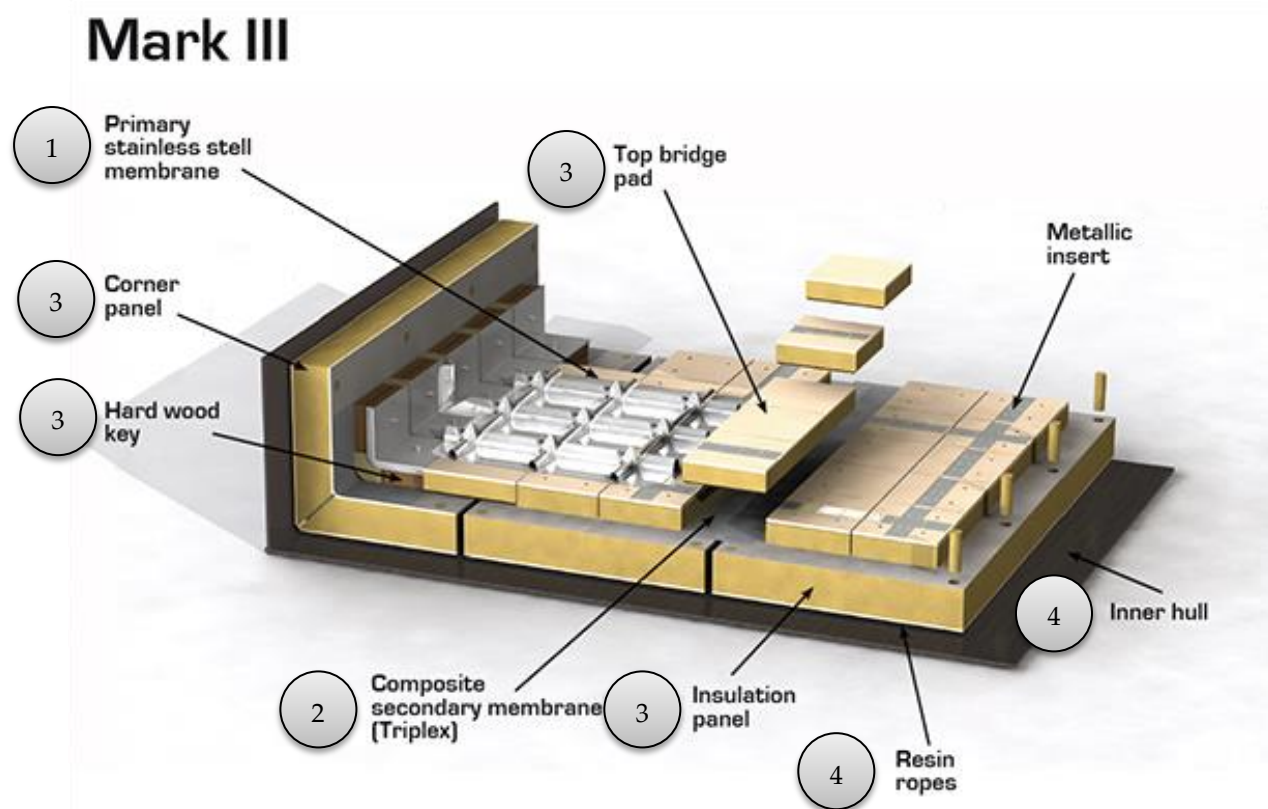
Obr. 3: Uvnitř nádrže provedení GT96[53]

Primární a sekundární vrstvy izolace jsou dále udržovány pod tlakem v dusíkové atmosféře. Tlak je neustále kontrolován a udržován pod hladinou tlaku v nádrži, aby nedošlo ke kolapsu dovnitř (imploze). Tento design zajišťuje, že přenos tepla dovnitř nádrže je natolik limitován, že vypařování (BOR) je sníženo na 0,15 % obsahu tanku denně (pro teplotu hladiny 32 °C a teplotu vzduchu 45 °C). Dále je zajištěno, že trup lodi nedosáhne teploty nižší, než je dovolená ani v případě průniku primární membránou. Vnější izolační vrstva také slouží jako bariéra mezi vodou a nádrží, v případě proražení trupu lodi. [7]

Provedení GT96 bylo později nahrazeno novou technologií NO96, která funguje na podobném principu a stále se vyvíjí, dnešní (03. 2017) provedení NO96-LO3 zajišťuje vypařování (BOR) 0,105 % denně.[8]



Provedení Technigaz Mark III využívá dvou rozdílných membrán, první z nerez oceli a druhé z materiálu Triplex umístěného mezi vrstvami izolace.



Obr. 4: Řez provedením Mark III[54]

1. Primární membrána je vyrobena ze zvlněné nerezové oceli 304 L, šířky 1,2 mm. Vrstva se skládá z panelů o rozměrech 3 x 1 m.
2. Sekundární membrána je vyrobena z materiálu Triplex, to je kompozitní vrstvený materiál složený z tenkého hliníkového plátu mezi dvěma vrstvami skelného vlákna a pryskyřice. Membrána leží mezi dvěma vrstvami izolace.
3. Izolační vrstva, která v sobě již obsahuje sekundární membránu, se skládá z předem vyrobených panelů standardně o rozměrech 3 x 1 m. Panely jsou vyrobeny z materiálu Triplex, na kterém je z obou stran plát vyztuženého PUR (polyuretan) a poslední vrstva je z překližky (plywood) nebo tvrdého dřeva (hard wood). Celková tloušťka izolace je 270 mm.
4. Izolace je k trupu lodi (Inner hull) připevněna pomocí lepidla na bázi pryskyřice, která mimo upevnění slouží také pro dobré rozložení přenášeného zatížení.

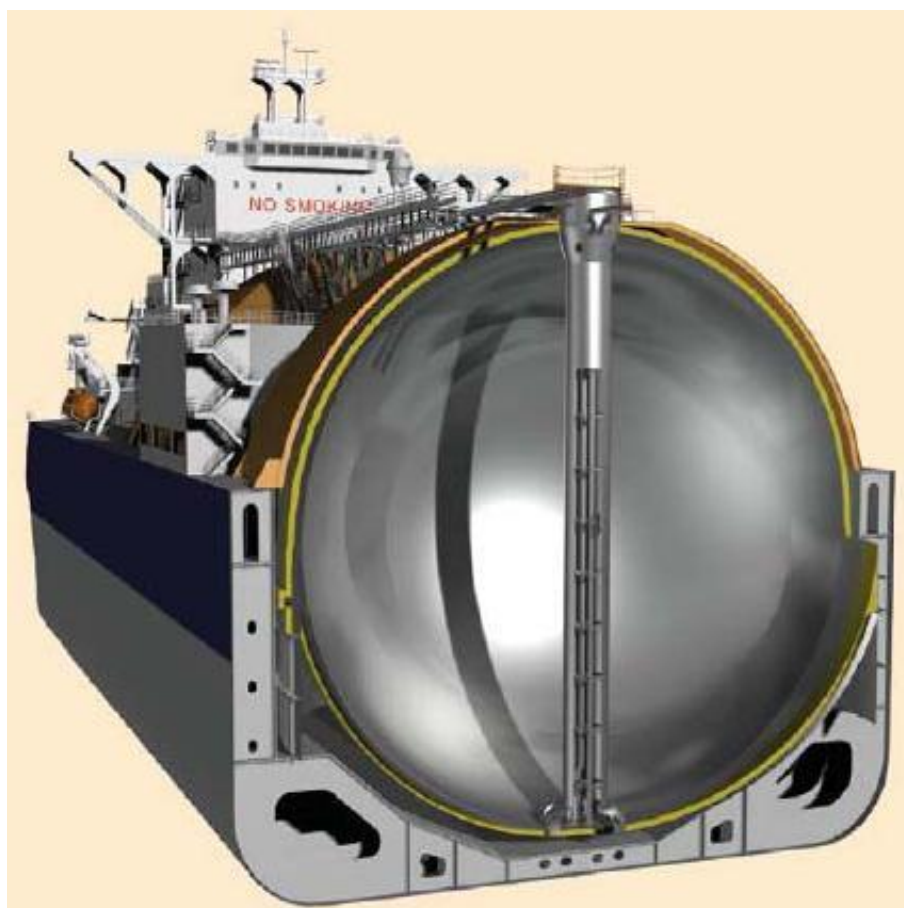
Díky novodobé technologii Mark III, na rozdíl od GT96, snižuje při použití izolace 400 mm vypařování (BOR) na 0,085 % denně.[9]



3.1.2 SFÉRICKÉ NÁDRŽE

Tento systém se skládá ze čtyř až pěti samostatných izolovaných nádrží konstruovaných ze slitiny hliníku a schopných pojmout zkapalněný zemní plyn na kryogenních teplotách a na tlaku blízkém atmosférickému.

Samotné nádrže jsou uloženy ve volném prostoru, v řadě od příďe po zád' lodi. Volné místo mezi spodní částí nádrží (vnitřním trupem) a trupem (vnějším) se vyplňuje zátěží (ballast), která slouží pro zlepšení stability lodi a k ochraně nákladu při nebezpečí, kolizi nebo nájezdu lodi na mělčinu. Nádrže používají díky svojí sférické konstrukci pouze jednu bariéru, sférická stavba totiž zajišťuje vysokou bezpečnost vůči tvorbě trhlin a lomu. Nádrže jsou izolovány vrstvou polystyrenu pro snížení vypařování (BOR). Ochranu před vnějšími vlivy poté zajišťuje poslední vrstva, vyrobená z oceli, jejíž spodní část je přivařená k palubě lodi, aby tak vytvořila nepropustnou vrstvu.[10]



Obr. 5: Řez provedením MOSS 144k[55]



Provedení MOSS 144k se skládá ze čtyř sférických nádrží s celkovým obsahem 144 000 m³. První z nádrží, nejbližší přídi, je tvarem opravdová koule \varnothing 40,44 m. Nádrže jsou "protažené", se stejným středním průměrem a cylindrickým navýšením o 2 m směrem vzhůru. První nádrž je upravená, aby loď splňovala kritéria pro viditelnost z můstku, není protažená. Loď může dále obsahovat pohonnou jednotku Dual-Fuel s možností spalování vypařeného LNG nebo systém znovu zkapalnění plynu, aby nedocházelo ke ztrátám.

Tato konstrukce používá konceptu "protažené nádrže" (Stretched Tank concept), který stále splňuje parametry IMO typu B, koncept je velice žádaný, protože splňuje veškeré nároky na bezpečnost u sférických nádrží, a přitom dokáže pojmout o 5 až 7 % více nákladu. Při konstrukci je nádrž rozdělena na tři části, horní hemisféru, dolní hemisféru a rovníkový pás, který je spojuje. Tento pás se skládá ze tří prstenců, rovníkového, horního a spodního, cylindrické navýšení nádrže je poté umístěno mezi horní a rovníkový prstenec, a tedy nemění charakteristiku žádné z hemisfér.

Nádrže používají pouze primární membránu vyrobenou ze slitiny hliníku o šířce 15 až 20 mm. Druhá vrstva je izolační, obsahující polystyren a je široká 220 mm. Poslední vnější vrstva je pokrytí z oceli.

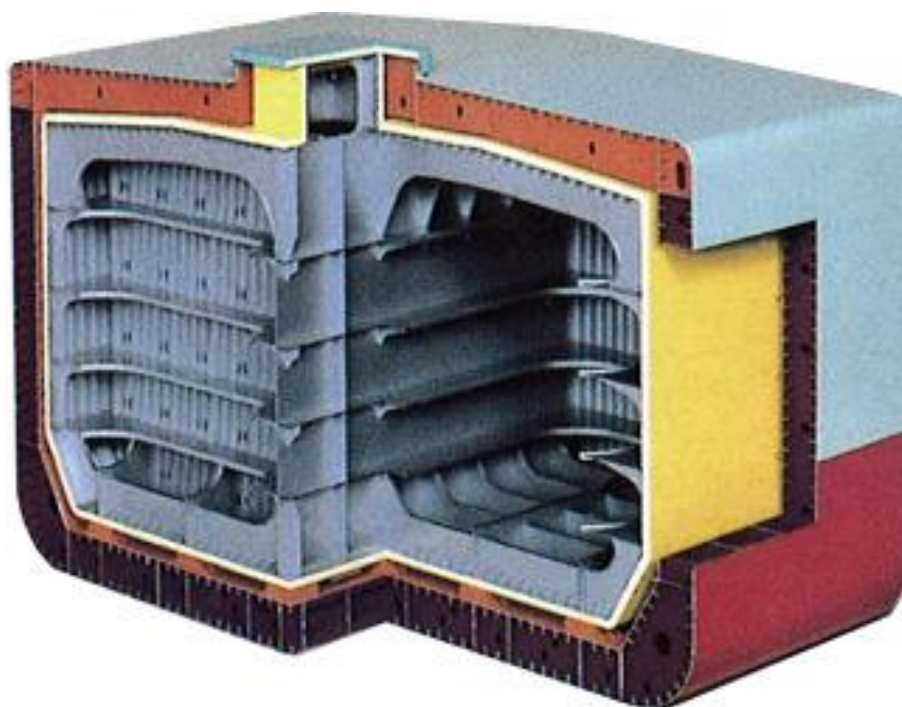
Provedení MOSS 144k dosahuje vypařování (BOR) procenta 0,10 – 0,12 %.[11]



3.1.3 PRISMATICKÉ NÁDRŽE

Prismatické nádrže jsou konceptem vytvořeným se zaměřením na nebezpečí pohybu kapaliny v prostoru nádrže, tzv. “šplouchání” (sloshing). Koncept má za cíl splňovat parametry IMO typu B. za použití většího množství samonosných hranolových nádrží, které jsou uvnitř vybaveny žebry, které limitují pohyb kapaliny. Design navržený firmou IHI (Ishikawajima-Harima Heavy Industries) byl schválen jako bezpečný v roce 1985 a od té doby je používán na dvou plavidlech. SPB Polar Eagle a SPB Arctic sun.

Primární vrstva nádrže je vyrobena ze slitiny hliníku nebo legované oceli s 9 % niklu, je v přímém kontaktu s LNG a dělí celkový prostor nádrže žebry na několik hranolových částí. Sekundární vrstva je izolační a skládá se z panelů připevněných čepy, mezi nimiž jsou tzv. “polštářové spoje” (cushion joints), ty absorbují relativní pohyb mezi nádrží a izolací.[12]



Obr. 6: Řez prismatickou nádrží[56]

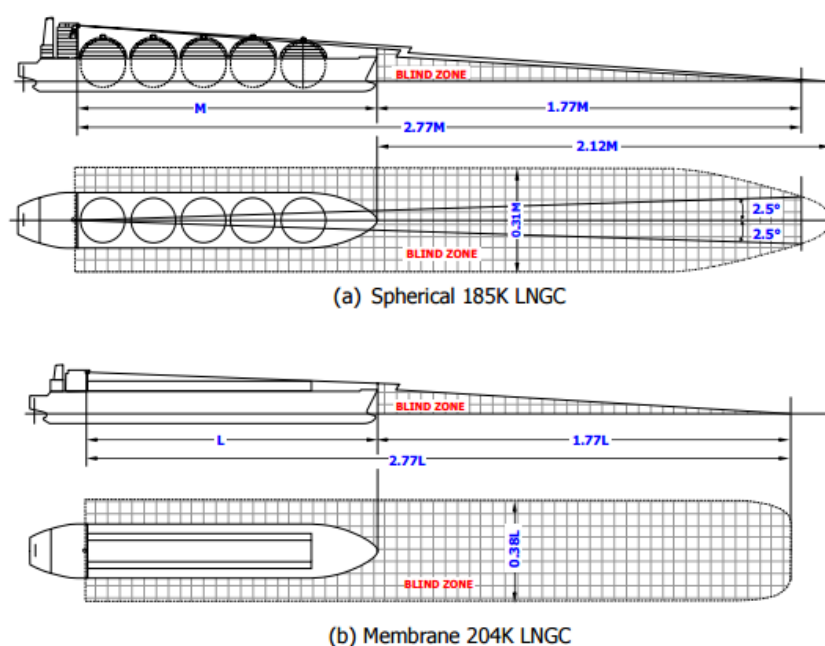


3.1.4 POROVNÁNÍ

Nádrže pro LNG lze porovnat z více aspektů, jako první z nich lze vzít v potaz jejich efektivitu při převozu, na té se výrazně podílí procento vypařování celkového objemu nádrže za den (BOR), které je dle specifikací maximálně 0,15 % při teplotě mořské vody 32 °C a teplotě okolního vzduchu 45 °C. Obě nejpoužívanější konstrukční řešení, membránové i sférické, tuto podmínku splňují bez problému, membránové řešení Mark III snižuje při použití silnější izolace 400 mm procento odpařování až na 0,085 %. Sférické nádrže by však při použití větší vrstvy izolace mohly dosáhnout podobných specifikací. Existuje kompromis mezi BOR a tloušťkou izolace nádrže, kde pro snížení procenta BOR zvyšujeme cenu za izolaci a snižujeme využitý prostor pro převoz materiálu.

Velkou roli hraje vyplnění prostoru, zatímco sférické nádrže poskytují lepší bezpečnost a používají proto pouze jednu bariéru, svým tvarem neodpovídají stavbě trupu lodi a oproti membránovým nádržím mají špatné vyplnění prostoru.

Nádrže lze porovnat i z hlediska viditelnosti, kterou poskytují z můstku lodi, v tomto mají sférické nádrže značnou nevýhodu, neboť jsou z poloviny umístěny nad úroveň paluby, jak lze vidět na obrázku níže (Obr. 7), toto vytváří větší "mrtvou zónu" ve výhledu, proto se při konstrukci lodí se sférickými nádržemi používá první nádrž ve tvaru pravé koule, aby nevytvářela bariéru ve výhledu. [13]



Obr. 7: Porovnání z hlediska viditelnosti pro tanker se sférickými nádržemi (a) a s membránovou nádrží (b).[57]



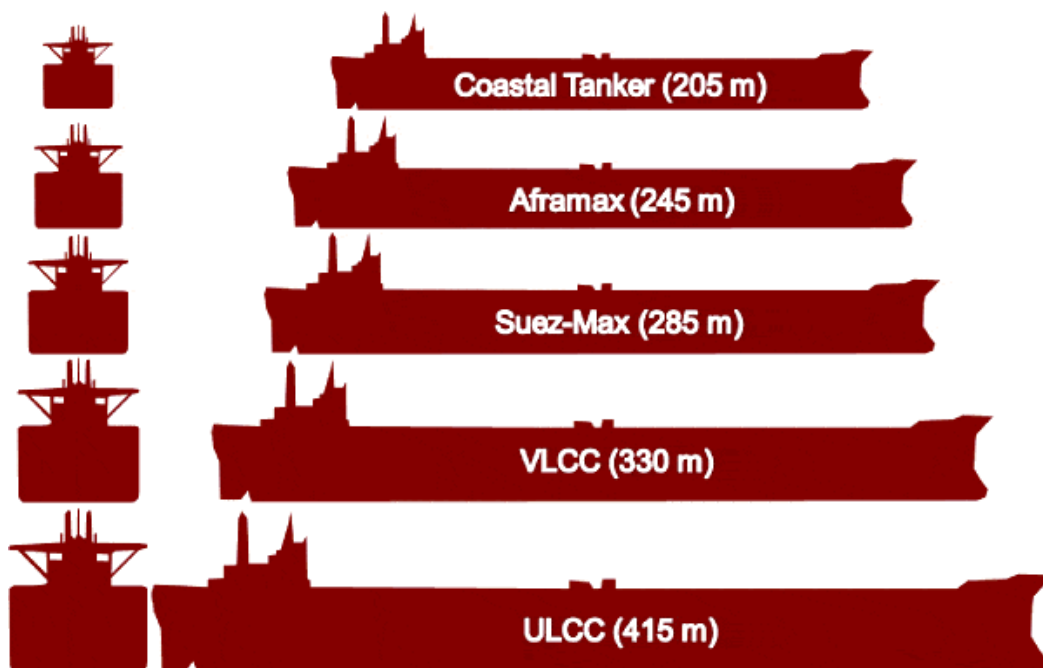
3.2 KONSTRUKCE SKLADOVACÍCH PROSTOR PRO PŘEVOZ ROPY A OLEJE

Hlavní metoda převozu ropy a oleje je pomocí ropných tankerů (Oil Tanker). Ropné tankery převáží ropu a veškeré její produkty, jako nafta, petrolej, kerosin, parafín a benzín. Dle druhu převážených produktů lze ropné tankery dále dělit do dvou hlavních skupin, a to tankery na surovou ropu (Crude Tankers) a tankery na ropné produkty/čisté náklady (Product Tankers). Oddělenou skupinou jsou pak chemické tankery (Chemical Tankers) na převoz nebezpečných látek.

Tankery na surovou ropu jsou, jak název naznačuje, používané pouze na dopravu surové ropy z vrtných plošin do rafinerií. Tankery na ropné produkty poté dále rozvázejí právě tyto produkty dále na pevninu.

Ropné tankery lze dále dělit dle velikosti na:

- ULCC (Ultra Large Crude Carriers), tankery s nosností (DWT – Dead Weight Tonnage) do 500 000 tun.
- VLCC (Very Large Crude Carriers), tankery s nosností do 250 000 tun.
- Suez Max, kategorie tankerů pojmenovaná po svojí schopnosti proplout Suezským průplavem. Nosnost 120 000–250 000 tun.
- Aframax, kategorie tankerů používána hlavně ve Středozezemním moři, s nosností 80 000–120 000 tun.
- Přímořské tankery (Coastal Tanker), menší tankery s tonáží pod 80 000 tun.[4]

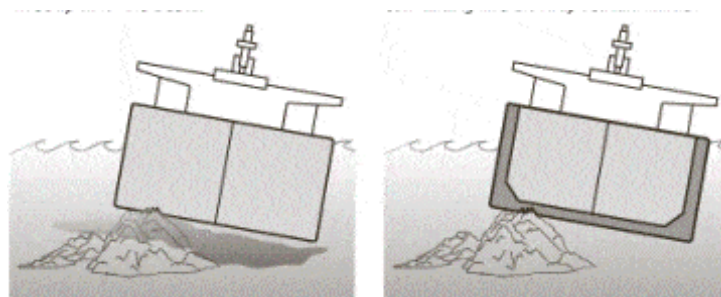


Obr. 8: Porovnání ropných tankerů z hlediska velikosti.[58]



Nádrž ropného tankeru vyplňuje většinu objemu lodi, prostor pod palubou lodi je rozdělen na několik samostatných nádrží oddělených od okolní vody pouze trupem. Tradiční ropné tankery nejdříve používaly jednoduchý trup s pouze jednou vodotěsnou vrstvou (Single Hull). Z tohoto důvodu byly tankery velice nebezpečné, neboť při kolizi a proražení trupu docházelo k okamžitému úniku obsahu nejméně jedné z nádrží do okolního prostředí. Kvůli tomuto nebezpečí a mnoha haváriím devastujícím životní prostředí v roce 1990 vzniknul zákon OPA (Oil Pollution Act of 1990), a to hned po havárii tankeru Exxon Valdez. Tento zákon určil podmínku, že veškeré tankery vyrobené po této havárii musí používat dvojitý trup (Double hull) a nadále fungující tankery s jednou vrstvou budou vyřazeny do 25-ti let (2015). [14]

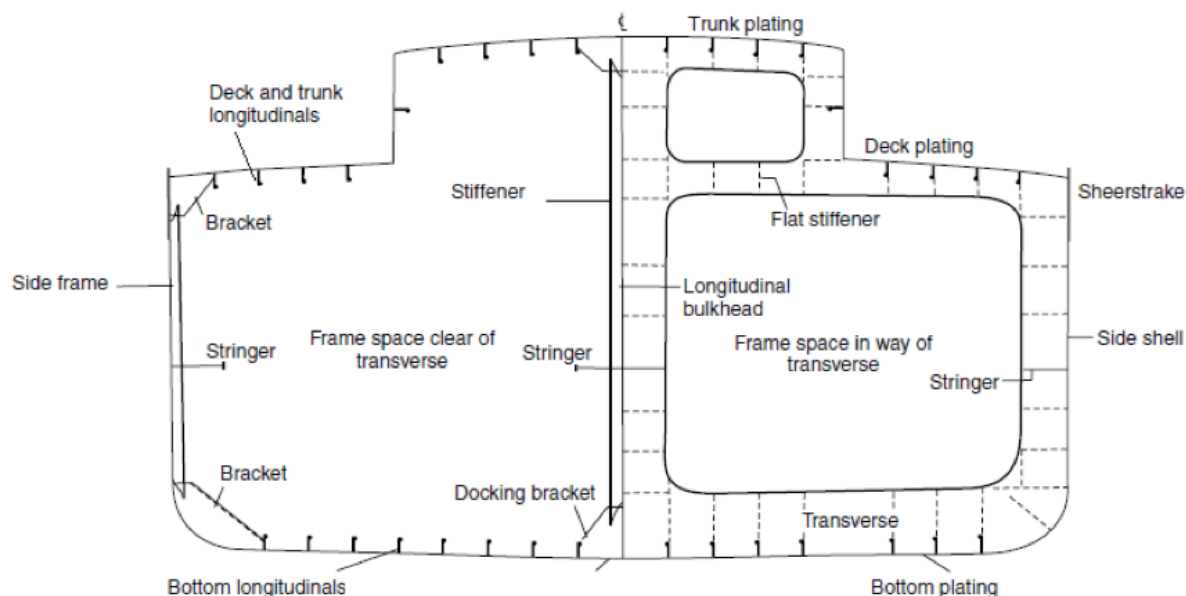
Dnešní tankery musí používat dvojitý trup, jak z názvu vyplývá, tankery jsou vybaveny dvěma vodotěsnými vrstvami na spodní i boční straně nádrží. Dle pravidel MARPOL veškeré lodě označené jako tankery délky více než 120 m musejí mít dvojitý trup.



Obr. 9: Porovnání bezpečnosti single-hull a double-hull tankerů při havárii[59]

Double hull tankery vyplňují mezeru mezi vrstvami zátěží (ballast), aby získaly lepší stabilitu. Přestože Double hull tankery poskytují lepší bezpečnost, dosahují jí na úrok stability, která je snížena kvůli posunutí těžiště směrem vzhůru.

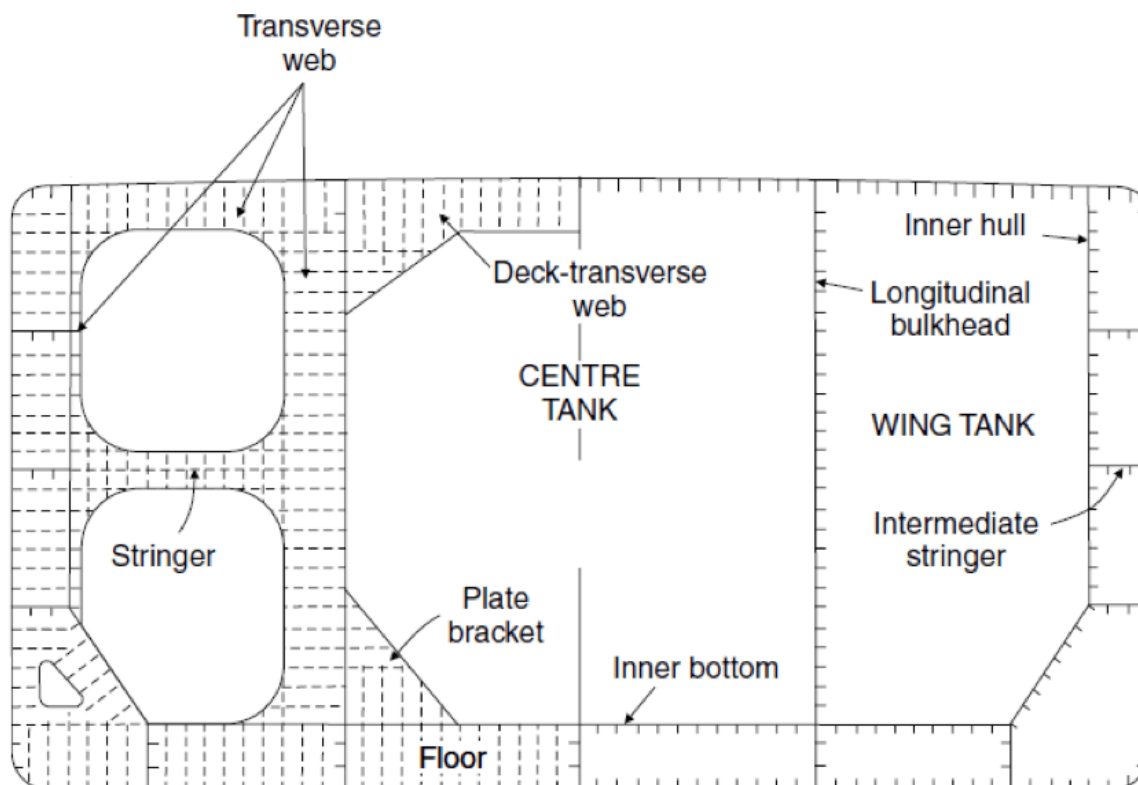
Konstrukční řešení jednoplášňové (Single hull, Obr.10) je dnes používané pouze u malých tankerů délky do 120 metrů. Plášť lodě obsahuje horní část (Trunk plating), která vede po celé délce lodi a zajišťuje přístup do nádrží. Oplechování spodní části (Bottom plating), paluby (Deck plating) a horní části je provedeno podélně a slouží ke zpevnění lodi. Boční část (Side shell) je naopak sestavena příčně, aby nedocházelo ke tvorbě zbytkového produktu mezi pláštěm a žebry, které zabraňují pohybu produktu v nádrži. Nádrž je dále zpevněna nosníky (Stringer) a konzolemi (Bracket). Na pravé straně obrázku je zobrazeno příčné zpevnění (Transverse), které je umístěno každé tři až čtyři bloky trupu a slouží jako výztuha nádrže a zároveň zabraňuje vytváření vlny na její hladině.



Obr. 10 Průřez střední částí jednoplášňového tankeru[60]

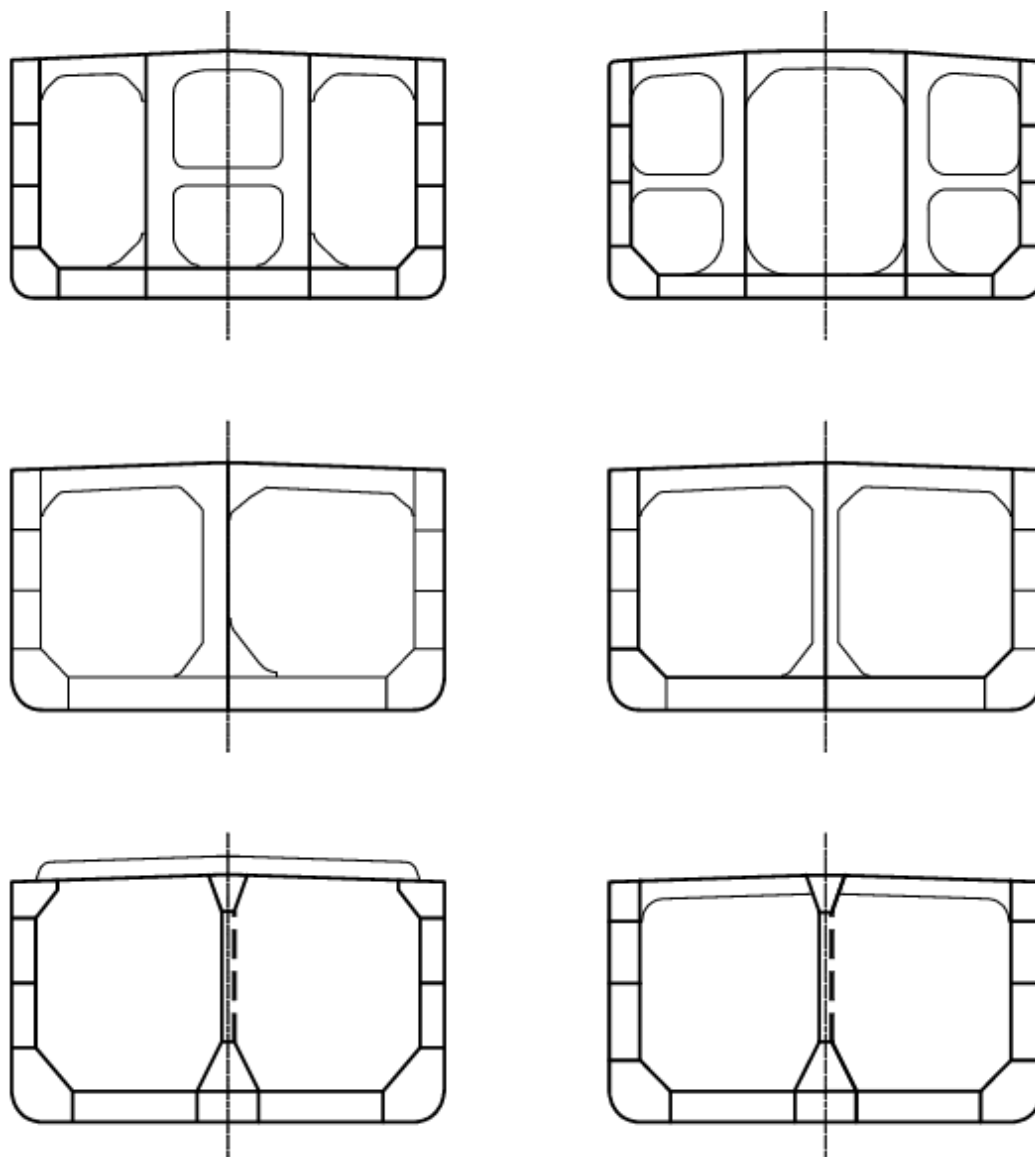
Konstrukční řešení dvouplášňové (Double hull) se používá u všech tankerů délky nad 120 m. Obr.10 ukazuje průřez nejpoužívanějším uspořádáním ropného tankeru, kde je tanker rozdělen podélně na tři nádrže. Hlavní nádrž (CENTRE TANK), která se využívá pro převoz ropy, a dvě boční neboli křídlové nádrže (WING TANK/SBTs), ve kterých se převáží mořská voda jako ballast. Ballast dále vyplňuje také dvojité dno. Křídlové nádrže jsou potažené vrstvou epoxidové pryskyřice, která zabraňuje korozi. Hlavní nádrž je sestavena ze speciální, korozi odolné oceli NAC5, NSGPTM-1 a NSGPTM-2. Tyto oceli nahradily konvenční ocel a zajišťují ochranu proti korozi a vzniku trhlin dle IMO od roku 2010, tyto oceli tedy nahradily potřebu používání nátěrů. Při pohledu na levou stranu obrázku vidíme rám, který je umístěn po několika blocích pro zpevnění nádrže, struktura je podobná zpevnění pro jednoplášňové tankery. Zpevnění nemá samostatnou horní část, ale využívá příčnicků (Stringer) v křídlových nádržích a konzol (Plate bracket) v hlavní nádrži pro přenos zatížení na trup. Podélné zpevnění zajišťují přepážky (Longitudinal bulkhead) zesílené právě rámem. [47]

Zvláštěností jsou žebra, která zabraňují pohybu kapaliny, ty jsou v případě tohoto uspořádání směřována na přepážce mezi nádržemi do křídlových nádrží a v případě trupu do mezery mezi dvěma pláštěmi. Hlavní nádrž potom neobsahuje žádné podélné žebrování, které by zabránilo pohybu kapaliny, to je z důvodu čištění nádrží po jejich vyprázdnění, na žebrování by zůstávala ropa, která by způsobovala korozi a znečištění dalšího nákladu.[15]



Obr. 11: Průřez střední částí dvouplášťového tankeru[61]

Další možnosti uspořádání ropných tankerů dělí nákladové prostory na dvě až pět podélných nádrží (Obr.12). Rozdělení tankerů dle konstrukce je zahrnuto pod pravidly CSR (The Harmonised Common Structural Rules for Tankers) dle mezinárodní asociace pro klasifikaci IACS (International Association of Classification Societies). Tyto pravidla jsou volně přístupná online na stránkách Chorvatského registru námořní dopravy (Hrvatski Registar Brodova).[50]



Obr. 12: Možnosti uspořádání dvouplášťových ropných tankerů[62]



3.2.1 KONSTRUKCE PROSTOR PRO PŘEVOZ NEBEZPEČNÝCH LÁTEK

Pro převoz nebezpečných látek a potravinových olejů se používá chemický tanker. Chemické tankery se vyznačují tím, že na jedné cestě převáží několik rozdílných látek s rozdílnými vlastnostmi včetně nebezpečí výbuchu a kontaminace při úniku. Dnešní tankery tedy vyžadují nejenom speciální nádrže pro rozdílné látky, ale také specialisty v posádce, kteří musejí být seznámeni s teoretickým i praktickým nebezpečím, které může vzniknout při převážení těchto látek.

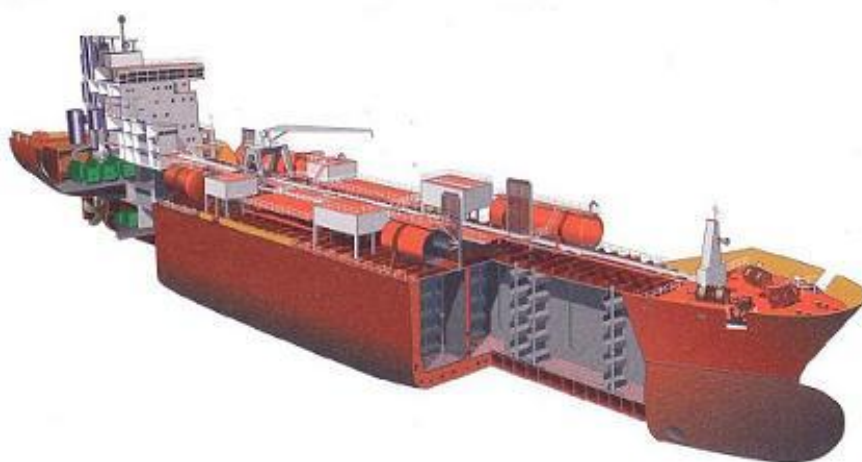
Chemické tankery jsou tedy navrženy, aby dokázali převážet až několik stovek rozdílných chemikálií a produktů, které jsou popsány v normě IMO (IMO Bulk Chemical Codes). Z tohoto hlediska jsou chemické tankery rozděleny na SPCT, tankery na speciální produkty a speciální chemické tankery.

SPCT (Sophisticated Parcel Chemical Tanker) jsou malé tankery s tonáží do 40 000 tun, které obsahují mnoho (až 54) malých nádrží s vlastním systémem plnění a odvodu pro každou rozdílnou látku, aby mohl převážet velké spektrum produktů nebo chemikálií. Většina nádrží je vyrobena z nerez oceli.

Tankery na speciální produkty jsou podobné SPCT, ale používají menší počet větších nádrží, většinou z potažené oceli a s méně sofistikovaným systémem plnění a odvodu. Tyto tankery se používají na přepravu méně nebezpečných a reaktivních látek.

Speciální chemické tankery jsou malé až střední lodě, které se specializují na převážení jediné látky nebo produktu po stejné trase. Tyto tankery mají obecně větší nádrže, lépe vyplňující obsah trupu, vyrobeny z nerez oceli nebo speciálně pro danou látku. Tento typ tankeru se využívá pro převoz reaktivních látek, jako jsou kyseliny, tekutý fosfor, metanol a síra, ale také rostlinné oleje, džus a víno. [16]

Pro chemické tankery se obecně používá austenitická ocel AISI 316L, obsahující 18 % Cr, 12 % Ni, 2,5 % Mo a podíl uhlíku menší než 0,003. Používané jsou také více legované oceli, označené jako 317L, 316LN a 317LN. Jako ochrana proti korozi a pro zlepšení vlastností se často užívá oceli "duplex", austeniticko-feritické, která vyžaduje složitější konstrukci, ale má lepší ochranu před bodovou a štěrbinovou korozi.[17]



Obr. 13: Příčný řez typickým uspořádáním chemického tankeru[63]

Převoz nebezpečných látek je obsažen pod nařízením Mezinárodní konvence pro zabezpečení života na moři (International Convention for the Safety of the Life at Sea – SOLAS) a Mezinárodní konvence pro prevenci znečištění z lodní dopravy (International Convention for the Prevention of pollution from Ships - MARPOL), části těchto konvencí jsou uvedeny v Mezinárodní normě pro přepravu nebezpečných látek (International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code). Norma IMDG se stala povinnou od 1. 1. roku 2004. [18]



3.3 KONSTRUKCE NÁDRŽÍ PRO LPG

LPG, liquefied petroleum gas, přeloženo jako “zkapalněný ropný plyn“, je palivo používané v mnoha průmyslových i domácích aplikacích. Skládá se převážně z propanu a butanu, a to oddělených nebo ve směsi. Zkapalněný plyn je kapalné skupenství látky, která by za normálních podmínek (teplota okolí, atmosférický tlak) byla plynem. Zkapalněný plyn je za teploty okolí vždy skladován pod stejným tlakem, tedy stejný tlak najdeme v nádrži tankeru, plynové bombě v domácnostech a i jednoduchém zapalovači.

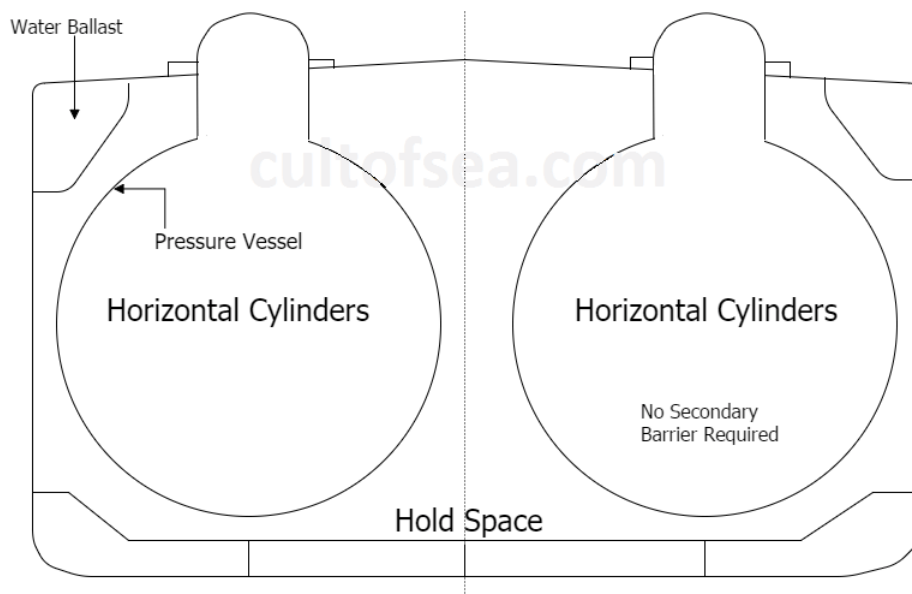
Fyzikální vlastnosti zkapalněného plynu závisí nejvíce na jeho molekulární struktuře, některé látky mohou mít stejný obsah, ale jinou strukturu, tyto látky se stejným obsahem jsou nazývány izomery. Nejdůležitější fyzikální vlastností pro zkapalněné plyny je vztah mezi jejich tlakem nasycených par a teplotou, neboť tato vlastnost definuje podmínky pro jejich převoz a skladování.

LPG lze převážet zcela zchlazený na teplotě -42 až -48 °C, pod mírným tlakem za mírného zchlazení nebo zcela pod tlakem na teplotě okolí. Zkapalněné LPG dosahuje poměru objemu kapalina/plyn přibližně 1/300.

3.3.1 NÁDRŽE ZCELA POD TLAKEM

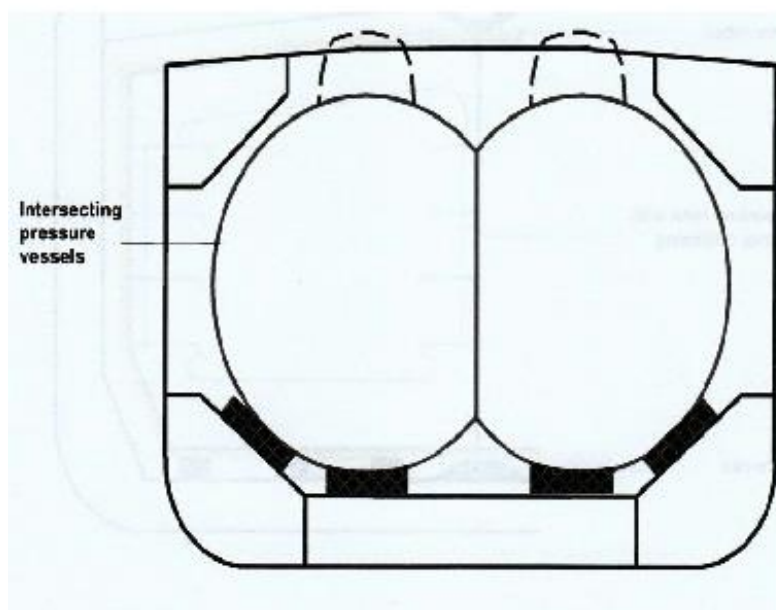
Pro přepravu LPG zcela pod tlakem se používají nádrže typu C, což jsou sférické nebo cylindrické tlakové nádrže s přetlakem větším než 2 bar. Tyto nádrže lze použít i pro přepravu LPG mírně pod tlakem nebo zcela zchlazeným, za podmínky, že pro primární vrstvu je použita ocel pro nízké teploty.

Přetlakové nádrže pracují s tlakem až 18 bar a jsou vyrobeny z oceli pro převoz mírně pod tlakem, to jim dovoluje operovat i při teplotách pod -48 °C, přestože teplota v nádrži by neměla poklesnout výrazně pod teplotu okolí. Nádrže typu C jsou konstruovány dle konvenčních metod pro tlakové nádrže a lze u nich tedy spočítat přesné namáhání a vnitřní pnutí je u nich na nízké úrovni. Díky přesné výpočtové analýze lze dobře zjistit jejich odolnost vůči namáhání a používá se tedy pouze jedna bariéra mezi převáženým nákladem a trupem lodi. Jako zádržný systém v případě proražení se používá ochranná atmosféra z dusíku v okolí nádrže (hold space - viz Obr.14). Nádrže zcela pod tlakem jsou většinou menší, o objemu pod 2000 m³.



Obr. 14: Průřez nádržemi typu C[64]

Nádrže typu C jsou tvarované sféricky nebo cylindricky a na rozdíl od ostatních typů nádrží tedy nedosahují dobré úrovně vyplnění objemu trupu, z tohoto důvodu lze použít navzájem se protínající nádoby (bi – lobe). Tyto nádrže lze také použít ve spojení s neprotínajícími se nádržemi ve zúžení na přídi lodi.[19][20]



Obr. 15: Průřez nádržemi Bi-lobe[65]



3.3.2 NÁDRŽE MÍRNĚ POD TLAKEM

V případě nádrží mírně pod tlakem se využívá stejného typu nádrží, tedy nádrží typu C. Nádrže jsou vyrobeny z běžné oceli a mají větší objem. Nádrže jsou odizolovány a využívají chladicího zařízení, aby udrželi svoji teplotu.

Konstrukčně jsou lodě s nádržemi mírně pod tlakem postaveny pro převoz propanu, při tlaku 8,5 kg/cm² a teplotě -10 °C, pro objem do 5000 m³ (SP/SR – semi-pressurised/semi-refrigerated) nebo při tlaku 5 až 8 kg/cm² a teplotě -48 °C pro objem do 15000 m³ (SP/FR - semi-pressurised/fully-refrigerated). Vyplnění trupu je lepší než v případě nádrží zcela pod tlakem a tyto lodě využívají dvou až šesti nádrží.

Lodě s nádržemi mírně pod tlakem mírně chlazené (SP/SR) jsou dnes raritou a již se nevyužívají, naopak lodě s nádržemi mírně pod tlakem zcela chlazené (SP/FR) odpovídají velké části na trhu dopravy LPG.

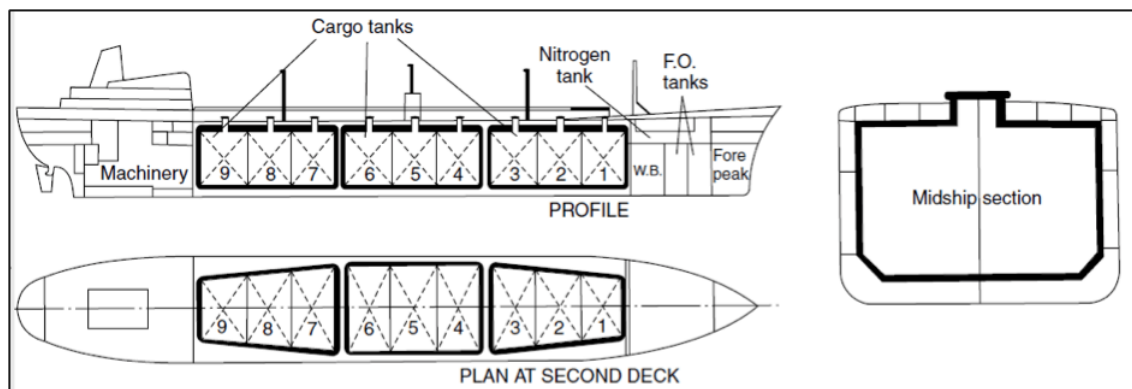
Výhodami nádrží mírně pod tlakem je možnost převážet větší množství nákladu v nádržích o stejném objemu, menší nároky na cenu při výrobě nádrže, lehčí nádrže a možnost výroby větších a ekonomičtějších lodí.[19]

Co se týče materiálu, oceli využitě pro konstrukci nádrže musí splňovat bezpečnostní podmínky za provozní teploty, což je asi -46 °C, abychom mohli bezpečně převážet materiál na těchto teplotách, využíváme dezoxidované oceli, jemnozrnné, oceli legované manganem nebo oceli legované 5 % niklu. [21]

3.3.3 NÁDRŽE ZCELA ZCHLAZENÉ (BEZ POUŽITÍ TLAKU)

Pro převoz zkapalněného LPG v nádrži bez použití tlaku se využívá nádrží typu A neboli nádrží prismatických. Na rozdíl od nádrží typu C nejsou prismatické nádrže sférické nebo cylindrické, jejich tvar je podobný nádržím pro převoz ropy, jsou využívány pro převoz nákladu zcela zchlazeného a maximální přetlak, který je v nich dovolen je 0,7 bar (za normálních podmínek se přetlak pohybuje okolo 0,25 bar).

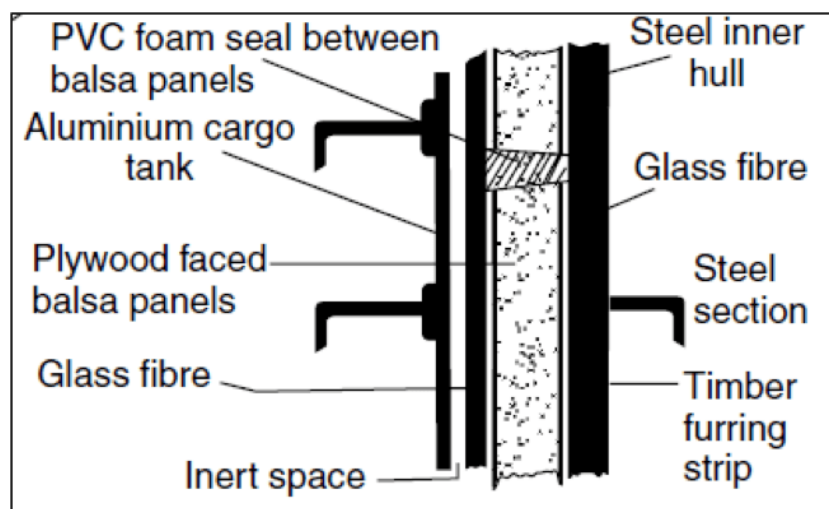
Důležitou vlastností pro nádrže typu A je, že dle norem IGC Code musejí být vybaveny sekundární bariérou, která v případě jakéhokoliv úniku materiálu z nádrže musí být schopná pojmout celý obsah nádrže a udržet jej na provozní teplotě, sekundární bariéra musí být schopná takovýto únik pojmout minimálně po dobu 15-ti dnů.



Obr. 16: Obecné uspořádání pro LPG Carrier s nádržemi typu A[66]

Prismatické nádrže jsou stavěné tak, aby dokázaly vyplnit co největší prostor v trupu lodi, klasické uspořádání (Obr. 16) připomíná rozložení nádrží ropného tankeru. Podobně jako ropné tankery, lodě využívají dvojitého trupu, aby získaly prostor pro převoz balastu při cestě zpět (bez nákladu) a pro zlepšení bezpečnosti.

Konstrukce těchto nádrží pro LPG je velice podobná prismatickým nádržím pro LNG. Zvláštností může být rozdělení mezi nádrží a prostorem pro ballast.



Obr. 17: Spojení nádrží typu A s trupem lodi.[67]

Obr. 17 ukazuje, že nádrž vyrobená ze slitiny hliníku není upevněna jakýmkoliv způsobem k izolaci a trupu lodi. Inertní kapsa (Inert space) odděluje primární vrstvu nádrže od izolace, která je v tomto případě složena směrem ven ze skelného vlákna, překližky a dřevěných panelů, tento prostor slouží nejen jako další vrstva izolace, ale také dovoluje roztahování a stahování primární vrstvy nádrže.[19]

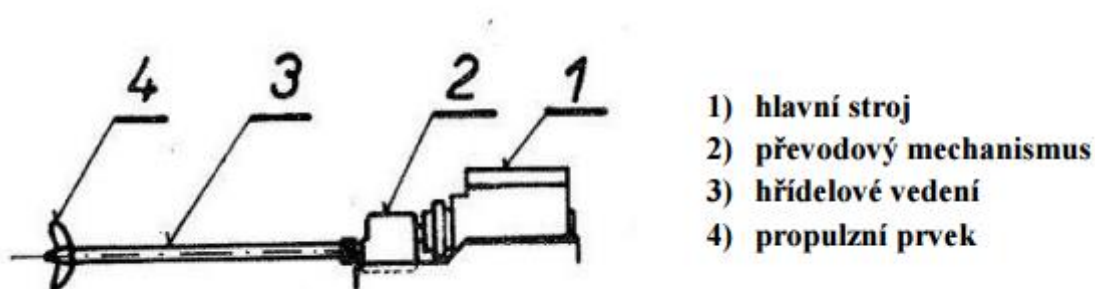


4 VYUŽITÍ PŘEVÁŽENÉHO MATERIÁLU JAKO POHONNÉ HMOTY

Využití převáženého materiálu jako pohonné hmoty je velice důležitým faktorem hlavně z hlediska palivové ekonomiky lodi. Mnoho tankerů využívá takového pohonu, který pro spalování využívá z části nebo úplně právě převáženou hmotu. Tento fenomén je obzvláště výhodný pro převoz zkapalněného plynu, neboť nelze zcela zabránit jeho odpařování, spalování odpařeného plynu jako paliva je velice výhodné, obzvláště v případě LNG, kde by případná reliquifikace byla velice nákladná, proto se odpařený zemní plyn vstříkuje jako palivo do diesellového motoru při procesu spalování (viz.4.3). Ropné tankery z velké většiny pracují pouze na převážené palivo, ať už se jedná o surovou ropu, nebo její rafinované produkty, tento proces je, obzvláště v případě surového produktu, velice ekonomicky výhodný, tato výhoda se však odráží výrazně v jeho dopadu na životní prostředí.

4.1 POHONNÉ SOUSTAVY LODÍ

Pohonná soustava lodi je mechanismus nebo systém jehož účelem je vytvářet tah k pohybu lodi po hladině vody. Většina moderních lodí je poháněna mechanismy nebo systémy skládajícími se z diesellového nebo elektrického motoru, který přenáší kroutící moment skrze převodovku a hřídel na lodní šroub. [22]



Obr. 18: Schéma pohonné soustavy[68]

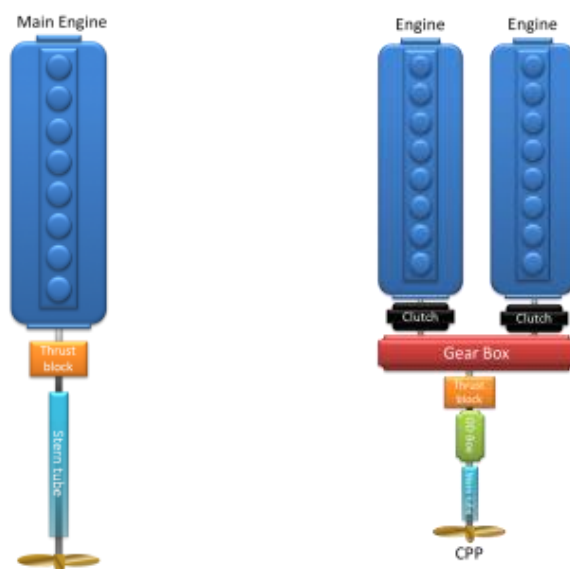


4.1.1 DIESELOVÝ POHON

Nejpoužívanější mezi pohonnými soustavami lodí je diesellový pohon, který je používán téměř ve všech typech plavidel, od největších supertankerů až po malé rybářské a rekreační lodě. Diesellový pohon se dá rozdělit dle rozložení pohonné soustavy.

Nejjednodušší pohonnou soustavou je přímý pohon (Direct Drive) používaný hlavně ve velkých přepravních lodích, Tankerech, Kontejnerových lodích a Bulk Carrierech. Tento pohon využívá jednoho nebo dvou motorů s křížovou hlavou a přímým přenosem otáček na pevný lodní šroub.

Složitější pohonná soustava využívá systému DESS (Double Engine Single Shaft), který se využívá pro lodě střední velikosti a speciální typy lodí, které potřebují pohonnou soustavu s velkou přizpůsobivostí. DESS využívá dvou motorů napojených na převodovku, která snižuje rychlost otáček na optimální pro lodní šroub. Tento systém využívá spojky na vývodu z obou motorů pro odpojení jednoho z nich v případě, že není potřeba. Systém dále využívá lodního šroubu typu CPP (controlable pitch propeller), který dovoluje motorům pracovat za optimálních otáček při jakékoliv zátěži.



Obr. 19 Rozvržení pohonné soustavy: Direct drive (vlevo) a Double Engine Single Shaft (vpravo)[69]



Diesel-elektrický pohon (viz 4.2.2)

Diesel-elektrický pohon využívá kombinace dieselového motoru a generátoru, který následně pohání elektrický motor, a ten přenáší moment na lodní šroub. Tento systém nabízí velkou přizpůsobivost při manévrování a také dobré využití prostoru na lodi, protože nedochází k mechanickému přenosu mezi elektromotory a dieselovými motory, mohou být motory umístěny v jakékoliv vzdálenosti od sebe.[23]

4.1.2 LODNÍ ŠROUB

Kroučící moment vytvořený pohonnou soustavou je přenesen na pohyb lodi pomocí lodního šroubu, ten urychluje masu vody směrem dozadu, a tak vytváří reakční sílu, která pohybuje lodí. Lodě mohou využívat lodního šroubu s pevným nebo proměnným sklonem lopatek. Výhodou proměnného sklonu lopatek šroubu je možnost využití motoru na ideální otáčky, nabízí také lepší efektivitu a manévrovatelnost, neboť přechodu do zpětného chodu lze dosáhnout pouze změnou natočení šroubu, použití tohoto šroubu je však složitější a nákladnější. Motory, které dokáží vždy pracovat na ideální otáčky (Diesel-elektrické) využívají levnějšího pevného šroubu.[24]

4.2 SPALOVÁNÍ PŘEVÁŽENÉ ROPY

Lodní paliva na bázi ropy, nazývané jinak také "Bunker Fuels" (pohonné hmoty) nebo lodní motorová nafta, jsou veškerá paliva náležící pod Palivový standart pro námořní destilovaná paliva – „DIN ISO 8217“.[25]

Tyto paliva se obecně rozdělují do dvou velkých skupin:

HFO (Heavy Fuel Oil) - těžké topné oleje, zbytkové topné oleje

MGO (Marine Gas Oil) - destiláty, frakce ropy

Jakožto třetí velká skupina se uvádí směsi těchto dvou typů pod názvem MDO (Marine Diesel Oil) nebo také IFO (Intermediate Fuel Oils). V užším slova smyslu se MDO vztahuje především na směsi s velmi nízkým podílem HFO, tento typ paliva je proto také v některé literatuře chybně popisován jako pouze destilátový. Velké a masivní lodě mohou pro svůj pohon používat i HFO a MDO, zatímco pohonné jednotky středních a malých lodí nejsou stavěny na takovéto palivo, a proto využívají pouze MGO.[26]



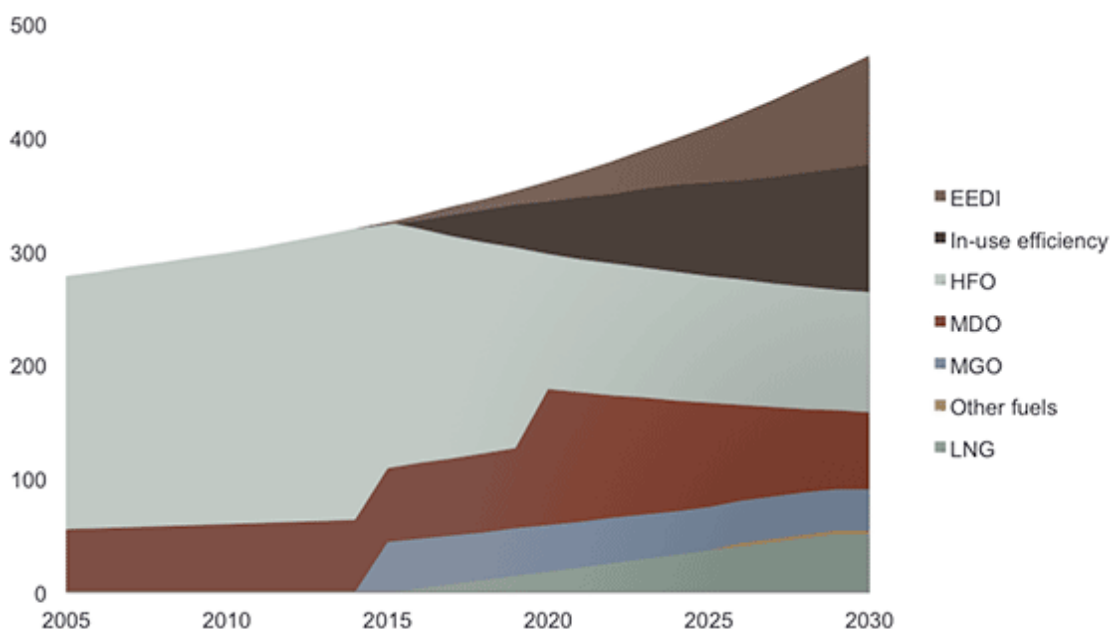
4.2.1 HFO

HFO, zbytkový topný olej nebo těžký topný olej, je založen na vysoce viskózní dehtové hmotě, která zůstává po procesu destilace a následném krakování (frakční destilace) ropy, které slouží k získání lehčích uhlovodíkových produktů, jako je benzín, destiláty motorové nafty a topného oleje nebo surovin pro maziva. Díky jeho polotekuté konzistenci musí být HFO přehřátý, aby jej bylo možno spalovat v motorech. [27]

V souladu s normou „ISO 8217“ jsou HFO rozděleny do šesti skupin s ohledem na jejich kinematickou viskozitu, RMA, RMB, RMD, RME, RMG a RMK. Čím nižší je hodnota kinematické viskozity, tím řidší je palivo a dle obecné zásady je tím i vyšší kvalita paliva.[26]

Jakožto zbytkový produkt je HFO relativně levným palivem, jeho cena je asi o 30 % nižší než u destilovaných paliv, jako MDO (Marine Diesel Oil) a MGO (Marine Gas Oil). HFO se tak stalo standartním palivem pro vznětové motory pro velké lodě během olejové krize v 70. a 80. letech. [27]

Hlavní výhodou HFO je jeho dostupnost a nízká cena, která jej činí nejpoužívanějším palivem v lodní dopravě, v dnešní době jej používá velká většina přepravních lodí.



Obr. 20: Předpokládané využití námořních paliv pro období 2005-2030 [$\times 10^6 \text{ tun}$][70]



HFO má však i velké nevýhody, a to hlavně jeho dopad na životní prostředí. Spalování těžkého topného oleje je zodpovědné za 8 % globálních emisí SO₂ (oxid siřičitý) a v některých přístavních městech, pro příklad v Hongkongu, je jeho hlavním zdrojem společně s produkcí pevných částic. Dopad emisí na pobřeží je dále navýšen potřebou lodí zpomalovat a manévrovat v blízkosti přístavu, což způsobuje zvýšenou spotřebu a snižuje i nárůst vyprodukovaných pevných částic, které se dostanou na pevninu.

Právě kvůli ochraně ovzduší a životního prostředí Mezinárodní námořní organizace (IMO – The International Maritime Organization) zavedla od roku 2015, že v oblastech kontroly emisí (ECA – Emission control area) lodě začnou využívat palivo typu MGO (Marine Gas Oil) s maximálním obsahem síry 1000 ppm (parts per million – částic na jeden milion). [28]

Tato opatření mají za následek, že se v následujících letech bude snižovat využití HFO z důvodů zvýšených nároků na ochranu životního prostředí.

4.2.2 MGO

MGO, „lodní plynový olej“, neboli destilovaná frakce ropy, je název zahrnující veškerá námořní paliva, která vznikají destilací z ropy. Destiláty jsou frakce ropy, které vznikají jejím odpařováním a poté následovným srážením z plynného zpět do kapalného skupenství. MGO většinou obsahuje směs několika různých destilátů, a to v poměru vhodném pro dané využití. MGO je svým složením podobný naftě, ale má vyšší hustotu, na rozdíl od HFO, MGO nemusí být během skladování a přepravy přehříván.

MGO se používá v menších a středně velkých lodních pohonných jednotkách. Je průhledný nebo s jemným zbarvením a má vlastnosti podobné topnému oleji, kterým se dá v případě nedostatku nahradit dle normy ISO 8217. Na rozdíl od HFO a MDO (s vysokým obsahem HFO), má MGO nižší viskozitu a lze jej jednoduše pumpovat do motorového prostoru bez nutnosti jej přehřívát (20 °C), protože je založený na lehčích destilátech ropy.

MGO lze kvalitativně rozdělit do čtyř skupin dle normy „ISO 8217“ - class F, tyto skupiny jsou DMX, DMA, DMB a DMZ. Přestože všechny skupiny lze zahrnout pod název MGO, skupina DMB může obsahovat procentuální obsah HFO, a tím pádem nespadá dle definice do MGO.



MGO může dle ISO 8217 obsahovat maximálně 1,5 % síry, MGO se sníženým obsahem síry se označuje jako LS-MGO (Low Sulfur) a může obsahovat maximálně 0,1 % síry, toto palivo lze tedy používat v oblastech ECA. Většina dopravních společností v oblasti ECA využívá právě MGO s nízkým obsahem síry ze skupiny DMA, efektu snížení emisí síry lze také dosáhnout dodatečným filtrováním nebo použitím odlučovačů (scrubbers). V porovnání s palivy s obsahem HFO, MGO dosahuje podstatně nižších emisí a množství vyloučených pevných částic.

MGO je díky nízkým emisím, jednoduché výrobě, dopravě a možnosti vstřikování bez přehřevu potenciálním palivem budoucnosti pro námořní dopravu, tento jeho vzestup je však omezen jeho vysokou cenou, která se během roku 2016 pohybovala na téměř dvojnásobku ceny za HFO. Vysoké nároky na ochranu životního prostředí brzy zatlačí HFO do pozadí, a proto se předpokládá, že MGO zažije v následujících letech svůj vzestup a technologie námořních motorů se mu přizpůsobí. [29]

4.2.3 MDO/IFO

Termín MDO popisuje námořní palivo, které vzniká jako směs destilátů ropy (MGO) a těžkých topných olejů (HFO) a na rozdíl od nafty používané na souši pro automobily a kamiony, se kterou má podobné vlastnosti, MDO není čistý destilát. Rozdílné poměry HFO/MGO lze vytvořit přímo v rafinérii nebo mícháním předem připravených lodních paliv. MDO je podobný naftě a nemusí být přehříván pro následné použití, ale má větší hustotu a liší se svými vlastnostmi v závislosti na jeho poměru.

Zkratka MDO se velice často používá ve spojení s další zkratkou, a to IFO. V širokém slova smyslu MDO popisuje směs s malým obsahem HFO a lze ho tedy klasifikovat jako střední destilát (IFO). IFO však popisuje směsi paliv s větším až vysokým obsahem HFO, tyto směsi pak lze v některých případech považovat za těžké topné oleje (HFO), to poukazuje na fakt, že tyto zkratky používané k popisu paliv námořní dopravy nejsou přesně specifikovány a mohou se v různé literatuře lišit svým významem. Dle „ISO 8217“, IFO směsi s obsahem RME, RMG a RMK a viskozitou 180 mm²/s a 380 mm²/s lze označit jako zbytkové topné oleje (HFO).

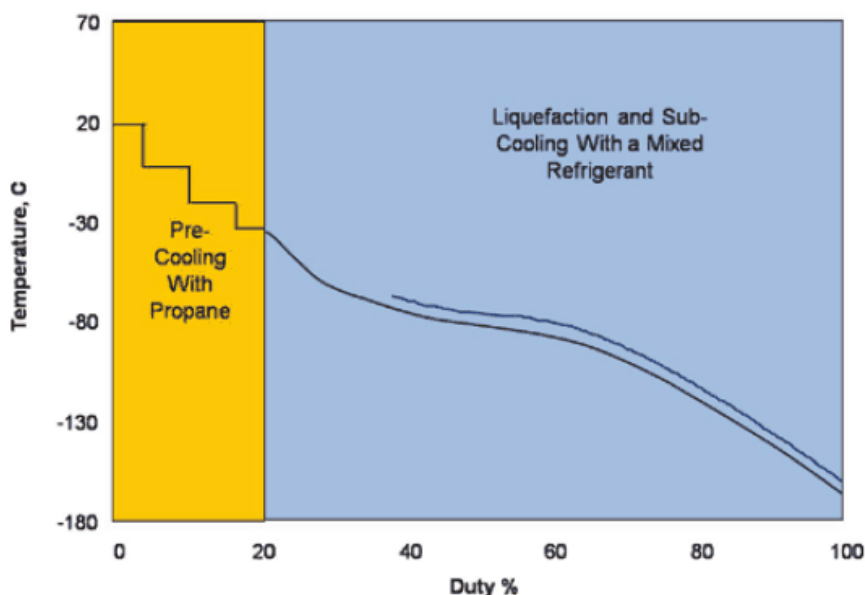
V praxi se nejvíce používá právě IFO, a to IFO 380 a IFO 180 (RMG). Tyto paliva mají dle „ISO 8217“ povolený obsah síry až 3,5 %, ale prodávají se i v odsířených variantách, které nepřekračují 1%, aby tak splnili požadavky vytvořené zónami ECA. IFO je černý kvůli obsahu vysokému obsahu HFO.



Díky možnosti míchat MGO/HFO v různém poměru lze MDO využít v několika různých typech motorů. V praxi se používá hlavně v námořních naftových motorech se středními až středně vysokými otáčkami, ale lze jej využít i ve velkých nízko otáčkových motorech, které normálně používají jako palivo HFO.[30]

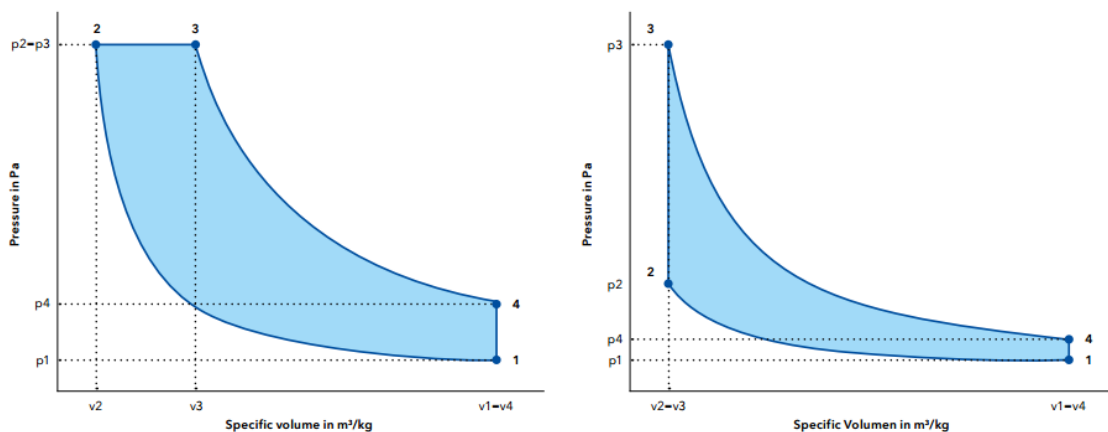
4.3 SPALOVÁNÍ LNG

LNG (Liquified Natural Gas) je zemní plyn převeden do zkapalněné formy ve zkapalňovací stanici. LNG je s ohledem na životní prostředí nejšetrnějším palivem ze všech a je velice atraktivní i z hlediska ceny při porovnání s HFO a MFO.



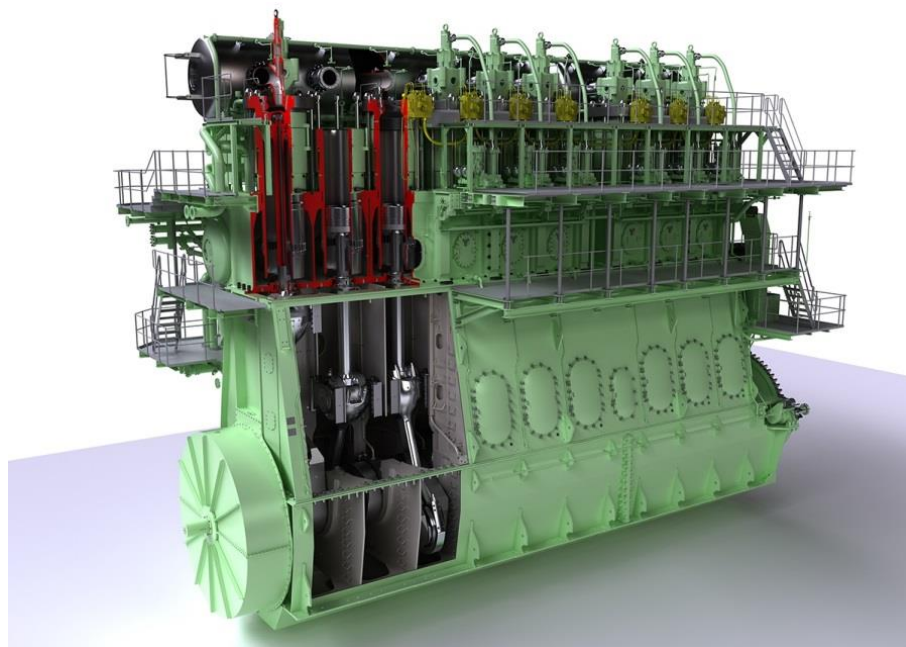
Obr. 21: Proces zkapalňování zemního plynu C3MR[71]

Dnes je dostupných několik druhů pohonných jednotek používajících LNG jako palivo. Lodě převážející LNG nejčastěji používají dvoupalivové (Dual Fuel – DF) hnací systémy, další možností je použití čistě plynového motoru na bázi Ottova cyklu. Dvoupalivové hnací systémy lze dále dělit na dvoudobé a čtyřdobé, vysokotlaké a nízkotlaké. [31][32]



Obr. 22: Dieselův a Ottův cyklus v PV diagramu[72]

Nejpoužívanější jsou dvoudobé motory ME-GI DF od společnosti MAN a čtyřdobé motory RT-lex50, X62DF společnosti Wärtsilä. MAN používá motory dvoupalivové dieselové, vysokotlaké (300 bar). Motor vstřikuje stlačený plyn do hořící směsi, toto mu umožňuje pracovat na bázi Diesela cyklu, zatímco Wärtsilä používá nízkotlaký čtyřdobý motor, který vstřikuje plyn do paliva na začátku komprese nízkým tlakem, mix plynu a vzduchu je poté vznícen na konci komprese pilotním palivem, motor tedy pracuje na bázi Ottova cyklu.[33]



Obr. 23: Dvoupalivový motor MAN ME-GI DF[73]



Důležitou stránkou používání zemního plynu jako paliva je také jeho minimální dopad na životní prostředí. Nízkotlaké dvoudobé a čtyřdobé motory snižují v porovnání s HFO emise NO_x o 85 %, vysokotlaké dvoudobé motory potom o 40 %. Emise pevných částic jsou sníženy o 95 %. LNG také neobsahuje síru. Podle studie DNV GL snižují vysokotlaké motory obsah vypuštěného CO_2 oproti HFO o 26 %.[31]

Zkapalněný zemní plyn je v dnešní době používán jako lodní palivo právě kvůli jeho příznivému dopadu na emise. LNG je mnohými považováno za námořní palivo budoucnosti a jako důležitý faktor při plnění přísnějších předpisů na emise v životním prostředí. Oproti palivům na ropné bázi spalování LNG vylučuje minimální množství pevných částic, emisí sloučenin síry a dusíku. Globální standart pro vylučování emisí v námořní dopravě lze stále považovat za velice mírný a není pochyb o tom, že v následujících letech bude procházet změnami za účelem uvedení emisních limitů pro námořní dopravu blíže k těm pro pozemní dopravu. Lze předpokládat snížení prahových hodnot pro emise oxidu dusíku a oxidu siřičitého a díky tomu odborníci očekávají stále větší využití LNG jako náhrady za paliva na bázi ropy nebo alespoň nárůst jeho využití jakožto část obsahu spalované hmoty.

Dnes neexistují jakákoliv mezinárodně závazná pravidla a normy pro používání a skladování LNG, několik různých výborů a organizací však spolupracuje na jejich vývoji ISO, IMO, SGMF (Society for Gas and Marine Fuel). Z tohoto důvodu není doposud LNG zavedeno jakožto lodní palivo v normě „DIN ISO 8217“ i přesto, že je veřejně používáno.[26]



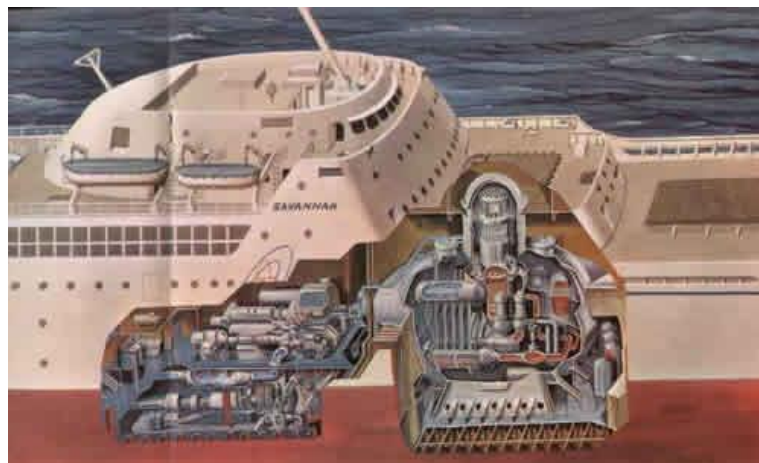
4.4 ALTERNATIVNÍ TYPY POHONU

Napříč historií, od dob prvního mořeplavectví využívajícího primitivních plachetnic, až po obrovské efektivní dieselové motory 20. století, vzniklo mnoho alternativ pro pohon lodí. Jednou z nejvíce očekávaných byl jaderný pohon, ve své době považován za senzací s jasnou budoucností v lodní přepravě, který se však dočkal pouze selhání díky svojí složitosti, nebezpečnosti a neochotě trhu pro jakoukoliv změnu. Tuto změnu přinesl až diesel-elektrický motor, který svojí jednoduchostí a efektivitou předešel veškeré typy pohonů, neboť dokázal už tak velice efektivní, dieselový motor udržet na ideálním výkonu, a tak využít jeho plného potenciálu. Dalším široce používaným alternativním pohonem pro velké tankery je překvapivě větrný pohon, který využívá s minimálními náklady síly přírody k pohonu obrovských plavidel a ukázal se jako podstatný faktor při ochraně životního prostředí.

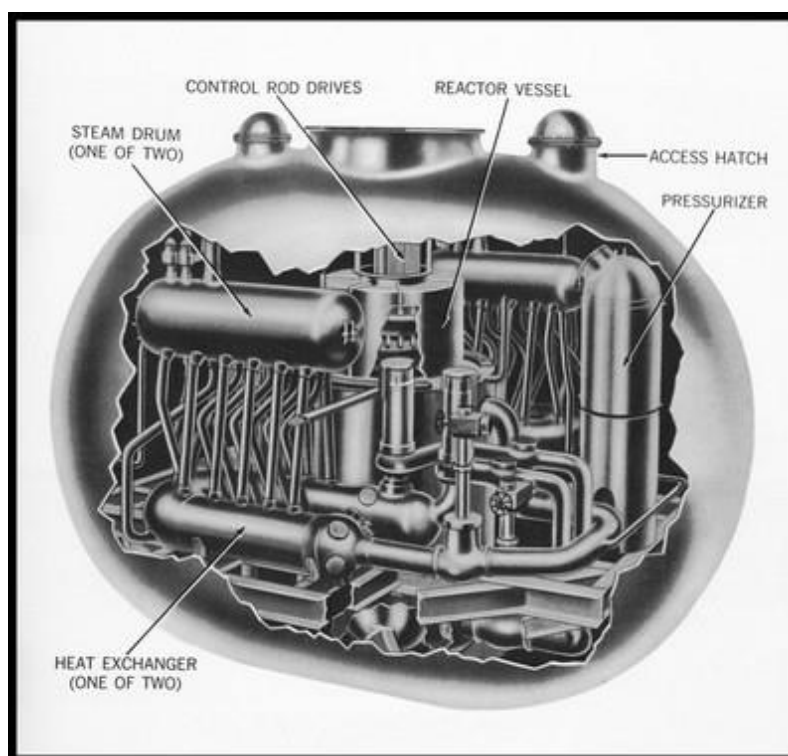
4.4.1 JADERNÝ POHON

V roce 1959, jako součást iniciativy “Atoms for peace“, prezident USA Dwight Eisenhower přišel s návrhem postavit loď s jaderným pohonem pro civilní použití, tato loď N/S SAVANNAH se stala první nákladní lodí na jaderný pohon v roce 1959. NS Savannah měla představovat potenciál pro využití jádra jako paliva pro lodní dopravu, který se však ukázal neatraktivním, pouze tři další lodě pak následovaly tuto iniciativu. Německý NS Otto Hahn, ruská kontejnerová loď Sevmorput a japonská NS Mutsu.

NS Savannah byla původně postavena pro převoz osob, poté však byla v roce 1965 pronajata jako loď nákladní. Savannah měla pouze 18 000 kubických metrů nákladového prostoru a její úprava trupu nedovolovala jednoduchou nakládku materiálu, její posádka byla větší a musela být doplněna o speciálně vyučené pracovníky pro obsluhu reaktoru. Přestože bylo využití jádra jako pohonu pro nákladní loď úspěchem, NS Savannah, tak jako její tři následovníci, byly jednoduše zastíněny levnějšími a ekonomičtějšími loděmi na standardní typy paliva. Savannah stála ročně o 2 000 000\$ více v provozních nákladech než standardní loď podobných rozměrů s motorem na spalování oleje. Loď vyžadovala speciální posádku a přístavní podmínky pro její údržbu a ukázala se být nedostatečnou alternativou masivním lodím, které v té době začaly převládat na trhu.



Obr. 24: Pohonná jednotka N. S. Savannah[74]



Obr. 25: Uložení reaktoru v pohonné jednotce[75]

Jaderný pohon nenašel svoje využití pro nákladní lodě a dnes se používá v civilní dopravě pouze omezeně, a to hlavně jako pohon pro ruské ledoborce. Hlavní využití těchto motorů je v armádním sektoru, hlavně pro pohon letadlových lodí. Jeho hlavní výhodou je malý dopad na životní prostředí a obrovský dosah lodi, která by vydržela na otevřeném moři i několik let bez potřeby doplnění paliva. Mezi nevýhody patří velká hmotnost a rozměrnost jaderného pohonu, která mění klasickou strukturu lodi, problémy s uskladněním vyhořelého paliva a také nebezpečí vzniklé při možné havárii a úniku radiace z reaktoru.[34][35]



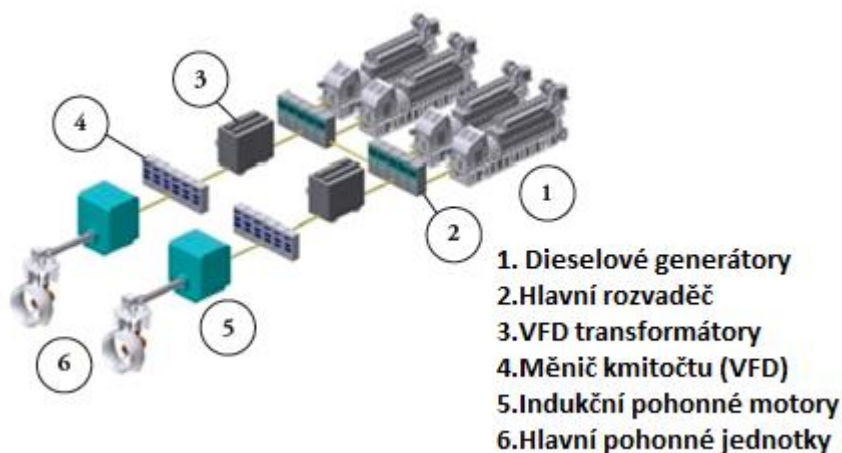
4.4.2 DIESEL-ELEKTRO MOTORY

Ve srovnání s dieselvými pohony, diesel-elektro motory jsou jak technicky, tak provozně lepší pro téměř všechny aplikace. Právě tato nadřazenost je jedním z hlavních důvodů pro stále rostoucí poptávku po diesel-elektrických pohonných jednotkách v námořních inženýrských aplikacích. [36]

Diesel-elektrické pohony mají několik zásadních výhod, mezi hlavní patří snížená spotřeba paliva a snížení vytvářených emisí, a to díky možnosti optimalizovat zatížení dieselvých motorů a elektrocentrál přesně dle potřeby.

Výhodou je také lepší přenos kroutícího momentu na lodní šroub, diesel-elektrické pohony používají pevný lodní šroub (FPP – fixed pitch propeller), pro který upravují otáčky, zatímco ostatní pohony používají regulovatelný lodní šroub (CPP – controllable pitch propeller) za konstantních otáček.[24]

Mezi další výhody patří větší spolehlivost a životnost pohonných soustav, zlepšená manévrovatelnost lodi, možnost převozu většího nákladu a také snížení hluku a vibrací od pohonné jednotky.[36][37]



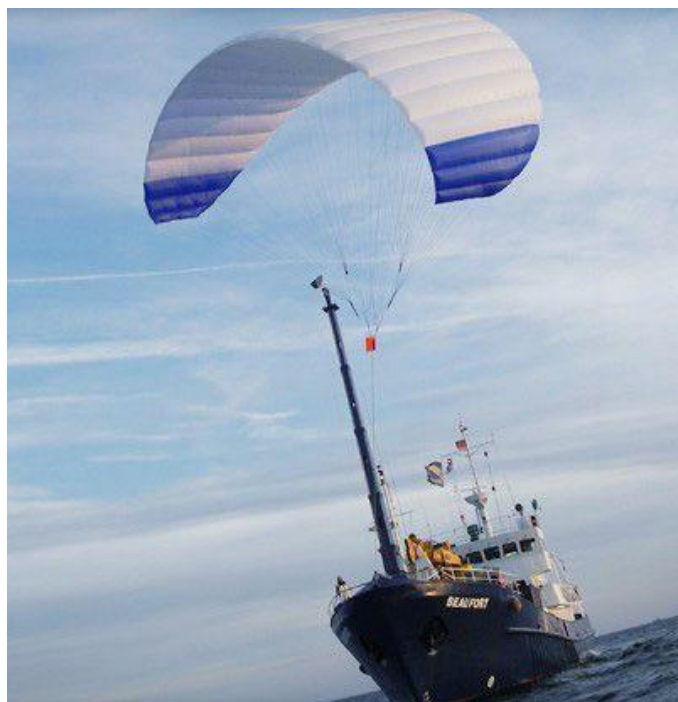
Obr. 26: Schéma diesel-elektrické pohonné jednotky[76]

Pro LNG carrier je typickou konfigurací set dvou vysokorychlostních elektromotorů, 600 nebo 720 otáček za minutu, a redukční převodovka Twin-in-single-out, použité alternátory mají rozsah 40 MW.



4.4.3 VĚTRNÝ POHON

Vzdušný pohon vznikl jako alternativní forma pohonu k systémům, které produkují obrovské množství emisí. Bohužel, využití větrné turbíny jako pohonu u velkých komerčních lodí se neosvědčilo díky své neefektivitě a potřebě neustálé větrnosti. Dva typy větrného pohonu pro dopravní lodě však našly svoje, i když omezené využití. Pohon za pomoci “draka” (kite propulsion) a pohon za pomoci plachet.[23]



Obr. 27: Pohon za pomoci “draka”[77]



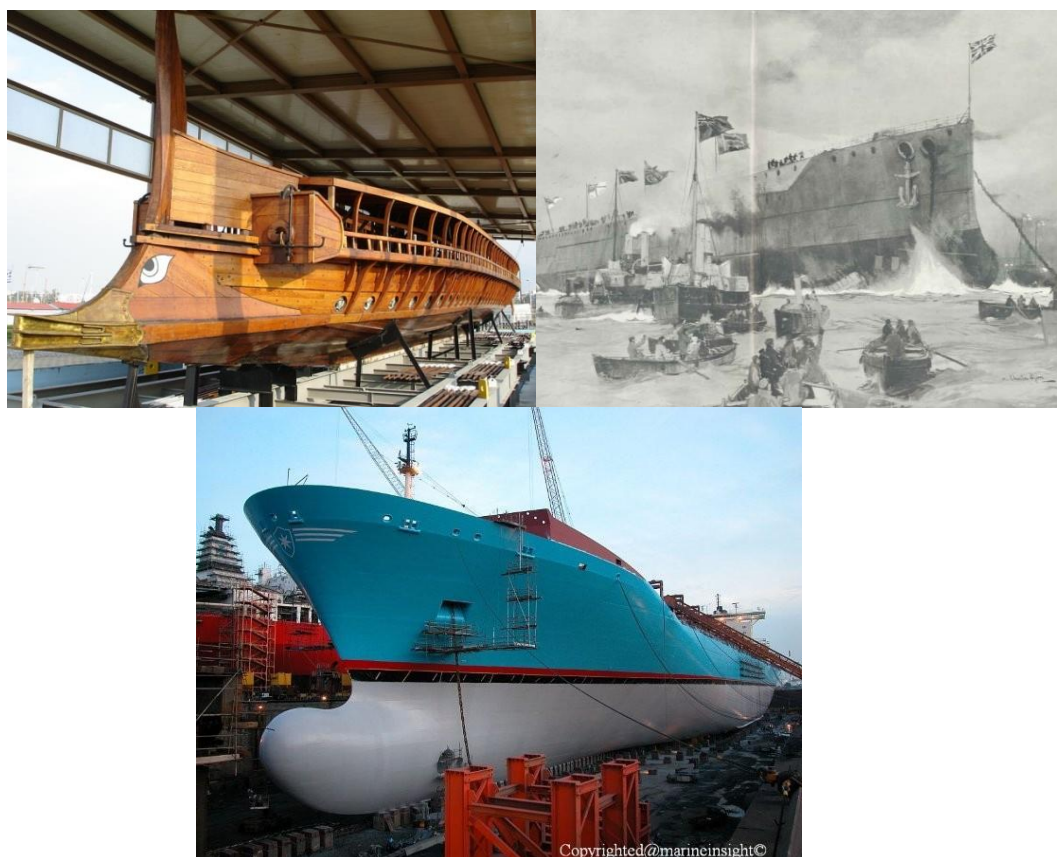
5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TRUPU

5.1 VÝVOJ LODNÍ PŘÍDĚ

Nejpřednější hrana lodi se nazývá příď a dává lodi schopnost rozdělit, proříznout vlny, přes které se pohybuje. Tato schopnost lodi velice ovlivňuje její rychlost, spotřebu paliva, a dokonce bezpečnost během plavby v nebezpečných podmínkách, jako je třeba bouřka.

Příď lodě je navržena tak, aby rozbíjela vlny, logicky tedy, příď by měla jak při pohledu shora, tak ze strany vypadat jako klín, který rozetne příchozí vlnu. Přídě mnoha moderních lodí se řídí touto logikou a dají se proto nazývat jako přídě tvaru čísla sedm (7-shape), protože tvar čísla připomíná tvar této přídě lodi.

V průběhu historie se tvar přídě lodí měnil, a to hlavně u válečných lodí. V 7. až 4. století př. n. l. ovládaly v té době známé moře řecké lodě Trireme, které se vyznačovaly přídí používanou jako beranidlo, která sloužila k drcení nepřátelských lodí. S pozdějším vývojem boje na dálku se opustilo od potřeby poškozovat nepřátelské lodě přímým kontaktem, a tak design přídě vrátil zpět k normálu (7-shape). Design tvaru přídě se v průběhu let měnil pouze minimálně a další podstatnou změnou prošel na konci 19. a začátku 20. století, kdy došlo nečekaně k návratu přídí konstruovaných jako beranidlo, známé jako přídě tvaru písmena C (C-shape), jak ve své knize *U.S. Battleships: An Illustrated Design History* vysvětluje Norman Friedman, tento typ přídě byl navržen tehdejšími konstruktéry z důvodu nebezpečí srážky lodí při bitevních manévrech, tento typ přídě měl zamezit případnému poškození důležitých částí lodi při kolizi. Využití přídě jako beranidla je zdokumentováno v případě lodi HMS Dreadnought, která se zapsala do historie, když v roce 1915 jakožto jediná loď v historii potopila ponorku, a to právě tím, že do ní narazila svojí přídí. [38]



Obr. 28: Vývoj lodní příďe skrze historii. Trireme, HMS Dreadnought, Jorung 203 Tanker [78]

V pozdějším vývoji lodí byl tvar typu C (C-shape) lehce upraven a z příďe, která mohla na první pohled připomínat beranidlo vzniknul jeden z dnes nejpoužívanějších typů příďe, hruškovitá příď. Na konci 1. světové války se vývoj lodních příďí posunul značně kupředu a začaly vznikat nové designy příďí, každý se svým opodstatněním a využitím v jiných podmínkách. [44]

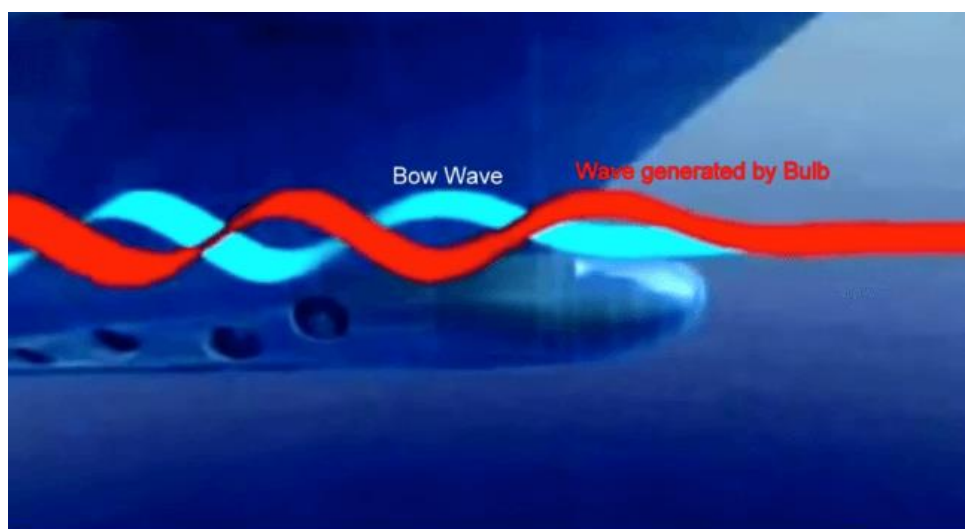


5.2 HRUŠKOVITÁ PŘÍDĚ (BOULBOUS BOW)

Hruškovitá příď je hlavička tvarem podobná hrušce na přídi lodi pod úrovní ponoru, viditelná na lodi většinou pouze v suchém doku. Hlavička přídě mění způsob, kterým voda proudí okolo trupu, snižuje třecí síly působící na loď, zvyšuje její rychlost, dosah a palivovou účinnost.

Hruškovitá příď jako taková byla vyvinuta v 50. letech jako součást výzkumu pro snížení tření na velkých komerčních lodích při zaoceánských plavbách. Tento výzkum byl započat jako reakce na zvyšující se ceny paliva. Hruškovitá příď obvykle snižovala spotřebu paliva až o 5 %, ačkoli pouze v omezeném rozsahu rychlostí a ponoru. Takovéto snížení bylo důležité pro velké lodě na zaoceánských plavbách, pro menší lodě však nebylo dostatečně atraktivní. Dnešní lodě s hruškovitou přídí mají o 12 až 15 % lepší spotřebu paliva než lodě podobné stavby bez hruškovité přídě. Efekt hruškovité přídě lze také využít pro zvýšení rychlosti při stejném použitém výkonu, přicházíme tím však o výhodu snížení spotřeby.

Hruškovitá příď může mít různé rozměry a tvar, obecně však připomíná trubku velkého průměru s kuželovitým zakončením. Základním hydrodynamickým principem je vytváření takzvané sekundární vlny od proudící vody, která se sráží s primární vlnou, následující destruktivní interference má za následek snížení aerodynamického odporu. Z fyzikálního hlediska voda, která prochází přes vršek hruškovité přídě vyvíjí tlak působící směrem dolů, který udržuje zád lodi od ponoru (stern squatting), toto působí kladně na vyvážení lodi, její pohyb po vlnách a následně i na snížení odporu při pohybu. [39][40]



Obr. 29: Vlna od přídě a hrušky, obě mimo fázi[79]



5.3 PROJECT X-BOW / PŘEVŘÁCENÁ PŘÍĎ (INVERTED BOW)

X-bow neboli převrácená příď je unikátní design, který byl představen skupinou Ulstein Group z Norska v roce 2006. Od té doby získal tento design pozitivní recenze z celého světa a je nyní používán na několika typech lodí. [41]

X-bow design byl představen jako prostředek pro získání vyšší rychlosti a snížení nárazů a vibrací za zhoršeného počasí, je podobný sekerové přídi (axe bow) a dosahuje také sníženého rozstříku vody na vstupu do vlny a sníženého houpaní na vlnách až o 20 %. Tato příď dokáže pracovat efektivně na vlnách střední a vysoké výšky a dosahuje dobrých výsledků i co se týče spotřeby paliva. Loď nemusí na rozdíl od lodí s jiným typem příďe snižovat rychlost, když se setká s rozbouřeným mořem a zachovává si tak lépe naplánovaný čas cesty.



Obr. 30: Porovnání provedení X-bow s normální přídí při průchodu vlnou[80]

Hlavní výhoda převrácené příďe však spočívá v pohodlí posádky. Loď se pohybuje méně i za zhoršených podmínek, příď prochází vlnami jako jehla, a tak loď na rozbouřeném moři proplovává téměř rovně místo toho, aby šplhala po vlnách a poté se řítila dolů s nárazem na konci, toto zajišťuje lepší pracovní podmínky a může zabránit posuvu nákladu na palubě. Příď je na rozdíl od příďe sekerové zaoblená, a tím vzniká také další prostor, který lze využít jako obytný nebo skladovací.

„The experience is quite amazing. I cannot imagine myself ever travelling with a conventional bow vessel again in winter time.“ Captain of the AHTS Bourbon Orca.

„Je to úžasná zkušenost, nedokáži si představit, že bych v zimním období mohl znovu cestovat na lodi s normální přídí“ Kapitán lodi AHTS Bourbon Orca. [42]



První lodí používající X-bow design se stala v roce 2006 AHTS (Anchor Handling Tug Supply Vessel – manipulační vlečné a zásobovací plavidlo) Bourbon Orca.



Obr. 31: Norské vlečné a zásobovací plavidlo Bourbon Orca s přídělí X-bow[81]

Při prezentaci X-bow v roce 2005 designéři tvrdili, že lodě s tímto typem přídělí budou jednodušší na stavbu a méně náročné na materiál. V roce 2006 byl tento výrok vystaven zkoušce a potvrzen při konstrukci převráceného trupu v Maritim Ltd.

Dle marketingového ředitele Yuriy Dovgiy společnosti Ulstein, byl tento trup postaven s 15% snížením na pracovní nároky při produkci dílů a jejich sestavování, cena za sestavení, svaření a ohýbání výstroje lodi byla dokonce poloviční a dala by se dále snížit za použití automatických a poloautomatických svářečů. [43]

Tyto informace by mohly znamenat převrat v konstrukci a stavbě lodních trupů, je však předčasné tvrdit, že převrácené trupy jsou budoucností v námořní přepravě, neboť je používá prozatím pouze okolo stovky plavidel.

Převrácená příděl se prozatím využívá hlavně pro přímořská podpurná a zásobovací plavidla, nové návrhy však vznikají i pro zaoceánské a kontejnerové lodě a o koncept X-bow se zajímá stále více společností pro námořní přepravu.



5.4 SPECIÁLNÍ TYPY PŘÍDĚ POUŽÍVANÉ V LODNÍ DOPRAVĚ

Zobáková příď (beak bow)

Předchůdce přídě Ax, tato příď se vyznačuje tvarem podobným na pohled ptačímu zobáku. Ve vysokých vlnách zobáková příď nabízí až 30 % snížení tření oproti normální přídi. Zobáková příď se používá hlavně u menších lodí.

Příď Ax (Ax bow)

Příď Ax se vyznačuje podobným tvarem jako zobáková příď. Zatímco spodní část přídě zůstává stejná jako u normální přídě, vrchní část připomíná ostrý zobák. Tento tvar byl navržen tak, aby případné vlny odrážel do strany místo dopředu. Příď Ax na rozdíl od zobákové přídě splňuje nárok na ostrost přídě, což dovoluje její využití i na velkých lodích. Tato příď dle měření snižuje tření o 20 až 30 %. [45]



Obr. 32: Tanker používající příď Ax[82]

Příď ledoborce

Ledoborce mohou využívat několik typů přídě, klasické ledoborce využívají normální příď, která je však zesílená. Pro tenký led mohou ledoborce využívat zesílenou příď s tzv. příďovým pluhem, který prořezává led stálým tlakem z boku, ty se pak označují jako ledořez. Klasický ledoborec vytlačuje svoji příď pohonem nad úroveň ledu a láme jej potom svojí vahou.[46]



Sekerová příď (axe bow)

Koncept příďe prezentovaný v roce 1995, podobný v několika aspektech převrácené přídi. Sekerová příď je navržena pro prorážení vln, vyznačuje se rovnou, vertikální linkou na celé délce příďe, která připomíná svým tvarem právě sekeru. Tato přední část (forefoot) je z velké části ponořená a dává lodi schopnost řezat vlny, toto snižuje náklon lodi při pohybu přes vlny. Spodní část příďe se za normálních podmínek nevynoří z vody, loď je tedy ve většině případů chráněná před volnými nárazy na vodní hladinu. Sekerová příď tedy napomáhá udržet rychlost a stabilitu lodi i na rozbouřeném moři podobně jako převrácená příď, na rozdíl od konceptu X-bow, sekerová příď však vyžaduje o mnoho větší manévrovací sílu pro změnu směru.[44]



Obr. 33: Jachta využívající příďe typu Axe[83]



6 POROVNÁNÍ A VÝSLEDKY

6.1 STATISTIKA NÁMOŘNÍ DOPRAVY ZA ROK 2016[84]

Dle konference OSN o obchodu a rozvoji (United nations conference on trade and development) UNCTAD v roce 2015 světový námořní obchod poprvé překonal hodnotu 10-ti bilionů tun převezeného materiálu a zboží (viz tab. 1). Z toho téměř 30 % zaujímá přeprava kapalných a plyných látek.

Tab. 1 Rozvoj mezinárodní námořní dopravy ve vybraných letech v milionech tun převezených

	Kapalné a plyné	Pevné materiály	Převezené zboží	Celkově
1970	1440	448	717	2605
1980	1871	608	1225	3704
1990	1755	988	1265	4008
2000	2163	1295	2526	5984
2005	2422	1709	2978	7109
2006	2698	1814	3188	7700
2007	2747	1953	3334	8034
2008	2742	2065	3422	8229
2009	2642	2085	3131	7858
2010	2772	2335	3302	8409
2011	2794	2486	3505	8785
2012	2841	2742	3614	9197
2013	2829	2923	3762	9514
2014	2825	2985	4033	9843
2015	2947	2951	4150	10047

Pro rok 2015 je odhadované množství převezených kapalných a plyných látek dle UNCTAD takovéto:

Tab. 2: Odhadované množství převezených kapalných a plyných látek pro rok 2015

Převezený náklad	Množství
Surová ropa (Crude oil)	1,77 bilionu tun
Ropné produkty (Refined petroleum products)	1,17 bilionu tun
Plyn ve zkapalněném stavu (Liquified gas)	338,3 bilionu m ³



Rozdělení dle celkové objemové nosnosti - tonáže (dead-weight tonnage) v roce 2016, při porovnání s celkovým světovým objemem nosnosti:

Tab. 3: Rozdělení dle DWT pro rok 2016

Typ lodě	Tonáž [x1000 t]	Procento nosnosti [%]
Ropný tanker	503 343	27,9
Tanker pro převoz plynů	54 469	3
Chemický tanker	44 347	2,5
Celosvětově	1 806 650	100

6.2 EFEKTIVITA NÁMOŘNÍ DOPRAVY [48]

Při porovnání námořní dopravy s ostatními typy dopravy je námořní doprava nejefektivnějším typem dopravy v přepočtu na ujetou vzdálenost na galon paliva na tunu nákladu. Dle studie Námořní správy USA (U.S. Maritime Administration), A MODAL COMPARISON OF DOMESTIC FREIGHT TRANSPORTATION EFFECTS ON THE GENERAL PUBLIC z roku 2007 vznikla následující tabulka porovnání silniční, železniční a vnitrozemské lodní dopravy za použití hodnot uvedených ve studii. Výpočet ve studii byl proveden dle vzorce:

$$\eta = d \cdot m$$

η – Efektivita módu dopravy [Tuna-Míle/Galon]

d - Průměrná ujetá vzdálenost na jeden galon[Míle/Galon]

m – Odhadovaná hmotnost převezeného nákladu [Tuna]

Pro přepočet na Tuna-Kilometr/Litr jsem použil hodnoty:

Míle = 1,609 km

Námořní míle = 1,852 km

Galon = 3,785 l



Tab. 4: Porovnání efektivity dopravy

Mód přepravy	η [Tuna-Míle/Galon]	Tuna-Kilometr/Litr
Kamionová doprava	155	66
Vlaková doprava	413	176
Vnitrozemská lodní doprava	576	244
Kontejnerová loď Emma Maersk	698*	297*
Chemický tanker 45 000 DWT	1418*	602*
Suezmax tanker 166 300 DWT	2797*	1189*
Supertanker Pierre Guillaumat 555 051 DWT	2880*	1224*

*Uvedené hodnoty pro námořní dopravu jsou vyvozeny z výpočtu obsahujícího průměrnou rychlost v uzlech za hodinu a průměrnou denní spotřebu hlavního motoru v tunách paliva (Fuel oil 60F), pro převod tun paliva na galony paliva byl použit koeficient 269,233 galon/tuna. Za průměrnou rychlost byl považován průměr maximální rychlosti a manévrovací rychlosti daného plavidla. Pro převod námořních mil na míle byl použit koeficient 1,151 mil na námořní míli. Dále, jeden uzel byl považován za jednu námořní míli za hodinu. Tyto výpočty nejsou v žádném případě přesné a měly by být, proto považovány pouze za orientační, tyto výpočty nebyly jakkoliv vědecky nebo prakticky ověřeny.



6.3 EKOLOGICKÝ DOPAD

Námořní doprava je považována za jeden z největších činitelů, co se týče dopadu na životní prostředí. Na tomto stanovisku se podepsalo množství faktorů, námořní doprava společně s leteckou používá pro pohon těžkých topných olejů (HFO), které se vyznačují velkým množstvím emisí. Za další faktor lze považovat množství havárií ropných tankerů, které způsobily únik tisíců tun surové ropy do moře a na pobřeží. Hluková zátěž neboli znečištění hlukem, přestože se může zdát nepodstatné, je také velice důležitým faktorem.

6.3.1 EMISE SPALOVÁNÍ

Mezi nejzávažnější faktory znečištění životního prostředí lze považovat emise znečišťujících látek, v námořní dopravě se toto týká hlavně ropných tankerů, které pro svůj pohon využívají těžké topné oleje a zbytkové produkty rafinace surové ropy (HFO). Dvěma hlavními znečišťujícími látkami jsou oxidy dusíku NO_x a oxidy síry SO_x, které přispívají k acidifikaci oceánů a poškození ozónové vrstvy.

V předešlých letech byl, co se týče lodní dopravy, brán malý ohled na ochranu životního prostředí, spalování HFO je velice ekonomicky výhodné a potřeba dovážet fosilní paliva od druhé poloviny 20. století narostla dramaticky. Nové kroky byly podniknuty až v posledních letech, a to Mezinárodní námořní organizací (IMO), která zavedla od roku 2015 oblasti kontroly emisí (ECA), v těchto přímořských oblastech nemohou lodě využívat palivo s větším obsahem síry než 1000 ppm (částic na jeden milion), což výrazně snížilo emise v přímořských oblastech. Očekává se, že podobná pravidla budou v blízké budoucnosti zavedena pro námořní dopravu jako takovou, tento krok je velice drastický obzvláště z hlediska ekonomiky námořní dopravy, a proto bude přiveden do platnosti ve fázích, HFO by mělo být nahrazeno odsířeným MFO a jako zajímavá možnost se ukazuje také částečné spalování LNG, které při využití v dvou-palivových motorech (Dual Fuel) značně snižuje množství emisí SO₂ a pevných částic.[28][49]

6.3.2 HAVÁRIE TANKERŮ

Kvůli tomuto nebezpečí a mnoha haváriím devastujícím životní prostředí v roce 1990 vzniknul zákon OPA (Oil Pollution Act of 1990), a to hned po havárii tankeru Exxon Valdez. Tento zákon určil podmínku, že veškeré tankery vyrobené po této havárii musí používat dvojitý trup (Double hull) a nadále fungující tankery s jednou vrstvou budou vyřazeny do 25-ti let (2015).



ZÁVĚR

Nádrže pro přepravu kapalných a plyných látek jsou konstrukčně řešeny tak, aby vyhovovaly specifikacím dopravce a dopravovaného materiálu. Pro přepravu LNG jsou ve stejné míře používány nádrže membránové a nádrže sférické. Pro převoz ropy se dnes používá výhradně dvouplášťových tankerů, které jsou si svojí konstrukcí velice podobné a liší se pouze uspořádáním nádrží, jak je uvedeno výše. Do vlastní kategorie lze zařadit nádrže pro převoz nebezpečných látek, tyto nádrže se značně liší dle materiálu, který loď převáží. Nádrže pro převoz LPG jsou v mnoha ohledech podobné nádržím pro LNG, LPG však nevyžaduje extrémního podchlazení (-48 °C), tak jako LNG (-162 °C), proto pro jeho přepravu lze využít i nádrží zcela nebo mírně pod tlakem.

Většina přepravců kapalných a plyných látek dnes využívá pro pohon z části nebo úplně jako palivo převážený materiál, obzvláště surová ropa a těžké topné oleje jsou velice cenově příznivé, jejich nevýhodou je však velký dopad na životní prostředí. Díky nově zavedeným regulacím emisí je dnes zakázáno spalování těžkých topných olejů v přímořských oblastech. Velice výhodné a ekologicky příznivé je spalování převáženého LNG. To vytváří minimální množství emisí a je pro lodní průmysl považován za palivo budoucnosti.

Dalším důležitým aspektem lodní dopravy je konstrukce trupu lodí. Obzvláště konstrukce přídě značně ovlivňuje palivovou efektivitu a bezpečnost lodě. Většina velkých dopravních lodí dnes používá hruškovitou příd.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] The History of Ships: Ancient Maritime World. *Marine Insight* [online]. 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/maritime-history/the-history-of-ships-ancient-maritime-world/>
- [2] Tanker History. *Global Security* [online]. ©2000-2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/tanker-history.htm>
- [3] LNG Tanker History. *Global Security* [online]. ©2000-2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/tanker-lng-history.htm>
- [4] Different Types of Tankers: Extensive Classification of Tanker Ships. *Marine Insight* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/types-of-ships/different-types-of-tankers-extensive-classification-of-tanker-ships/>
- [5] The TI Class Super Tankers: The Fantastic Four. *Marine Insight* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/types-of-ships/the-ti-class-super-tankers-the-fantastic-four/>
- [6] Carrying liquefied natural gases by various type LNG ships. *Liquefied Gas Carrier* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.liquefiedgascarrier.com/Liquefied-Natural-Gas-Carriers.html>
- [7] LNG vessel construction: Advantages of membrane technology. *Liquefied Gas Carrier* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.liquefiedgascarrier.com/LNG-vessel-construction.html>
- [8] NO93 system. *GTT* [online]. Gaztransport & Technigaz 1, route de Versailles 78470 Saint-Rémy-lès-Chevreuse France, c2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.gtt.fr/en/technologies-services/our-technologies/no96>
- [9] Mark III systems. *GTT* [online]. Gaztransport & Technigaz 1, route de Versailles 78470 Saint-Rémy-lès-Chevreuse France, c2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.gtt.fr/en/technologies-services/our-technologies/mark-iii>



- [10] LNG vessel construction: Advantages of Moss Rosenberg technology. *Liquefied Gas Carrier* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.liquefiedgascarrier.com/moss-rosenberg-containment-system.html>
- [11] *The MOSS LNG carrier* [online]. NTNU 7491 Trondheim NTNU i Gjøvik Postboks 191 2802 Gjøvik NTNU i Ålesund Postboks 1517 6025 Ålesund, 2000 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4215/innhold/LNG%20Conferences/2000/Data/Papers/Christiansen.pdf>. NTNU.
- [12] SPB TECHNOLOGY. *IHI OFFSHORE GROUP* [online]. Offshore Group, Ship & Offshore Engineering Department, IHI, 2000 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.ihico.jp/offshore/spbmenu_e.htm
- [13] MOON, Kiho, Daejun CHANG a Hyundai Heavy Industries, *Comparison of Spherical and Membrane Large LNG Carriers in Terms of Cargo Handling* [online]. Trondheim NTNU, Ålesund, 2005 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4215/innhold/LNG%20Conferences/2005/SDS_TIF/050207.pdf. NTNU.
- [14] A Final Farewell to Oil Tankers with Single Hulls. *Office of Response and Restoration* [online]. NOAA Office of Response and Restoration 1305 East-West Highway Silver Spring, Maryland 20910: ORR, 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://response.restoration.noaa.gov/about/media/final-farewell-oil-tankers-single-hulls.html>
- [15] Understanding Design Of Oil Tanker Ships. *Marine Insight* [online]. 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/oil-tanker-ships/>
- [16] Types of Chemical tankers at Sea. *Chemical tanker guide* [online]. Copyright©2011-2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.chemicaltankerguide.com/types.html>
- [17] FARRELL, BARRAS, GOODWIN. *Modern Chemical Tankers* [online]. Lloyd's Register of Shipping, London, 1994 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.sname.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=e156364a-39b8-4bde-add4-3ca705d6530f>
- [18] CLASSIFICATION OF DANGEROUS GOODS. *ARKAS Line* [online]. Esentepe Gazeteciler Mahallesi Matbuat Sokak No: 5 Sisli – Istanbul, Turkey, c2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.arkasline.com.tr/en/dangerous_cargo_imo_codes_and_symbols.html



- [19] Cargo Containment Systems in Liquefied Gas Carriers. *Liquefied Gas Carrier* [online]. c2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.liquefiedgascarrier.com/cargo-containment-systems.html>
- [20] Understanding The Design of Liquefied Gas Carriers. *Marine Insight* [online]. 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-liquefied-gas-carriers/>
- [21] *International Safety Guide for Inland Navigation Tank-barges and Terminals: CHAPTER 33 TYPES OF GAS CARRIERS* [online]. 2010 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.isgintt.org/files/documents/Chapter_33en_isgintt_062010.pdf
- [22] Marine propulsion. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_propulsion
- [23] Different Types of Marine Propulsion Systems Used in the Shipping World. *Marine Insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/main-engine/different-types-of-marine-propulsion-systems-used-in-the-shipping-world/>
- [24] Propellers: CPP and FPP. <http://www.masson-marine.com/> [online]. MASSON MARINE - 5, rue Henri Cavallier - 89100 Saint Denis les Sens - France [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.masson-marine.com/en/propellers-cpp-and-fpp_03.html
- [25] Petroleum products — Fuels (class F): Specifications of marine fuels. *ISO Online Browsing Platform* [online]. c2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8217:ed-6:v1:en>
- [26] Marine Diesel Oil (MDO). *Marquard & Bahls* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-fuels.html>
- [27] HFO. <http://powerplants.man.eu/> [online]. MAN Diesel & Turbo SE Power Plants Stadtbachstr. 1 86153 Augsburg Germany [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://powerplants.man.eu/fuels/hfo>
- [28] The end of the era of heavy fuel oil in maritime shipping. <http://www.theicct.org/> [online]. 2014 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.theicct.org/blogs/staff/end-era-heavy-fuel-oil-maritime-shipping>



- [29] Marine Gasoil (MGO). *Marquard & Bahls* [online]. Marquard & Bahls AG Koreastraße 7 20457 Hamburg Germany, c2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-gasoil-mgo.html>
- [30] Marine Diesel Oil (MDO). *Marquard & Bahls* [online]. Marquard & Bahls AG Koreastraße 7 20457 Hamburg Germany, c2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.marquard-bahls.com/en/news-info/glossary/detail/term/marine-diesel-oil-mdo.html>
- [31] *IN FOCUS – LNG AS SHIP FUEL: Latest developments and projects in the LNG industry* [online]. DNV GL - Maritime Brooktorkai 18 20457 Hamburg Germany, 2015 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://production.presstogo.com/fileroot7/gallery/dnvgl/files/original/124feddb807045969b3071a55f73c80b/124feddb807045969b3071a55f73c80b_low.pdf
- [32] *PROPULSION SYSTEMS FOR LNG CARRIERS* [online]. American Bureau of Shipping ABS Plaza 16855 Northchase Drive Houston, TX 77060 USA, 2014 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: https://preview.eagle.org/eagleExternalPortalWEB/ShowProperty/BEA%20Repository/Rules&Guides/Current/112_PropulsionSystemsforLNGCarriers/Pub112_LNG_Propulsion_GuideDec05
- [33] *ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines* [online]. MAN Diesel & Turbo, Denmark, 2014 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/technical-papers/me-gi-dual-fuel-man-b-and-w-engines433833f0bf5969569b45ff0400499204.pdf?sfvrsn=18%20>
- [34] Economics of Nuclear Propulsion. *N. S. Savannah* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.nssavannah.net/?ID=33>
- [35] NS Otto Hahn: Germany's Nuclear Powered Cargo Ship. *Http://www.radiationworks.com* [online]. Copyright Radiationworks, 2009 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.radiationworks.com/ships/nsottohahn.htm>
- [36] DIESEL-ELECTRIC MARINE PROPULSION. *Https://marinedieselengine.wordpress.com/* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://marinedieselengine.wordpress.com/category/diesel-electric-marine-propulsion/>



- [37] *Diesel-electric Propulsion Plants* [online]. MAN Diesel & Turbo [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://marine.man.eu/docs/librariesprovider6/marine-broschures/diesel-electric-drives-guideline.pdf?sfvrsn=0>
- [38] HMS Dreadnought (1906). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/HMS_Dreadnought_%281906%29
- [39] Squat effect. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Squat_effect
- [40] Bulbous bow. *MARITIME LOGISTICS PROFESSIONAL* [online]. 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.maritimeprofessional.com/blogs/post/bulbous-bow-13705>
- [41] X Bow Hull Design vs Conventional Hull Design. *Marine Insight* [online]. 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/x-bow-hull-design-vs-conventional-hull-design/>
- [42] X-BOW®. *ULSTEIN* [online]. Ulstein Group ASA 6065 Ulsteinvik NORWAY [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://ulstein.com/innovations/x-bow>
- [43] SIMPLIFIED SHIPBUILDING. *ULSTEIN* [online]. Ulstein Group ASA 6065 Ulsteinvik NORWAY [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://ulstein.com/simplified-shipbuilding>
- What's The Importance Of Bulbous Bow Of Ships? *Marine Insight* [online]. 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/why-do-ships-have-bulbous-bow/>
- BULBOUS BOW. *SCRIBD* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/240292090/Bulbous-Bow>
- J. BRAY, Patrick. The bulbous bow: What is it, and why ? *Martin's Marien Engineering Page* [online]. 2007 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.dieselduck.info/library/01%20articles/bulbous_bows.htm



- [44] Types of Bow Designs Used For Ships. *Marine Insight* [online]. 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/types-of-bow-designs-used-for-ships/>
- [45] MATSUMOTO, K., NAITO, S., TAKAGI, K., HIROTA, K. & TAKAGISHI, K. Beak-bow to Reduce the Wave Added Resistance at Sea. 7th International Symposium on practical design of ships and mobile units., 1998 The Hague, The Netherlands. 527-533.
- [46] RISKÅ, Kaj. *DESIGN OF ICE BREAKING SHIPS* [online]. ILS Oy, Helsinki, FINLAND and University of Science and Technology, Trondheim, NORWAY, c2005 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.arctis-search.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=190
- [47] NSGP(TM)-2: Highly Corrosion resistant Steel Plate for Crude Oil Tankers, Obtains World First Marine Type Approval for the deck plate in Tanks. *Nippon Steel & Sumitomo Metal* [online]. 2014 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://www.nssmc.com/en/news/20141106_100.html
- [48] KRUSE, PROTOPAPAS, OLSON, BIERLING. *A MODAL COMPARISON OF DOMESTIC FREIGHT TRANSPORTATION EFFECTS ON THE GENERAL PUBLIC* [online]. CENTER FOR PORTS AND WATERWAYS TEXAS, 2007 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: https://www.marad.dot.gov/wp-content/uploads/pdf/Phase_II_Report_Final_121907.pdf. FINAL REPORT.
- [49] 11 Threats to Marine Environment You Must Know. *Marine Insight* [online]. 2017 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/environment/11-threats-to-marine-environment-you-must-know/>
- [50] <http://www.crs.hr>
- [51] AUTOR NEUVEDEN. Granatina, operated by Shell International Trading and Shipping Co Ltd (STASCO). In: *TWI Global* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/fabricating-lng-carriers-september-2006/>,
AUTOR NEUVEDEN. Galea, managed by Shell International Trading and Shipping Co Ltd (STASCO). In: *TWI Global* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/fabricating-lng-carriers-september-2006/>



- [52] AUTOR NEUVEDEN. Construction of a GT No 96 tank. In: *TWI Global* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/fabricating-lng-carriers-september-2006/>
- [53] AUTOR NEUVEDEN. Gaztransport Designed Membrane Tank. In: *Cultofsea* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.cultofsea.com/tanker/gas-tanker-types-tanks-cargo/>
- [54] AUTOR NEUVEDEN. Mark III. In: *GTT* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.gtt.fr/en/technologies-services/our-technologies/mark-iii>
- [55] AUTOR NEUVEDEN. LNG Moss tanks. In: *Liquefied gas carrier* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.liquefiedgascarrier.com/LNG-Moss-tanks.JPG>
- [56] AUTOR NEUVEDEN. IHI-SPB tank. In: *IHI* [online]. c2000 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.lngworldnews.com/ihi-to-supply-spb-lng-tanks-for-fsru/>
- [57] AUTOR NEUVEDEN. Extent of blind zone and invisible length at ballast condition. In: *GASTECH* [online]. 2005 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4215/innhold/LNG%20Conferences/2005/SDS_TIF/050207.pdf
- [58] IMAGE CREDITS: HOFSTRA.EDU. Tanker ship size. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/types-of-ships/different-types-of-tankers-extensive-classification-of-tanker-ships/>
- [59] AMSAOCIMF. Single- Hull Vs Double-Hull Tankers. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/single-hull-vs-double-hull-tankers/>
- [60] AUTOR NEUVEDEN. Midship section of a single hull tanker. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/oil-tanker-ships/>
- [61] AUTOR NEUVEDEN. Midship section of a double hull tanker. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/oil-tanker-ships/>



- [62] AUTOR NEUVEDEN. Arrangement of double-hull tankers. In: *Hrvatski Registar Brodova* [online]. 2012 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.crs.hr/Portals/0/2sxc/KlasifikacijskaPravila/pdfjs/web/viewer.html?file=/Portals/0/HRB%20CRS%20pravila/6_CSR_Double_Hull_Oil_Tanker_Consolidated_Effective_as_of_1_July_2012_pdf1809.pdf
- [63] AUTOR NEUVEDEN. Typical modern chemical tanker cross section. In: *Chemical Tanker Guide* [online]. c2011 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.chemicaltankerguide.com/shipbuilding-stainless-steel.html>
- [64] AUTOR NEUVEDEN. Type C tanks as found on fully pressurised Gas Carriers. In: *Cultofsea* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.cultofsea.com/wp-content/uploads/2017/02/Type-C-Fully-Pressurised-Gas-Tanker-Ship.png>
- [65] AUTOR NEUVEDEN. Bi-lobe Type C Independent Tank. In: *IHMC Public Cmaps* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://cmapspublic3.ihmc.us/rid=1HK92XSXR-CNTFND-SBK/contaiment%20tanks.cmap?rid=1HK92XSXR-CNTFND-SBK&partName=htmljpeg>
- [66] AUTOR NEUVEDEN. General Arrangement of Methane Carrier with Type A Tanks. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-liquefied-gas-carriers/>
- [67] AUTOR NEUVEDEN. Integration of Type-A tank with hull structure. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/understanding-design-liquefied-gas-carriers/>
- [68] ŽÁDNÍK, B. STAVBA A OPRAVY PODÍ. Praha : Nakladatelství dopravy a spojů, 1980. 464 s.
- [69] AUTOR NEUVEDEN. Propulsion layouts. In: *Shippedia* [online]. c2013 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.shippedia.com/ships/propulsion-layouts/>
- [70] WANG, Haifeng. Marine fuel use, 2005–2030. In: *International Council on Clean Transportation*. [online]. 2014 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.theicct.org/blogs/staff/end-era-heavy-fuel-oil-maritime-shipping>



- [71] AUTOR NEUVEDEN. C3MR cyklus zkapalňování zemního plynu. In: *OENERGETICE.CZ* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.lngindustry.com/>
- [72] AUTOR NEUVEDEN. Diesel and Otto Processes: volume-pressure diagram. In: *DNV GL* [online]. DNV GL - Maritime Brooktorkai 18 20457 Hamburg Germany, 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://production.presstogo.com/fileroot7/gallery/dnvgl/files/original/124feddb807045969b3071a55f73c80b/124feddb807045969b3071a55f73c80b_low.pdf
- [73] AUTOR NEUVEDEN. The ME-GI LNG-fuelled two-stroke from MAN Diesel & Turbo. In: *Mercator Media - The MotorShip* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.motorship.com/news101/engines-and-propulsion/first-man-me-gi-engines-enter-service>
- [74] AUTOR NEUVEDEN. Propulsion plant. In: *N. S. Savannah* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.nssavannah.net/gallery.php?PCat_ID=3
- [75] AUTOR NEUVEDEN. Containment Vessel (showing the major components). In: *N. S. Savannah* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.nssavannah.net/gallery.php?PCat_ID=3
- [76] AUTOR NEUVEDEN. General Arrangement of the Diesel-Electric Propulsion System. In: *Revista perteneciente a la Red Colombiana de Revistas de Ingeniería, RCRI*. [online]. Zona Industrial Mamonal Km 9 Cartagena de Indias - Colombia., c2014 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.shipjournal.co/index.php/sst/article/view/128/386>
- [77] AUTOR NEUVEDEN. Sky Sails. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/main-engine/different-types-of-marine-propulsion-systems-used-in-the-shipping-world/>
- [78] ΕΛΛΗΝΙΚΑ: ΧΡΗΣΤΗΣ. Olympias.1. In: *Wikipedia: The free encyclopedia* [online]. 2006 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4307765>
AUTOR NEUVEDEN. *HMS Dreadnought* [online]. In: . [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.nourishingobscurity.com/wp-content/uploads/2011/09/3161906211T-470x332.jpg>
AUTOR NEUVEDEN. Jorung203. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/types-of-bow-designs-used-for-ships/>



- [79] AUTOR NEUVEDEN. Bow wave and Wave generated by bulb, both out of phase. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/why-do-ships-have-bulbous-bow/>
- [80] AUTOR NEUVEDEN. XBOW. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/x-bow-hull-design-vs-conventional-hull-design/>
- [81] AUTOR NEUVEDEN. Bourbon Orca. In: *Offshore Post* [online]. c2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.offshorepost.com/rigopedia/vessels/bourbon-orca/>
- [82] AUTOR NEUVEDEN. Ax-Bow. In: *JMU* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.jmuc.co.jp/en/rd/development/hydrodynamics/actual-seas/>
- [83] IMAGE CREDITS: DAMEN.COM. Axe-Bow. In: *Marine insight* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.marineinsight.com/naval-architecture/types-of-bow-designs-used-for-ships/>
- [84] HOFFMAN. REVIEW OF MARITIME TRANSPORT 2016. *UNCTAD* [online]. UNITED NATIONS PUBLICATION, 2016, **2016** [cit. 2017-05-21]. ISSN 0566-7682. Dostupné z: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2016_en.pdf



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- dle pořadí výskytu v textu

LNG	Liquefied Natural Gas	Zkapalněný zemní plyn
LPG	Liquefied Petroleum Gas	Zkapalněný ropný plyn
ULCC	Ultra Large Crude Carriers	Supertankery
VLCC	Very Large Crude Carriers	Označení pro tankery
TI	Takers International	Označení pro supertankery
BOR	Boil-off rate	Procento obsahu odpařené za den
FSO	Floating, Storage and Offloading vessel	Odkladné zařízení pro skladování
GT96		Provedení membránové nádrže
IGC	International Gas Carrier Code	Norma pro plynové tankery
NO96		Provedení membránové nádrže
PUR		Polyuretan
IMO	International Maritime Organization	Mezinárodní námořní organizace
IHI	Ishikawajima-Harima Heavy Industries	
SPB	Self-supporting Prismatic shape IMO type B	Návrh LNG tankeru používající prismatické nádrže
DWT	Dead Weight Tonnage	Tonáž – nosnost tankeru
OPA	Oil Pollution Act of 1990	Zákon o znečištění ropou
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships	Mezinárodní úmluva o prevenci znečištění z lodí
NAC5	Special corrosion resistant steel types	Speciální korozivzdorné oceli
NSGPTM-1, -2		
CSR	The Harmonised Common Structural Rules for Tankers	Sbírka pravidel pro konstrukci tankerů
IACS	International Association of Classification Societies	Mezinárodní asociace pro klasifikaci
SPCT	Sophisticated Parcel Chemical Tanker	Chemické tankery s tonáží do 40000 t
AISI	American Iron and Steel Institute	Americký institut železa a oceli



SOLAS	International Convention for the Safety of the Life at Sea	Mezinárodní konvence pro zabezpečení života na moři
IMDG	(International Maritime Dangerous Goods Code	Mezinárodní norma pro přepravu nebezpečných látek
SP/SR/ FR	semi-pressurised/semi-refrigerated/ fully-refrigerated	Typy nádrží mírně pod tlakem/mírně chlazené/zcela chlazené
DESS	Double Engine Single Shaft	Pohonná soustava využívající dvou motorů na jeden šroub
CPP	Controllable Pitch Propeller	Řízený lodní šroub
HFO	Heavy Fuel Oil	Těžké topné oleje, zbytkové topné oleje
MGO	Marine Gas Oil	Destiláty, frakce ropy
MDO/IFO	Marine Diesel Oil/ Intermediate Fuel Oils	Směsi HFO a MGO
RMA, RMB, RMD, RME, RMG a RMK		Skupiny HFO
ECA	Emission Control Area	Oblasti kontroly emisí
ppm	parts per million	Částic na jeden milion
DMX, DMA, DMB a DMZ		Skupiny MGO
DF	Dual Fuel	Dvoupalivové motory
ME-GI DF		Motor společnosti MAN
RT-lex50		Motor společnosti Wärtsilä
NO _x	Nitrogen oxides	Oxidy dusíku
CO ₂	Carbon dioxide	Oxid uhličitý
SGMF	Society for Gas and Marine Fuel	Společnost pro plyn a námořní paliva
NS	Nuclear ship	Jaderná loď
FPP	Fixed Pitch Propeller	Pevný lodní šroub
HMS	"His/Her Majesty's Ship"	Loď Britské královské flotily
AHTS	Anchor Handling Tug Supply Vessel	Manipulační vlečné a zásobovací plavidlo
UNCTAD	United nations conference on trade and development	Konference OSN o obchodu a rozvoji



SEZNAM PŘÍLOH

Seznam obrázků:

Obr. 1 Tankery Granatina (Membránová nádrž provedení GT96 s kapacitou 140500 m ³) a Galea (Sférická nádrž provedení Moss s kapacitou 135000 m ³), náležící společnosti Shell International Trading and Shipping Co Ltd (STASCO)[51]	16
Obr. 2: Řez provedením GT96[52].....	17
Obr. 3:Uvnitř nádrže provedení GT96[53].....	18
Obr. 4: Řez provedením Mark III[54].....	19
Obr. 5:Řez provedením MOSS 144k[55].....	20
Obr. 6: Řez prismatickou nádrží[56]	22
Obr. 7: Porovnání z hlediska viditelnosti pro tanker se sférickými nádržemi (a) a s membránovou nádrží (b).[57]	23
Obr. 8: Porovnání ropných tankerů z hlediska velikosti.[58]	24
Obr. 9:Porovnání bezpečnosti single-hull a double-hull tankerů při havárii[59]	25
Obr. 10Průřez střední částí jednoplášňového tankeru[60]	26
Obr. 11: Průřez střední částí dvouplášňového tankeru[61].....	27
Obr. 12: Možnosti uspořádání dvouplášňových ropných tankerů[62]	28
Obr. 13: Příčný řez typickým uspořádáním chemického tankeru[63]	30
Obr. 14: Průřez nádržemi typu C[64]	32
Obr. 15: Průřez nádržemi Bi-lobe[65]	32
Obr. 16: Obecné uspořádání pro LPG Carrier s nádržemi typu A[66]	34
Obr. 17: Spojení nádrží typu A s trupem lodi.[67].....	34
Obr. 18: Schéma pohonné soustavy[68]	35
Obr. 19 Rozvržení pohonné soustavy: Direct drive (vlevo) a Double Engine Single Shaft (vpravo)[69]	36
Obr. 20: Předpokládané využití námořních paliv pro období 2005-2030 [x10 ⁶ tun][70]	38
Obr. 21: Proces zkapaňování zemního plynu C3MR[71].....	41
Obr. 22:Dieselův a Ottův cyklus v PV diagramu[72]	42
Obr. 23: Dvoupalivový motor MAN ME-GI DF[73].....	42
Obr. 24: Pohonná jednotka N. S. Savannah[74].....	45
Obr. 25: Uložení reaktoru v pohonné jednotce[75].....	45
Obr. 26: Schéma diesel-elektrické pohonné jednotky[76].....	46
Obr. 27: Pohon za pomoci "draka"[77].....	47



Obr. 28: Vývoj lodní přídě skrze historii. Trireme, HMS Dreadnought, Jorong 203 Tanker[78]	49
Obr. 29: Vlna od přídě a hrušky, obě mimo fázi[79]	50
Obr. 30: Porovnání provedení X-bow s normální přídí při průchodu vlnou[80]	51
Obr. 31: Norské vlečné a zásobovací plavidlo Bourbon Orca s přídí X-bow[81]	52
Obr. 32: Tanker používající příd' Ax[82]	53
Obr. 33: Jachta využívající přídě typu Axe[83]	54

Seznam tabulek:

Tab. 1 Rozvoj mezinárodní námořní dopravy ve vybraných letech v milionech tun převezených http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2016_en.pdf	55
Tab. 2: Odhadované množství převezených kapalných a plyných látek pro rok 2015	55
Tab. 3: Rozdělení dle DWT pro rok 2016	56
Tab. 4: Porovnání efektivity dopravy	57