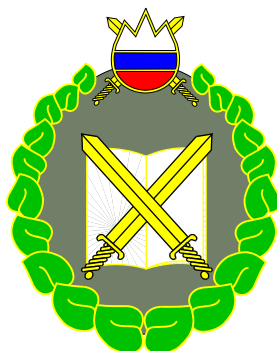


**ŠOLA ZA ČASTNIKE  
23. GENERACIJA  
SPECIALIZACIJA POMORSTVO**

**ZAKLJUČNA NALOGA**

**POGONSKI SISTEMI NA SODOBNIH VOJAŠKIH LADJAH**



Slušatelj: desetnik Miha Tomašek

Mentor: poročnik korvete Davor Žeželj

Ankaran, november 2012



**REPUBLIKA SLOVENIJA**  
MINISTRSTVO ZA OBRAMBO  
Slovenska vojska  
**Poveljstvo za doktrino, razvoj,  
izobraževanje in usposabljanje**  
Šola za častnike

---

Številka:

Datum:

## **ZAKLJUČNA NALOGA**

# **POGONSKI SISTEMI NA SODOBNIH VOJAŠKIH LADJAH**

Slušatelj: desetnik Miha Tomašek

Mentor: poročnik korvete Davor Žeželj

Ankaran, november 2012

# KAZALO

<b>KAZALO .....</b>	<b>II</b>
<b>POVZETEK.....</b>	<b>IV</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>V</b>
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1 IZHODIŠČE ZAKLJUČNE NALOGE .....	1
1.2 NAMEN IN CILJ ZAKLJUČNE NALOGE .....	2
1.3 METODA DELA .....	2
1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE .....	2
<b>2 KRONOLOŠKI PREGLED POGONSKIH SISTEMOV NA VOJAŠKIH LADJAH.....</b>	<b>3</b>
2.1 ZAČETKI.....	3
2.1.1 <i>Konstrukcija</i> .....	3
2.1.2 <i>Feničanski slog</i> .....	3
2.1.3 <i>Prva Rimska mornarica</i> .....	4
2.1.4 <i>Pogon</i> .....	4
2.2 JADRA .....	5
2.2.1 <i>Doba jader</i> .....	5
2.2.2 <i>Vrste jader</i> .....	5
2.2.3 <i>Ladje na vzhodu</i> .....	6
2.3 PARNI STROJ.....	6
2.3.1 <i>Odkritje</i> .....	6
2.3.2 <i>Delovanje parnega batnega stroja</i> .....	7
2.3.3 <i>Prva parna vojaška ladja</i> .....	8
2.4 PARNA TURBINA.....	9
<b>3 DIZELSKI POGON.....</b>	<b>12</b>
3.1 ZGODOVINA .....	12
3.2 PRINCIP DELOVANJA .....	12
3.2.1 <i>2-taktni ali 4-taktni</i> .....	13
3.2.2 <i>Turbopolnilniki</i> .....	13
3.2.3 <i>Prednosti dizelskih motorjev:</i> .....	14
3.2.4 <i>Slabosti dizelskih motorjev:</i> .....	14
3.3 KLASIFIKACIJA DIZELSKIH MOTORJEV.....	14
3.4 VZDRŽEVANJE .....	15
<b>4 PLINSKA TURBINA.....</b>	<b>16</b>
4.1 DELOVANJE .....	16
4.2 PREDNOSTI PLINSKIH TURBIN: .....	18
4.3 POMANJKLJIVOSTI PLINSKIH TURBIN:.....	18
<b>5 JEDRSKI REAKTOR .....</b>	<b>19</b>
5.1 TLAČNOVODNI REAKTOR.....	19
5.2 PRINCIP DELOVANJA TLAČNOVODNEGA REAKTORJA.....	20
<b>6 KOMBINACIJE POGONOV.....</b>	<b>22</b>
6.1 KOMBINACIJA DIZEL ALI PLIN (CODOG) .....	22
6.2 KOMBINACIJA DIZEL IN PLIN (CODAG).....	22
6.2.1 <i>Turbinski in dizelski pogon na ločenih gredeh</i> .....	23
6.3 CODLAG – MODOFIKACIJA CODAG-A .....	23
6.3.1 <i>Integrirani električni pogon (IEP)</i> .....	23
6.4 CODAD (DIZEL IN DIZEL) KOMBINACIJA .....	24
6.5 COSAG – KOMBINACIJA PARE IN PLINA.....	24
6.6 COGOG – PLIN ALI PLIN KOMBINACIJA.....	25

6.7	COGAG – KOMBINACIJA PLINSKA TURBINA IN PLINSKA TURBINA.....	26
6.8	COGAS – KOMBINACIJA PLIN IN PARA .....	27
<b>7</b>	<b>RAZVOJ NADZORNIH SISTEMOV .....</b>	<b>28</b>
7.1	SODOBNI NADZORNI SISTEM PROIZVAJALCA MTU NA VNL-11 TRIGLAV .....	30
	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>31</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>32</b>
	<b>VIRI .....</b>	<b>33</b>
	<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>34</b>
	<b>SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC IN TUJIH IZRAZOV .....</b>	<b>35</b>
	<b>IZJAVA O AVTORSTVU .....</b>	<b>36</b>

## POVZETEK

Zaključna naloga opisuje razvoj in princip delovanja najbolj tipičnih pogonskih sistemov vojaškega ladjevja skozi čas, oziroma tako imenovane propulzije. V to vključujemo vse tiste sisteme in stroje na ladji, ki dajejo potrebno energijo oz. silo, katera služi za potiskanje ladje. Skozi nalogo bom predstavil najbolj primitivne pogone, kot so vesla in jadra, med drugim pa tudi delovanje motorjev z zunanjim in notranjim izgorevanjem, kot sta parni stroj in dizelski motor ter sodobne dosežke - plinske turbine in jedrski reaktor. Predstavljene bodo tudi možne kombinacije sistemov, njihove prednosti in pomanjkljivosti. V nalogi je opisan namen in razvoj nadzornih sistemov, kot primer navajam VNL-11 Triglav v primerjavi z ladjo vojne mornarice Črne Gore VPBR-34 Pula.

V zaključku so navedeni najpomembnejši elementi pogonskih sistemov in trendi razvoja le teh v bodoče.

**Ključne besede:** pogonski sistem, propulzija, motor z zunanjim izgorevanjem, motor z notranjim izgorevanjem, parni stroj, dizel motor, plinska turbina, jedrski reaktor.

## SUMMARY

Concluded project describes development and principle of working of the most typical motive power systems at military ships during history - called propulsion.

It includes all those systems and machines on the ships, that produce energy needed, respectively motive power for pushing the ships.

During the project I will introduce the most primitive propulsions from oars and sails to exterior and interior combustion engines, as :

- steam engine
- diesel engine
- gas turbine
- nuclear reactor

Also all possible combinations of the propulsion systems, their advantages and deficiencies will be introduced. Almost at the end of the project the ships control and surveillance systems of our VNL-11 Triglav are shown and compared to the ship of Montenegro Navy VPBR-34 Pula. At the end the most important elements of propulsion and the trends of the development are mentioned.

**Key words:** power system, propulsion, interior and exterior combustion engines, steam engine, diesel engine, gas turbine, nuclear reactor.

# 1 UVOD

Vojaško ladjeve ima v svetu že od nekdaj zelo pomembno vlogo, tako pri obrambi teritorialnih voda, kot v vojaških operacijah. Glede na vse večje število kriznih žarišč po svetu, si vse države prizadevajo, da imajo operativno, zanesljivo in usposobljeno mornarico. Pomorskih bitk, kot so potekale pred mnogimi časi, v 21.stol. ne poznamo več. Že proti koncu druge svetovne vojne se je pojavila dokaj jasna ideja o sodobnejšem, zanesljivejšem in zmogljivejšem vojaškem ladjevju, ki bi lahko izboljšalo transport opreme in kopenskih sil, hkrati pa bi pripomoglo k izboljšanju samega bojevanja.

Tukaj imam v mislih predvsem ladijske pogone, ki so ključni, da so izpolnjene zgoraj navedene potrebe. Prvi stroji za pretvorbo toplotne energije v mehansko delo so bili ogromni. Omogočali pa so izredno majhne moči, porabili veliko goriva, o emisiji pa sploh ni bilo govora. Z razvojem tehnike je v zadnjih 30 letih bil napravljen ogromen napredek. Motorji so postajali čedalje manjši, učinkovitejši, gospodarnejši in čedalje manj so onesnaževali okolje. Pomorski zakonik v tretjem členu prvega poglavja splošnih določb pod dvanajsto točko obravnava vojaško ladjo kot plovilo, ki pripada vojski, je pod poveljstvom vojaškega častnika, katere posadka je vojaška oziroma pod vojaško disciplino in ima zunanja razpoznavna znamenja vojaških ladij (PZ 3.člen).

Vojaške ladje so vsa gladinska pomorska plovila, prav tako tudi podmornice, ki se uporabljajo za vojaške in/ali vojne naloge, lahko so oborožena ali ne in imajo posadko, ki jo sestavljajo vojaške osebe.

Vojaške ladje delimo na:

- Vojne ladje: ladje, ki so oborožene in namenjene bojevanju,
- pomožne vojaške ladje: ladje, ki so po navadi neoborožene in primarno namenjene logistični podpori vojnih ladij.

Pomembno je, da na vojaških ladjah igra ključno vlogo razmerje med močjo in težo pogonskega sistema ladje, čas kateri je potreben od hladnega vžiga motorja do razvitja polne moči in potrebno število dobro izurjenih in izobraženih ljudi, kateri upravljajo s sodobno tehniko. V ta sklop pa mora biti zajeto tudi vzdrževanje iz strani posadke, kakor tudi iz strani pooblaščenih zunanjih izvajalcev, saj kompleksni sistemi na sodobnih vojaških ladjah morajo delovati brezhibno in biti sto odstotno pripravljeni za delovanje.

## 1.1 IZHODIŠČE ZAKLJUČNE NALOGE

Kot izhodišče za izdelavo zaključne naloge mi je služil star pregovor, da je morje okno v svet. To je dejstvo, katerega pomen se je za posamezne pomorske narode skozi zgodovino pokazal kot kolo razvoja. Svetovna morja predstavljajo ogromno prostranstvo, saj od skupne zemeljske površine morje zavzema več kot 70 %, pri čemer se prava velikost morskih prostranstev pokaže takrat, ko upoštevamo še tretjo dimenzijo morja, to je globina.

Kaj pomeni imeti morje, so se mnoge pomorske države začele zavedati pozno, mnoge pa so morja poskušale osvajati, jih kontrolirati ter pridobiti, kar je morje ponujalo. Sposobnost uporabe morja je bila odvisna od stopnje materialnega razvoja in znanstvenih dosežkov vsake pomorske države v določenem zgodovinskem obdobju. Možnost posameznih držav za uporabo morij je bila posebno velika po pomembnih geografskih in tehnoloških odkritjih v 16. in 17.stoletju, kar je bilo v neposredni povezavi z rastjo gospodarske moči, političnim statusom ter ostalimi pogoji splošnega družbenega razvoja. Zaradi morij so se odvijale številne vojne, v katerih so se vojskujoče države trudile imeti nadzor nad njim in njegovim izkoriščanjem.

## **1.2 NAMEN IN CILJ ZAKLJUČNE NALOGE**

Namen zaključne naloge je predstaviti kratko zgodovino oz. kronološki pregled razvoja pogonskih sistemov na vojaških ladjah ter se osredotočiti na tri vrste pogonskih sistemov oz. načinov delovanja le teh. Predstaviti in opisati bom skušal osnovne principe delovanja ladijskih pogonov in njihovega vzdrževanja, s poudarkom na že uveljavljenih ter se osredotočiti na dizelski, turbinski in jedrski pogon. V poglavju nadzornih sistemov bo razvidno, kako so se posamezni sistemi razvijali skozi čas. Omenjena bo VNL-11 Triglav in ladja vojne mornarice Črne Gore VPBR-34 Pula. Skozi zaključek pa bom skušal navesti in predstaviti določene ukrepe, ki jih mora upoštevati vsaka sodobna država, ki ima lastno mornarico.

## **1.3 METODA DELA**

Pri pisanju zaključne naloge sem uporabil metodo deskripcije, s katero sem opisal predmet raziskovanja ter pojasnil raziskovano temo. Z metodo razvrščanja posameznih tem sem obravnavan problem zaključne naloge zaradi boljše preglednosti razdelil na več manjših delov. Za razčlenjevanje in obdelavo vsebine pa sem uporabil metodo analize pisnih, internetnih in elektronskih virov, del gradiva sem zbral tudi v 430.MOD.

## **1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE**

V zaključni nalogi se bom dotaknil nekaterih vrst pogonov oz. pogonov, največkrat uporabljenih na vojaških ladjah. Zaradi boljše nazornosti bom teme smiselno razdelil na podpoglavja. Na samem začetku je potrebno razjasniti kaj sploh vojaška ladja je. Pričel bom z samim zgodovinskim razvojem pogonov na ladjah kako se je le ta spreminjal in posodabljal skozi čas in razvoj. Poudarek bo na trendu razvoja sofisticiranih pogonov, kar pomeni, da bom ločeno v vsakem poglavju obravnaval dizelski motor, plinsko turbino in na koncu še jedrski reaktor, kot neko prelomnico v razvoju pogonskih sistemov na vojaških ladjah. Naj omenim, da bi lahko za vsakega izmed zgoraj navedenih napisali obširno zaključno nalogo, zato bom zadeve kar se da poenostavil in navedel nazorneje. Dotaknil se bom vzdrževanja pogona ter skušal prikazati razvoj nadzornih sistemov. V naslednjem poglavju bom predstavil možne kombinacije zgoraj navedenih pogonov, njihove oznake, pomen, prednosti, slabosti in v katere ladje se vgrajujejo ter zakaj.

Sledilo bo poglavje, v katerem primerjam nadzorni sistem VNL-11 Triglav, s sistemom ladje vojne mornarice Črne Gore, raketne fregate klase Kotor VPBR-34 Pula, katero sem spoznal v času študijske plovbe in imel čast tudi pluti z njo.

Na koncu bo sledil še zaključek, v katerem bom podal nekatere ključne ugotovitve, do katerih sem prišel skozi izdelavo zaključne naloge, prav tako bo dodan še seznam uporabljene literature in virov, katere sem uporabil pri izdelavi ter seznam prikazanih slik, ki se nahajajo v zaključni nalogi.



## **2 KRONOLOŠKI PREGLED POGONSKIH SISTEMOV NA VOJAŠKIH LADJAH**

### **2.1 ZAČETKI**

Veslo je sredstvo, ki se uporablja za pogon ladij in deluje na osnovi prenosa vode. Oblikovano je tako, da ima na enem koncu ploščati del v obliki lopatice, na drugem koncu pa ročaj, ki ga drži veslač.

Veslo je povezano z ladjo z luknjami ali pa z vilicami, obojne prenašajo uporabljeno moč na ladjo in jo s tem poganjajo oz. premikajo. Sistem je poznan kot vzvod 2. stopnje, luknje oz. vilice so opora veslu. Obstaja tudi tako imenovano kratko veslo, ki ni povezano z ladjo in ga drži veslač celega v roki. Način veslanja je tak, da je veslač ponavadi obrnjen proti krmi, torej zadnjemu delu ladje. Z vesli zamahne kolikor je mogoče daleč proti krmi in vstavi lopatice vesel v vodo. Ko se lopatice nagnejo nazaj, zajamejo vodo povsem v bližini bokov ladje. Bolj kot je zamah oz. sunek močan, večji je odziv. Tisočletja so ladje poganjala ali mehansko delo veslačev z vesli ali pa jadra, starodavne ladje tudi kombinacija obojega, odvisno od smeri in željene hitrosti, predvsem pa od vetra. Po ugotovitvah zgodovinarjev so se ladje na vesla uporabljale že v zgodnjem neolitikumu, o čemer pričajo tudi najdbe. Na Kitajskem so našli ostanke prvih lesenih vesel, ki naj bi datirala iz leta 5000 pr.n.š., na Japonskem pa so odkrili nepoškodovano leseno veslo, dolgo 63,4 cm, ki naj bi datiralo iz leta 4000 pr.n.š.

#### **2.1.1 Konstrukcija**

Vesla so že tradicionalno izdelana iz lesa. Oblikovana so kot dolga gred s ploščato palico na koncu. Kjer se veslo dotika ladje, je nameščena "ovratnica", ki zadrži veslo, ki drsi skozi vilice. Vesla imajo navadno ročaj, dolg 150 mm, ki je ergonomično oblikovan in je lahko ovit z materialom, ki preprečuje poškodbe rok zaradi hrapavosti lesa. Močni zamahi z vesli povzročijo velik odziv in tako se ladja z lahkoto giblje in, kar je najpomembneje, med zamahi enakomerno drsi po vodi. Tako gibanje ostaja enakomerno, vsak zamah vesla drži čoln v smeri in enakomeren tempo zamahov lahko veslač obdrži dalj časa. Obstajata dva načina veslanja: veslač lahko sedi tako, da je obrnjen proti krmi ali pa gleda naprej.

#### **2.1.2 Feničanski slog**

Za feničansko ladjevje sta značilni dve bistveno različni obliki ladij. Čokata in debelušna jadmica, zaokrožena na obeh koncih, se je uporabljala za prevoz blaga in potnikov. Druga, daljša ladja, prav tako zaobljena na krmi, z ostrim premčnim ovnom, je bila bojna ladja, imenovana galeja. Poganjala so jo vesla, ki so omogočala spreminjanje hitrosti in hitre manevre, kar je seveda zahtevalo dobro izurjeno posadko. Bistvena taktika pomorskega bojevanja v času Feničanov, kasneje pa tudi Grkov in Rimljanov je bil t.i. ramming, zaletavanje v sovražno ladjo s premčnim ovnom. Tisoč let po prvem feničanskem primeru dobijo rimske bojne ladje bronasto konico pod ladijskim kljunom, tik nad vodno gladino, ki je služila tako pri obrambi kot pri napadu. Ko gre za bojne ladje, je velikega pomena tudi hitrost in edini način za povečanje hitrosti je bil ta, da se doda več veslačev. Deloma je bilo to mogoče doseči z večjo dolžino ladij, toda pojavi se vprašanje, pri kateri dolžini pride do točke, ko se pokažejo strukturne slabosti. Tako je nastala ideja o povečanju števila veslačev. Okrog l. 700 so tako Feničani uporabljali dve skupini veslačev, razvrščenih na dveh nivojih, na tipu ladje, imenovana birema. V naslednjih dveh stoletjih je bila dodana še tretja skupina, verjetno pri Grkih, to je bila trirema. Trirema je ladja, ki je bila uporabljena v prvi vojni, ki naj bi odločila, kako močna in pomembna je vojna mornarica. To je bil konflikt med Grki in Perzijci v 5. stoletju pr.n.š.

### 2.1.3 Prva Rimska mornarica

Začetki Rimske mornarice segajo v l. 260-255 pr.n.š.. in v tem času postajajo galeje vse večje. Med začetnimi spopadi v prvi punski vojni so Rimljani zajeli kartagensko vojno ladjo, ki je nasedla. Taka vrsta ladij je bila novost v mediteranski mornarici. Z vesli v petih nivojih in tristo veslači je bila večja in težja kot trirema, ki je bila standardna ladja grškega vojnega ladjevja. Odkar pa je postal izid bojevanja na morju v veliki meri odvisen od zaletavanja v sovražne ladje, je bila velikost zelo pomembna.

Glavna vsebina pomorskega bojevanja je ostala v bistvu enaka skozi stari in srednji vek. Dolge, ozke ladje z veslači v več nadstropjih, so krožile ena okrog druge in se poskušale ali zaleteti v sovražno ladjo ali pa jo povleči k sebi, tako da so mornarji lahko prišli na krov sovražne ladje in napadli posadko. Takšni spopadi so se nadaljevali vse do leta 1571, ko je prišlo do bitke pri Lepantu, ki je bila zadnji velik spopad med vojnimi ladjami na vesla.

### 2.1.4 Pogon

Skozi dolgo zgodovino galej so bila najbolj pomemben način pogona vesla. Razvrstitev veslačev se je v 1. tisočletju pr.n.š. postopoma razvijala od ene same vrste veslačev vse do treh, razporejenih tako, da se niso prekrivali. Vse, kar bi bilo nad tremi nivoji, bi bilo fizično nepraktično. Na začetku je bil en veslač na veslo, toda število je postopoma naraščalo skladno s številom različnih kombinacij veslačev na veslo in nizov vesel.

Izraz za galeje je temeljil na številu nizov veslačev in tako je danes najbolj poznan izraz na osnovi latinske terminologije, ki temelji na številki z dodatkom »REME«- (remus - veslo). Obstajale so tudi bojne ladje z desetimi ali celo enajstimi nizi veslačev, toda vse nad šestimi je bila prava redkost. Ogromna ladja s štiridesetimi nizi veslačev je bila zgrajena v času vladanja Ptolomeja IV. v Egiptu. O njeni obliki je znanega zelo malo, domnevno pa je bila nepraktična, prestižna ladja. Starodavno veslanje je potekalo v fiksnem sedečem položaju tako, da so bili veslači obrnjeni proti krmi, saj se je tak način izkazal kot najbolj učinkovit. Drseči zamah je zagotavljal uporabo moči obeh nog in rok. Veslači na starodavnih bojnih ladjah so sedeli pod zgornjim krovom z malo razgleda na okolico. Veslanje je potekalo pod vodstvom nadzornika in je bilo koordinirano s piščalko ali ritmičnim skandiranjem. V galejah s sistemom treh mož na veslo so vsi sedeli, s tem, da je veslač, ki je sedel na skrajnem koncu ročaja vesla, z veslom zamahoval v stoječe - sedečem položaju. Stal je, ko je potiskal veslo naprej in se vsedel, ko je veslo vlekel nazaj.

Galeje so bile zelo okretne ladje, sposobne se obrniti okrog svoje osi ali celo pluti vzvratno, kar pa je zahtevalo spretno in izurjeno posadko. Hitreje, ko je ladja plula, več moči je bilo potrebno. Doseganje visokih hitrosti zahteva energijo, ki je ladja na vesla ni zmožna proizvajati, saj pogon na vesla proizvede zelo malo energije (samo 70W po veslaču), zgornja meja hitrosti za veslanje v fiksnem položaju pa je okrog 10 vozlov. Starodavne bojne ladje, kot so jih uporabljali v stari Grčiji, se po mnenju modernejših zgodovinarjev smatrajo za energijsko najbolj učinkovite in najhitreje galeje, zgrajene v zgodovini. Popolna replika trireme iz 5. stoletja pr.n.š., Olympias, je bila zgrajena med letoma 1985 in 1987 in je bila podvržena seriji poizkusov za testiranje zmogljivosti. Dokazano je bilo, da je plovno hitrost med 7-8 vozli lahko vzdrževala cel dan. Pospešitev hitrosti na do 10 vozlov je bila mogoča, toda samo za nekaj minut, kar pa je zelo utrudilo posadko.

Starodavne galeje so bile zelo lahke in originalne trireme domnevno nikoli niso bile premagane v hitrosti. Smatra se, da so bile srednjeveške galeje počasnejše, njihova hitrost je ocenjena na 2-3 vozle. Povišanje hitrosti na 7 vozlov je bila možna za 20 do 30 minut s tem, da je bilo tveganje, da se posadka popolnoma izčrpa, zelo veliko. Veslanje v čelnem vetru ali v zmerno slabem vetru je bilo težko in izčrpajoče, tako da so v takih razmerah iz odprtega morja galeje odplule, da bi pobegnile močnim vetrovom. Zelo so bile namreč občutljive na visoke valove, tako da so lahko postale popolnoma neupravljive.

## 2.2 JADRA

Smatra se, da so srednjeveške galeje plule več ali manj samo z vetrom, večina moči je prišla iz enega samega jadra in hitrost, ki so jo dosegale, je bila v normalnih pogojih največ 8-9 vozlov. Za doseg popolnega jadranja so z majhnimi, toda enakomerno naraščajočimi tehničnimi izboljšavami dosegli pogoje, ki so omogočili jadranje z vetrom v krmo.

Jadra so se iz enega kosa velikega kvadrata grobega platna, obešenega na jambornem križu, spremenila v kompleksno razvrstitev večih jader, pritrjenih na tečaje jambora, ki so se obračali glede na smer in moč vetra. Takšna razvrstitev jader je omogočala, da ladje niso več plule samo z vetrom v krmo, torej v smeri vetra, temveč so lahko zaplule tudi v veter in to vse do stopnje, da je smer, ki jo je morala imeti ladja, postala rezultat odločitve moči in dejanske smeri vetra ter natančne smeri ladje. Jadra so izumili z namenom, da za pogon ladij izkoristijo veter, pa naj bo to le rahel vetrič ali močni vetrovi, ki so ladjam pomagali pridobiti nekaj prepotovanih milj. Poleg tega so ladje s pomočjo večih jader lažje ohranjale določeno smer plovbe. Pomorska taktika v dobi jader se je uporabljala od 17. stoletja naprej, ko so ladje na jadra nadomestile galeje na vesla. Te so se uporabljale do leta 1860, ko so jih začele izpodrivati z železom ojačane vojne ladje na paro.

### 2.2.1 Doba jader

Pri starodavnih galejah je večina moči za premikanje prišla iz enega samega kvadratnega jadra na glavnem jamboru, ki je bil namaščen malenkost naprej od središča ladje skupaj z manjšim jamborom, ki je nosil glavno jadro na premcu. Jadra trikotne oblike, ki se po potrjenih podatkih pojavijo v 2. stoletju, so postala izbira galej in do 9. stoletja so se uveljavila kot del standardne opreme galej. Upravljanje s trikotnimi jadri je bilo veliko bolj komplicirano kot pa upravljanje s kvadratnim jadrom in je zahtevalo tudi številnejšo posadko, kar pa pri galejah ni bil problem. Za razliko od kvadratnega jadra se pri trikotnem jadru jamborni križ ni vrtel okrog jambora. Za spremembo smeri plutja je bilo potrebno jamborni križ, ki je bil pogosto daljši kot sam jambor, napeti preko glavnega jambora na drugo stran, kar je bil zapleten manever in je zahteval tudi več časa.

### 2.2.2 Vrste jader

Med tem, ko je bila hitrost ladij na vesla v glavnem odvisna od števila veslačev, je bila glavna determinanta za določitev hitrosti pri ladjah na jadra pravilno razprostrtje ponjav jader. Ker vetrovi nikoli niso bili fiksni niti kar se tiče smeri, niti moči, je pridobitev maksimalno učinkovitega pogona iz jader zahtevala fleksibilna jadra. Skozi zgodovino se je izkazalo, da obstaja samo ena konstanta za navigacijo z jadri: za pridobitev na hitrosti je bilo potrebno povečati število jamborov na ladji. Ladje v Sredozemlju in na severu so imele vse do približno 14. stoletja en sam jambor in po vsej verjetnosti tudi en sam, osnovni tip jadra. Glede na izkušnje, so kvadratna zamenjala enostavna trikotna jadra, ki so se obdržala skozi srednji vek in to predvsem v Sredozemlju. V začetnih stoletjih ladij na jadra, je bilo dominantno kvadratno jadro, to je bila značilna ponjava iz grobega platna, obešena visoko na jamboru, ki je visela preko vzdolžne osi ladje. Da bi izkoristili spreminjajoče se razmerje med zeleno smerjo ladje in trenutno smerjo vetra, je moralo biti jadro ovito okrog jambora, da bi zajelo ostrino vetra. Med drugim je to pomenilo, da je večina ladij morala imeti prazno sredino palube, kar je omogočalo menjanje položaja jadra. Večina prostora palube je bila torej monopol enega samega vrtljivega jadra. Večja jadra so zahtevala tudi večje število mož, da so lahko dvigovali in spuščali jadro in ga v primeru čeri ali plitvin zvili in tako zreducirali njegovo površino, posledično se je zmanjšala hitrost ladje in omogočena je bila varnejša plovba. Smatra se, da je bila standardna ladja na jadra dvojambornica s sprednjim jamborom, ki je bil večji in na katerem je bilo jadro nove, trikotne oblike, ki je bilo pritrjeno na

dolgo palico in po sredini napeto k vrhu jambora. Kombinacija teh jader se je skozi leta spreminjala, čeprav je drugi jambor pogosto imel kvadratno jadro.

Široka klasifikacija jader, ki vključuje tudi trikotno jadro, se imenuje »sprednje-zadnje« jadro. To so jadra, ki so bila sposobna ujeti veter ne glede na to iz katere smeri je pihal. Taka jadra so bila obešena ob vzdolžni osi ladje.

### **2.2.3 Ladje na vzhodu**

V istih obdobjih se je tudi Kitajska s svojo veliko površino ozemlja in slabimi cestnimi povezavami usmerila k transportu po vodah. Začenši z enim samim izdolbenim kanujem so postopoma z deskami združili dva kanuja in tako oblikovali plitek čoln kvadratne oblike-splav. Nato so boke, premec in krmo obdali z deskami in tako oblikovali veliko leseno škatlo z ravnim dnom. Premec so obdelali v obliki trikotnika.

Na krmi so kitajski ladjedelci izumili vodotesno škatlo, ki je segala od palube do dna ladje in je omogočala, da je bilo veslo za krmarjenje nameščeno v središču in ni več viselo čez rob, kot je bilo to pri zahodnjaških ladjah. Krma je bila zgrajena na dvignjeni ploščadi (kasneje so to na zahodu imenovali »grad«), tako da je v primeru visokih valov ostala suha. Kljub temu, da je v očeh zahoda vse skupaj zgledalo precej okorne oblike, je bila ta kitajska »ropotija«, kar se oblike ladijskega trupa tiče, izvrstna tako za plitvine kot za odprta morja. Konstrukcijsko okorelost so z napredkom znanja sčasoma odpravili, z namenom ojačanja so ladjo obložili z deskami, obenem pa so postavili tudi pregradne stene, ki so potekale podolgem in počez. Tako so ladjo razdelili na dvanajst ali več prostorov, kar je ne samo ojačalo konstrukcijo, temveč je služilo tudi kot zaščita pred poškodbami sovražnika. Kar se upravljanja z jadri tiče, je bila kitajska »ropotija« daleč pred zahodnjaškimi ladjami, saj je bilo vsako jadro pritrjeno k ponjavi na obeh koncih, tako da je bilo možno izkoristiti moč vetra z vseh smeri. Jadro je bilo mogoče vleči tako, da je do neke mere dopuščalo celo jadranje v veter. Do 15. stoletja so se tako iz povsem preprostih »ropotij« razvile največje, najmočnejše in morja vredne ladje na vsetu. Vse do 19. stoletja jih zahodne ladje niso ujele v njihovi zmogljivosti.

## **2.3 PARNI STROJ**

### **2.3.1 Odkritje**

Prvi uporabni parni stroj je leta 1712 izdelal Anglež Thomas Newcommon, leta 1765 pa ga je močno izboljšanega javnosti predstavil James Watt. Iznajdba je povzročila resnično tehnično revolucijo, ki je človeštvu prinesla bistven napredek, njen iznajditelj James Watt pa se je s svojim odkritjem z zlatimi črkami zapisal v tehniško zgodovino. Poleg uporabe v tovarnah in rudnikih so že takrat razmišljali o možnosti, da bi s pomočjo pare poganjali tudi vozila.

Parni stroj je prostorninski pogonski stroj, ki spada k energetske strojem z zunanjim zgorevanjem in v katerem se termična notranja in tlačna energija, s skupnim imenom entalpija, spreminja v mehansko delo. Parni stroji izkoriščajo energijo vodne pare pri visokem tlaku. Para doteka pod tlakom v valj, v katerem je bat. V valju para ekspandira (se močno razteza) in potiska bat. Ko pride bat na konec valja, tj. ko doseže mrtvo točko, začne para odtekati, dovod sveže pare pa se preusmeri. Za to skrbijo ventili.

Sodobni parni stroji so hitro vrteči, njihova prednost je robustnost, možnost dograjevanja novih valjev in s tem dodatno povečanje moči. Nadaljnja prednost parnih batnih strojev je zmožnost predelave velike razlike entalpij v enem valju in s tem v zvezi možnost velike preobremenitve stroja.

### 2.3.2 Delovanje parnega batnega stroja

Na ladjah s parnim pogonskim postrojenjem morajo biti naprave za proizvodnjo pare, t.j. parni kotli. To je tlačna posoda, v kateri se z dovajanjem toplote voda spreminja v paro, ki ima glede na tlak in temperaturo določeno delovno sposobnost.

Za proizvodnjo večje količine pare na vojnih ladjah je potrebno imeti večje število takih kotlov. Praviloma sta na ladji vgrajena vsaj dva kotla, tako da je v primeru okvare enega še vedno možen pogon. Na začetkih je pri kurjenju s premogom kurišče imelo vratca, skozi katera je kurjač metal premog vanj, pa tudi vratca za odstranjevanje pepela. V kurišču je bila rešetka, na kateri je gorivo zgorevalo. Uporaba premoga je povezana z mnogimi nevšečnostmi, zato so se kotli preuredili na kurjenje s tekočim gorivom. Novejše izvedbe so vodocevni kotli. Primerni so za visoke tlake, z njimi pa je možno dobiti tudi močno pregreto paro, ki vsebuje več energije. Takšno paro uporabljajo parne turbine.

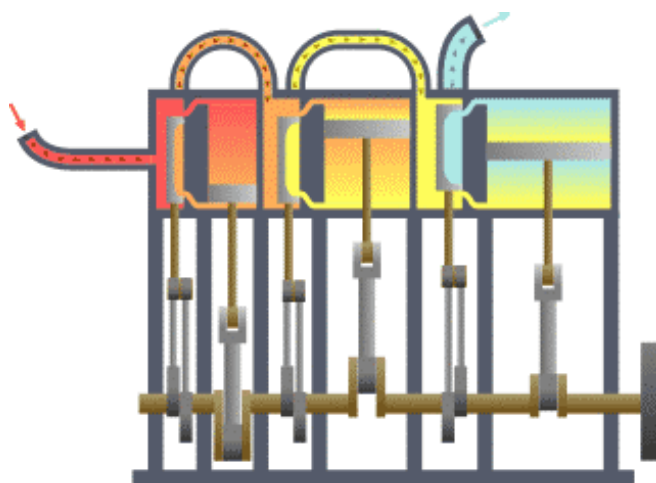
Obliko vodocevnih kotlov je možno prilagoditi razpoložljivemu prostoru na ladji. Z modernimi kotli je možno dobiti paro tlaka več kot 100bar in temperature pregretja več kot 450°C, s čimer se doseže optimalni termični izkoristek. Seveda je v tem primeru potrebno uporabljati dražji, na visoko temperaturo obstojni material za gradnjo kotlov in strojev. Kotli morajo biti toplotno izolirani, da se zmanjšajo izgube, pred poškodbami pa je izolacija zaščiten s platnom ali oklepom iz tanke pločevine (*Klasek 1969: 3*).

Parni batni stroj je bil prvič uporabljen za ladijski pogon ob koncu 18.stol na ladji Charlotte Dundas, kjer je poganjal lopatasto kolo na krmi. Parni batni stroj je sestavljen iz parnega valja, ki je z oporami ali okrovom pritrjen na temelje ladje. V parnem valju se pomika bat, kateremu se s pomočjo drsnika ali ventilov izmenoma dovaja para z ene oziroma druge strani. Para pritiska na površino bata in ga tako z določeno silo pomika navzgor ali navzdol. To recipročno gibanje bata se z gibnim mehanizmom sestavljenim iz batnice, križnika in ojnice, prenaša na ročično gred. Na ročični gredi so postavljeni ekscentri, ki služijo za pogon drsnikov. S tem pa dosežemo dovod in izpust pare v oziroma iz valjev. Če je dovod pare izveden z ventili, le te upravlja odmična gred.

Iz praktičnih razlogov pa gradijo večvaljne stroje. Na ta način je možno pri posameznemu valju izkoristiti le del energije, ki jo para vsebuje, zaradi česa so obremenitve valja in gibnega mehanizma manjše, hkrati pa z večvaljno izvedbo dobimo enakomernejši vrtilni moment (*Klasek 1969: 7*).

Zelo razširjen je bil troekspanzijski stroj, ki ima tri valje različnih premerov. Para najprej prihaja v najmanjši valj, kjer se izkoristi le del tlaka (visokotlačni valj). Od tod prehaja para v srednji valj, kjer se spet izkoristi del tlaka, preostanek pa se izkoristi v največjem zadnjem nizkotlačnem valju. Tlaki in površine batov v posameznih valjih so tako izbrani, da je njihov zmnožek enak, kar pomeni, da so tudi sile, ki delujejo na gibni mehanizem, enake (*Klasek 1969: 7*).

**Slika 1: Delovanje trivaljnega parnega batnega stroja**



Vir: <http://www.cityofart.net/bship/engine.html>

Treba je poudariti, da parni stroj ne obratuje sam, ampak le v sklopu parnega batnega postroja, ki je sestavljen iz parnega kotla, parnega batnega stroja, kondenzatorja pare in črpalke za kotlovsko vodo. Stroji in naprave so med seboj povezani s cevovodi, delovna snov teče v zaprtem tokokrogu.

Para v enem ali v več valjih ekspandira od začetnega tlaka do tlaka, ki je malo nad tlakom okolice, in se sočasno tudi ohlaja in spreminja v tlačno energijo. Iz parnega stroja teče ekspandirana in ohlajena para v kondenzator, kjer odda kondenzacijsko toploto hladilni vodi. Kotlovska črpalka, ki določa tlak delovne snovi na izstopu iz parnega kotla, črpa vodo iz kondenzatorja in jo potiska nazaj v parni kotel. Hladilna voda, ki teče skozi cevi v kondenzatorju in pri tem sprejema kondenzacijsko toploto pare, odteka ogreta nazaj v morje ali pa se v hladilnem stolpu ohladi na prvotno temperaturo (glej <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/steam.htm>).

V preteklosti se je uporabljal predvsem odprti proces, pri katerem je ekspandirana para tekla v okolico, parni kotel pa dobival vedno novo vodo iz prigrajenega rezervoarja. Tak proces je značilen za nekdanje priljubljene ladje – parnike.

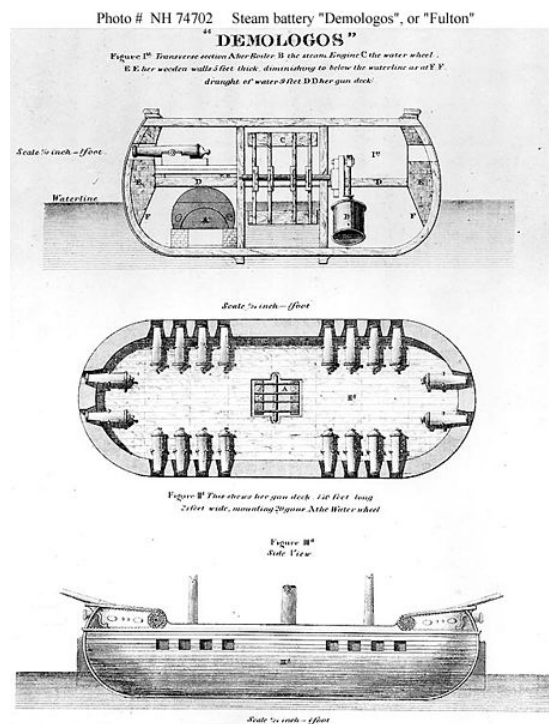
Hladen stroj je potrebno pred začetkom obratovanja enakomerno segrevati in izpihovati. Na hladnih stenah se namreč para kondenzira. Če bi se v škodljivem prostoru, kadar se bat nahaja v skrajnih legah, pojavila večja količina tekočine, bi obstajala nevarnost, da zaradi nestisljivosti tekočine počni okrov. Varnostni ventili, s katerimi so valji opremljeni, služijo le kot varnost proti previsoki kompresiji pare, ne pa tudi proti vodnem udaru, ki pri opisanem primeru nastane. Pred prvo svetovno vojno je bila večina ladij opremljena s parnimi batnimi stroji. Njihove dobre lastnosti so enostavnost konstrukcije, robustnost ter majhna zahtevnost posluževanja. Slaba stran pa je njihova velika teža in precejšnja poraba goriva primerjavi s parno turbino ali dizel motorjem.

### **2.3.3 Prva parna vojaška ladja**

Namen vseh vojska in posledično parnikov, ki so bili izdelani, je bil postati neodvisen od vetra in plimovanja, s tem pa pridobiti prednost pred nasprotnikom.

Leta 1812 svet prvič uvidi vojaško ladjo na paro, imenovano Demologos s pogonskim kolesom, nameščenim znotraj samega trupa ladje. Oborožena je bila z 26 32-funtnimi topovi. Žal pa ta ni nikoli prišla v praktično uporabo, saj se je vojna končala, še preden je bila ladja zgrajena. Od leta 1820 naprej so se v veliki meri začeli pojavljati parniki tudi kot vlačilci vojaških ladij.

## Slika 2: Demologos



Vir: <http://www.history.navy.mil/photos/sh-usn/usnsh-f/fulton.htm>

Prihodnost pomorskih bitk v 19. stol. so predstavljale parne fregate, narejene iz lesa in gnane s paro. Večina teh ladij pa ima poleg parnega pogona, kateri služi za vrtenje pogonskega kolesa, tudi jadra. Z jadra je namreč možno prepotovati velike razdalje ob ugodnem vetru, ne da bi pri tem potrebovali gorivo, od jakosti in smeri vetra pa so bile neodvisne. Zato so jih pogosto uporabljali v amfibijskih operacijah, saj je bilo te lažje načrtovati in planirati vnaprej, ne oziraje se na vremenske razmere.

Vojaške ladje, gnane na paro, so imele tudi določene slabosti napram ladjam na jadra. Bočno izpostavljena pogonska kolesa parne fregate nad vodno gladino so bila lažja tarča sovražnikovega ognja, kot pa jambor jadrnice. Prav tako so pogonska kolesa zavzemala velik del prostora, kjer bi bila sicer lahko nameščena ladijska oborožitev, posledično je bila ladja manj oborožena. In tretja slabost, ki so jo predstavljala pogonska kolesa, je bil upor in posledično zato manjša hitrost.

Zgoraj omenjene slabosti so vojaške stratege prisilile, da so začeli razmišljati o spremembah in tako je postopno prišlo do razvoja vijačnega propelerja. Velesile, ki so bile najbolj zainteresirane, so bile Velika Britanija, Francija in Združene države Amerike, kjer se je razvoj začel skoraj istočasno, okrog leta 1830. Prvi eksperimenti s propelerji na vojaških ladjah so bili opravljeni l. 1841 in končani 1843. leta v Veliki Britaniji in ZDA, l. 1845 pa v Franciji.

## 2.4 PARNA TURBINA

Prav tako kot pri parnem batnem stroju lahko tudi pri parni turbini razdelimo delo pare na več turbin in tako povečamo izkoristek. V večini primerov imamo dve stopnji; manjšo visokotlačno in večjo nizkotlačno turbino. Pregreta para potuje skozi visokotlačno turbino, kjer ekspandira skozi lopatice in izstopi v nizkotlačno turbino. Od tu para z nizkim tlakom potuje skozi lopatice nizkotlačne turbine, nakar iz le teh izstopi s pomočjo vakuma v kondenzator.

Ker pa doseže rotor turbine zelo veliko število vrtljajev (pri taki izvedbi je turbina najboljše izkoriščena), mora biti med turbino in prenosno gredjo vgrajen reduktor, ki po svoji velikosti in

teži znatno prekaša dimenzije turbine. Visokotlačna in nizekotlačna turbina sta dejansko ločeni turbini, vsaka na svoji gredi, združeni v reduktor, ki zmanjša število vrtljajev iz več tisoč na približno sto.

Rotor visokotlačne turbine ima tudi lopatice, ki se lahko uporabljajo za vzvratni pogon, kar omogoča ladji lažje manevriranje ob vplutju in izplutju iz pristanišč, prav tako pa jih je možno uporabiti v nujnih primerih, kot je preprečitev trčenja na morju. Za ladijski vijak velja zakonitost, da ima tem boljši izkoristek, če podeli čim večji masi vode čim manjši pospešek. Iz navedenega sledi, da naj ima ladja tako velik vijak, kot ga dopušča ugrez ladje, vijačna gred pa čim manjšo vrtilno hitrost (*Klasek 1969: 9*).

Parne turbine so toplotni pogonski stroji, v katerih se termična notranja energija delovne snovi spreminja v mehansko delo. Navadno so nadtlačni aksialni stroji v večstopenjski izvedbi. Zagotavljajo visoko razmerje moči in teže in so kakovostne izdelave. Ko so potrebna vzdrževalna dela, pa se jih običajno opravi brez odstranitve iz ladje.

Pridobljena mehanska energija se uporablja predvsem za proizvodnjo elektrike, za pogon velikih ladij, nadalje za pogon delovnih strojev, le redko za pogon vozil ali drugih strojev. Delovna snov je največkrat vodna para z visoko temperaturo in z visokim tlakom. Toploto črpa iz termične notranje energije dimnih plinov, ki so rezultat zgorevanja goriva v parnem kotlu; toploto pa lahko črpa tudi iz termične notranje energije hladilne snovi jedrskega reaktorja, ki se zaradi jedrske reakcije segreje in to toploto prenaša naprej na vodno paro (*Tuma, Sekavčnik 2005: 205*).

Pomemben faktor za brezhibno delovanje celotnega sistema parne turbine je segrevanje elementov. Približno dve uri pred predvidenim izplutjem je potrebno zagotoviti, da so vse cevne povezave, ohišje in rotor segreti na delovno temperaturo. Ne smemo pozabiti, da zaradi nestisljivosti kapljevine že najmanjša vlaga v sistemu lahko povzroči poškodbe.

### Slika 3: Turbinia



Vir: <http://www.nationalhistoricships.org.uk/register/138/turbinia>

Parno turbino je za pogon ladje prvi uporabil Anglež Parsons leta 1894 na ladji Turbinia. Njene odlike so miren tek brez tresljajev, majhna teža in neomejena moč. Pri parnih batnih strojih je bila namreč zgornja meja nekako 5000 KS.

Turbinia je bila zgrajena iz jekla, dolga 30,50 m in široka 2,75 m z ugrezom 0,9 m in nosilnostjo 44,5 ton ter dvema kotloma, ki sta delovala s pritiskom približno 14,5 bar-ov. Prvotno je imela nameščeno enojno radialno turbino, katera je poganjala eno samo gred in je razvila pri 2400 vrt/min 960 KS. Največja zabeležena hitrost je bila 20 vozlov, kar pa je bilo dosti manj, kot je bilo pričakovano.

Težave so se pojavile zaradi prevelikih hitrosti propelerjev. Ti so se vrteli s hitrostjo 18.000 vrt/min, kar je privedlo do padca tlaka na robovih krakov propelerja. Zaradi tega se zniža



vrelišče vode, ki tako lahko zavre že pri temperaturah morja. Če se to zgodi, se voda na teh točkah uplinja, nastajajo mehurčki vodne pare, ki obrabljajo lopatice. Ta pojav imenujemo kavitacija. Moč se je tako porabljala za ustvarjanje vodnih mehurčkov namesto za pogon ladje.

**Slika 4: Pojav kavitacije**



Vir: <http://www.morjeplovec.net/>

Parsons je tudi za to imel rešitev: ladjo je bilo potrebno poganjati z nižjimi obrati, večjimi turbinami in propelerji. Radialno turbino so nadomestile tri vzporedno nameščene turbine, ena visokotlačna, ena srednjetačna in ena nizkotlačna. Vsaka izmed teh je poganjala svojo gred, na kateri so bili nameščeni trije trokraki propelerji, skupno torej 9 propelerjev. Hitrost sredinske gredi je bila 2000 vrt/min, medtem ko sta imeli stranski turbini 2230 vrt/min. Z uvedbo te nove konfiguracije je bila dosežena hitrost 34,5 vozlov, kar pomeni približno 4 vozle več, kot je bila hitrost takrat najhitrejših rušilcev. Rezultati so bili za tiste čase spektakularni (glej <http://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/55877-steam-turbines-for-marine-propulsion/>).

### 3 DIZELSKI POGON

Pri motorjih z notranjim izgorevanjem se proces zgorevanja odvija v samem motorju. Toplota, sproščena med zgorevanjem, se prenaša na produkte zgorevanja, s čimer se poveča njihov energetski potencial, izražen s tlakom in temperaturo. Toplotna energija produktov zgorevanja v samem motorju se pretvarja v mehansko delo (*Kegl 2006: 1*). Govorimo o motorjih s samovžigom, pri katerih se gorivo vbrizgava pod visokim tlakom v visokokomprimirani in s tem visokosegreti zrak v zgorevalni komori ali pa se gorivo vbrizgava v ločeni dodatni zgorevalni prostor (predkomoro ali vrtinčno komoro). Med motorji s samovžigom prevladujejo dizelski motorji.

#### 3.1 ZGODOVINA

Pred več kot sto leti v pismu svojemu mentorju Carlu von Linde-ju, Rudolph Diesel zapiše: » Imam zanimivo novico; izumil sem stroj, kateri po mojih izračunih porabi približno le desetino premoga, katerega potrebujejo pri sodobnih parnih strojih.« Z velikim prepričanjem je Rudolf Diesel razvil prvi 4-taktni dizelski motor, katerega učinkovitost je zasenčila vse do takrat razvite stroje.

V letih 1892-93 Diesel patentira idejo o visoko komprimiranem čistem zraku in naknadnem vbrizgu goriva. Pri dizelskem motorju je vžig goriva zasnovan na principu samovžiga pod delovanjem temperature visokotlačnega zraka v valju motorja. Višji izkoristek kot pri Ottovem motorju je posledica večje dosežene kompresije. Ta je lahko velika zato, ker ne obstaja nobena nevarnost predčasnega vžiga vnaprej pripravljene zmesi; dovolj velika mora biti, da malo pred koncem kompresije v valju nastane samovžig. Pri prvih dizelskih motorjih je bilo gorivo dovedeno v valj na osnovi stisnjenega zraka, ki ga je dobavljal kompresor. Osnovni princip danes uporabljenih naprav za vbrizgavanje goriva je znan od leta 1930. Dizelski motor, ki je pri svojem prvem preskusnem teku brez motenj dosegel 30-odstoten efektivni izkoristek, je od časov nastanka pa vse do danes toplotni stroj z najboljšim izkoristkom energije (*Kegl 2006: 39*).

Tako je med leti 1901 in 1934 v Kijevu razvit prvi turbo dizelski štiritačni batni motor, kateri je bil vgrajen v ladjo *Selandia*. Leta 1935 je izdelan prvi 4-taktni dizelski motor na težko gorivo in kasneje v letu 1952 je predstavljen prvi 2-taktni dizelski motor.

#### 3.2 PRINCIP DELOVANJA

Postopek zgorevanja se pri dizelskih motorjih bistveno razlikuje od postopka pri bencinskih motorjih. Dizel nima vžigalnih svečk ampak ima žarilne svečke s pomočjo katerih ogreva zrak ob prvem vžigu. Pri dizelskih motorjih se vsesani zrak s pomočjo bata močno stisne, zaradi česar narasteta temperatura in tlak. Takšen motor stalno deluje s presežkom zraka. Goriva za dizelski motor imajo večinoma visoko vrelišče in imajo visoko vžigalno sposobnost.

Visoka kompresija namreč ustvari temperature, ki so višje od vžigalne temperature plinskega olja. Zmes goriva in zraka se ustvarja šele v zgorevalnem prostoru tako dizelski motor deluje z notranjim ustvarjanjem zmesi. Plinsko olje ne pride v valj pomešano z zrakom, marveč ga pod visokim pritiskom vbrizgava v valj posebna šoba.

Vsaka šoba vbrizga v valj natančno odmerjeno količino goriva, ki ga dovaja od motorja gnana visokotlačna črpalka. Visoko komprimiran (stisnjen) zrak pa je tako vroč, da se vbrizgano gorivo samo vžge; torej prihaja do samovžiga. Dizelski motor ima večje padce tlaka in temperature, zato ima višjo stopnjo izkoristka in nižjo temperaturo izpušnih plinov (*Hiller 1992: 45*).

Za vbrizgavanje goriva skrbi črpalka. Šobe oz. injektorji elektromagnetni ali piezoelektrični, (v vsakem valju ena) vbrizgavajo (v nekaterih primerih tudi več kot 1800-kraten atmosferski tlak) v pravem trenutku pravo količino goriva po vrstnem redu vžigov v valjih. Razdeljevanje

in vbrizganje goriva po valjih je bilo prvotno uravnava z mehansko napravo – razvodnikom goriva. Pri novih motorjih vbrizganje goriva uravnava elektronika. Ugodnejše delovanje se da doseči s postopnim vbrizganjem goriva, elektronika (računalnik vžiga) pa uravnava čas, količino in razpored delnih vbrizganj goriva v valj (*glej <http://www.marinediesels.info/>*).

Podjetje Bosch trenutno razvija četrto fazo tehnologije za osebne avtomobile s tlakom višjim od 2000 barov. Zraven tišjega delovanja tehnologija omogoča višji izkoristek goriva in nižje emisije. Tehnologija skupnega voda (Common Rail) se je najprej uporabljala za manjše dizelske motorje z visokimi vrtljaji, vendar se počasi razširila tudi na večje motorje z nižjimi vrtljaji, kot so MTU serije 4000 (VNL-11 Triglav). Velike ladje in manjše bojne ladje imajo zelo podobne pogonske sisteme. MTU je bil pred več kot desetimi leti prvi proizvajalec velikih dizelskih motorjev, ki je začel uporabljati tehnologijo skupnega voda.

### 3.2.1 2-taktni ali 4-taktni

Dizli so po osnovnem delovanju podobno kot ostali motorji z notranjim zgorevanjem dveh vrst: dvotaktni in štiritačni. Manjši motorji so skoraj izključno štiritačni. Dvotaktni so večji, in počasi tekoči motorji. Skupna značilnost je samovžig goriva, ki ga visokotlačna črpalka vbrizga skozi šobo v stisnjen vroč zrak v obdobju, ko je zrak v valju motorja najbolj stisnjen. Razlikujeta pa se dvotaktni in štiritačni motor po načinu dotoka svežega zraka in odstranjevanja dimnih plinov iz valja.

Dvotaktni motorji so zelo enostavni in zaradi majhnega števila delov tudi zelo zanesljivi, kar je ključno za uporabo na ladjah. Dvotaktni batni motor ne potrebuje ventilov. Ker je pri vsakem obratu en delovni takt; pri štiritačnem motorju pa je delovni takt le vsak drugi obrat, je moč dvotaktnega motorja za enako velikost skoraj dvakrat večja. Pomanjkljivost je v tem, da se zrak in izpušni plini nekoliko mešajo. Zaradi ostanka dimnih plinov v valju se možna količina goriva, ki zgore v vsakem delovnem taktu, zmanjša. Zaradi tega moč dvotaktnega motorja ni natanko dvakrat večja kot pri enako velikem štiritačnem motorju.

#### Štirje takti:

- Sesalni takt – izpušni ventil je zaprt. Skozi odprti sesalni ventil vsesa bat v valj zrak. Sesalni ventil se zapre.
- Kompresijski takt – oba ventila sta zaprta. Bat se pomika navzgor in stiska vsesani zrak v zgorevalni prostor. Tik pred zgornjo mrtvo točko brizgne šoba v zgorevalni prostor gorivo, ki se v razgretem zraku uplini.
- Delovni takt – zmes se vžge. Plini se širijo in potiskajo bat navzdol.
- Izpušni takt – bat se od spodnje mrtve točke pomika navzgor in potiska ostanke zgorevanja skozi izpušni ventil v izpušno cev.

#### Dva takta:

Skozi vstopno odprtino doteka svež zrak, skozi izstopno pa izpušni plini. Med dvigovanjem bata se najprej konča izmenjava delovne snovi, ki je potekala že od zadnjega dela prejšnjega takta; izpuh in sočasen dovod svežega zraka. Nato odprtini zapremo in začne se kompresija. Ko se zrak stisne in je dovolj vroč, da se vbrizgano gorivo zaradi visoke temperature vžge. Začne se delovni gib, tlačne sile potiskajo bat navzdol. Poteka ekspanzija. Proti koncu takta se vstopna in izstopna odprtina zopet odpreta in začne se že omenjena izmenjava delovne snovi (*glej <http://ro.zrsss.si/projekti/kmetijstvo/motor/dvotaktn1.htm>*).

### 3.2.2 Turbopolnilniki

Medtem ko vbrizg goriva po skupnem vodu in elektronski nadzor zagotavljajo bolj rafinirane in natančne dizelske motorje, jim tehnologija turbo polnilnikov omogoča doseganje

konkurenčnih moči. Turbo polnilnik je centrifugalna zračna črpalka, ki jo poganjajo izpušni plini motorja. Tako se energija, ki bi bila drugače potratena, uporabi za poganjanje kompresorja, ki črpa zrak pod visokim tlakom v motor, kar omogoča boljše izgorevanje goriva in veliko večjo moč. Zrak se pod pritiskom segreje, kar ni zaželeno, ker se ob tem razredči in zniža vsebnost kisika, ker omeji količino goriva, ki ga lahko motor sežge. Da bi torej turbo polnilnik deloval optimalno, je večina dizelskih motorjev opremljena s hladilnikom, ki ohladi zrak, preden vstopi v valj.

Računalnik pri tem redno spremlja uporabo motorjev in njihovo stanje. Sodobna tehnologija senzorjev lahko izmeri ogromno parametrov, vključno z vrtljaji na minuto, pretokom goriva, nastavitve moči, vibracije, ter tlakom in temperaturo zraka, olja in hladilne tekočine. Podatki o vibracijah so še posebej pomembni, saj lahko vodijo h zgodnjemu prepoznavanju napak kot so npr. obraba ležajev ali razpoke na gredi motorja še preden se le-te razvijejo, ter s precejšnjo natančnostjo napovedo, kdaj bo določena komponenta odpovedala. To olajša vzdrževalne posege ter zmanjša možnosti nevarnih napak med misijo, kar je lahko še posebej nevarno pri podmornicah.

### **3.2.3 Prednosti dizelskih motorjev:**

- Poraba goriva – ugodna pri robustnih dizelski agregatih z nizkimi in srednjimi vrtljaji; manj kot 120 g/KS-h v nasprotju z najbolj naprednimi plinskimi turbinami, kot je Rolls-Royce-ova WR-21, katera porabi med 142 – 145 g/KS-h,
- zanesljivost in robustnost – dizelski motorji so še vedno bolj zanesljivi napram turbinskim pogonom. Njihova široka uporaba pa pomeni izvedbo remonta, dostopa do rezervnih delov in servisa praktično v kateremkoli pristanišču po svetu,
- nizki stroški – še vedno predstavljajo pogon z najmanjšimi stroški vzdrževanja. Kot najcenejši so dizelski motorji z visokimi vrtljaji z najboljšim razmerjem moči v primerjavi z teži, sledijo jim srednje se vrteči motorji in nazadnje dizelski motorji z nizkimi izhodnimi hitrostmi,
- širok spekter goriv – morski dizelski motorji so prilagojeni tako, da lahko uporabljajo nižja kvalitetna goriva, katera imajo veliko vsebnost žvepla, kar drugi motorji ne prenašajo,
- dobra zmogljivost in učinkovitost – kljub ob obremenitvi lahko delujejo v širokem območju vrtljajev motorja brez velikega zmanjšanja moči in zmogljivosti; imajo pa tudi večjo učinkovitost pri visokih hitrostih, kot kateri koli drugi stroji na fosilna goriva.

### **3.2.4 Slabosti dizelskih motorjev:**

- Teža in velikost - so najtežji izmed ladijskih pogonov,
- nizka moč napram masi in volumnu - zavzemajo veliko prostora in dajejo razmeroma malo energije za svojo velikost,
- hrup in vibracije - dizelski motorji so precej hrupni in so veliko večji izvor vibracij kot plinske turbine.

## **3.3 KLASIFIKACIJA DIZELSKIH MOTORJEV**

Zaradi učinkovite porabe goriva je dizelski motor obdržal svoje mesto v pogonskih sistemih vojnih ladij, kljub razvoju naprednejših motorjev s plinsko turbino, ki izhajajo iz sveta aviacije. Dizelski motor se uporablja za sodobne vojne ladje vseh velikosti. Prav tako ostaja glavno pogonsko sredstvo za ne-jedrski podmornice, kljub razvoju od zraka neodvisnih pogonskih sistemov za takšna plovila. Sodobni ladijski dizelski motorji so večvaljni, vrstni ali V zasnovi.

Uporabljajo se kot pomožni stroji, kateri služijo za pogon generatorjev, črpalk in kompresorjev.

Dizelske motorje lahko razdelimo glede na:

- Delovanje: ločimo 2-taktne in 4-taktne motorje.
- Konstrukcijo: ločimo motor z klasično povezavo ojnice in glavne gredi, motor z dvostranskim delovanjem bata in fiksno povezavo bata, ter motor z dvema nasproti si ležečima delujočima batoma.
- Število vrtljajev pa jih razvrščamo v tri skupine:
  - *Motorje z nizkimi vrtljaji (do 350 vrt/min)*; med te spadajo največji (dolžine 25 m in višine 15 m) in najmočnejši agregati (do 114.000 KS), kateri tehtajo vse tja do 2.000 ton. Hitrost vrtenja velikih 2-taktnih dizelskih motorjev ne preseže 200 vrt/min. Za pogon se uporabljajo cenena nizko kvalitetna goriva, katera zaradi svojih visokih viskoznosti potrebujejo predgrevanje pred uporabo. Ponavadi to opravi temperatura izpušnih plinov.
  - *Motorje s srednjimi vrtljaji (od 350-750 vrt/min)*; predstavljajo večino novejših 4-taktnih agregatov, kateri se uporabljajo za pogon večjih električnih generatorjev, kompresorjev ali črpalk. Ti so lahko vrstni ali V-oblike, vse tja do 20 valjni. Zagon teh motorjev je lahko izveden z dovajanjem komprimiranega zraka ali v valj ali na vztrajnik.
  - *Motorje z visokimi vrtljaji (nad 750 vrt/min)*; vsi ostali agregati, ki se vrtijo nad 750 vrt/min. Večina teh ima dovod goriva skupnega voda.

Na splošno rečeno v takšnem vrstnem redu rastejo tudi velikost, teža, moč in izkoristek goriva pri dizelskih motorjih. Večina sodobnih vojnih ladij ima kombinirane pogone, ki vključujejo dva ali več dizelskih motorjev, pogosto v kombinaciji s plinskimi turbinami za doseganje višjih pospeškov in končnih hitrosti. Manjša plovila, pri katerih je teža in velikost motorjev omejena, uporabljajo motorje z visokimi in srednjimi vrtljaji, medtem ko so na večjih plovilih v uporabi večji in težji motorji z nizkimi vrtljaji in učinkovitejšo porabo goriva. Motorji z visokimi in srednjimi vrtljaji potrebujejo sistem za omejevanje hitrosti, kot je menjalnik ali kombinacija generatorja in elektromotorja.

Kakorkoli, dizelski pogon se vrača in se vgrajuje v vedno večje vojaške ladje, kot so fregate in rušilci. Take vojne ladje z nosilnostjo od 2000 BRT do 4000 BRT morajo biti sposobne doseganja hitrosti 30 vozlov in avtonomije preplutja 4000 NM. Za doseg te pogojev dizelski pogon nudi relativno nizko specifično porabo goriva, kar se pogonskega sistema kot celote tiče, pa tudi variabilnih geometrij lopatic na propelerju (CPP - Controllable Pitch Propeller) in dosti enostavnejše reduktorje, kot pa to zahtevajo plinske turbine. Tako začetni, osnovni, kot tudi tekoči stroški so nizki, posebno če se prečiščeno motorno olje lahko uporabi kot gorivo. Nasprotno pa ima dizelski motor visoko stopnjo hrupnosti in visoke vibracije, kar zahteva namestitvev akustične izolacije in blažilcev vibracij.

### 3.4 VZDRŽEVANJE

Obstajata dve skrajnosti oziroma filozofiji vzdrževanja dizelskih motorjev. Obratovanje do okvare, katero se odpravlja, ko do slednje pride (ponavadi ob najbolj neprimernem času), kar imenujemo korektivno vzdrževanje ali pa nenehno razdiranje in pregledovanje strojnih sklopov ter elementov, ki jih po potrebi nadomeščamo z novimi.

Nobena od filozofij ni stroškovno učinkovita oz. ne povečuje razpoložljivosti stroja. Optimalno varianto za nadzor stanja nad motorjem predstavlja tekoče spremljanje in analiziranje spremembe operativnih parametrov, zaradi obrabe mehanskih delov. Namen tega zbiranja in analiziranja podatkov je napovedati oz. v naprej predvideti časovne intervale preventivnega in korektivnega vzdrževanja kakor tudi remonta.

## 4 PLINSKA TURBINA

Razvoj plinskih turbin je vedno bil domena letalske industrije, saj so pri letalih bolj kot kjerkoli druge pomembni majhni, lahki in zelo močni motorji. Ko so med drugo svetovno vojno plinske turbine pričeli uporabljati v pomorstvu, je hitro postalo jasno, da so te lastnosti zelo uporabne tudi za ladje, prav tako tudi druge lastnosti kot so gladkost delovanja in hitra pripravljenost ob hladnem zagonu motorja. Zgodnje letalske plinske turbine so bile turbinski reaktivni motorji, ki so ustvarjali pritisk neposredno z izpustom vročih izpušnih plinov z visoko hitrostjo. Ker za pogon ladij to ni dovolj, se je pričel razvoj pogonskih turbin z reduktorji ter razvoj motorjev, primernih za daljše delovanje pri visokih obratih. Medtem ko so nekatere parne turbine neposredno poganjale pogonsko gred, jih je večina potrebovala reduktorje za znižanje vrtljajev na gredi, primerne za delovanje ladijskega vijaka. To tehnologijo prenosa so prevzeli pri razvoju plinskih turbin za ladje.

Prva vojaška ladja s plinsko turbino je bila Motor Gun Boat 509 britanske kraljeve mornarice, veteranka prve svetovne vojne, kateri so zamenjali enega od treh Packardovih bencinskih motorjev s predelanim Metropolitan Vickers (»Metrovick«) letalskim motorjem leta 1947. Plinska turbina je gnala centralno gred motorja in dosegla dvakratno moč Packardovega motorja ob približno enaki velikosti in teži. Ob uvedbi kombiniranega pogona (ki še vedno prevladuje pri sodobnih vojaških ladjah, čeprav so v uporabi druge komponente), je ladja prejela novo ime – MGB 2009.

Izkušnje, pridobljene z MBG 2009 so kasneje privedle do uporabe plinskih turbin v večjih vojaških ladjah, najprej fregatah razreda »Tribal«. Te 3.000 tonske, 109,7 m dolge fregate za splošno rabo so bile ladje z eno gredjo, ki sta jih poganjali parna turbina s 15.000 KS in G6 plinska turbina s 7.500 KS, obe proizvajalca Metrovick.

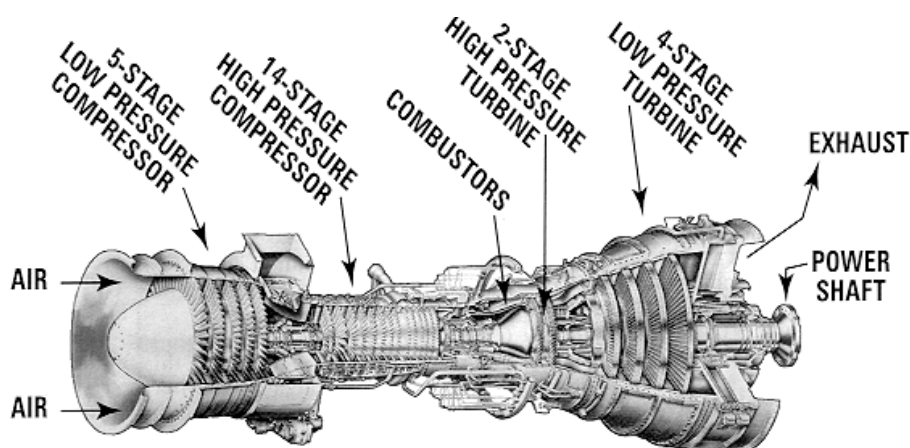
### 4.1 DELOVANJE

Plinska turbina je v osnovi preprost motor, ki ga sestavljajo tri osnovne komponente: kompresor za stiskanje vstopnega zraka z visokim tlakom, izgorevalna komora za izgorevanje in proizvodnjo plinov pod visokim tlakom in turbina za pridobivanje energije iz plinov, ki pritekajo iz izgorevalne komore. Delujejo na štiritaktnem ciklu sesanje-stiskanje-eksplozija-pihanje, vendar za razliko od štiritaktnih batnih motorjev, pri katerih so te faze v časovnem zaporedju, pri plinski turbini vse faze potekajo hkrati.

Turbinski motorji imajo pogosto še pomožni pogon za pogon črpalk za gorivo, vodo in olje, in reduktor za zmanjšanje visokih vrtljajev na bolj učinkovite vrtljaje za prenos na gred vijaka. Kompresor dvigne tlak zraka, ki izhaja iz atmosfere za faktor od 5 do 30. Gre za napravo s centrifugalnim ali osnim tokom, ki pridobiva energijo neposredno iz turbine, ki je navadno pritrjena na isto gred. V izgorevalni komori vroč kompresiran zrak in vbrizgano gorivo zagorita. Gorivo je čista nafta z nizko viskoznostjo. Zmes zraka in goriva, ki je navadno v razmerju 60:1 glede na težo, zagori, tako da nastane plin pod visokim tlakom, delno kontaminiran s stranskimi produkti izgorevanja. Temperature plina se običajno gibljejo med 850°C in 1100°C. Plin se nato razširi skozi šobe, tako da se del toplotne energije in tlaka pretvori v kinetično energijo. Tok zraka visoke hitrosti trči ob lopatice turbine.

Pri ladijskih plinskih turbinah se pogosto uporabljata dve zaporedno vezani turbini. Energija za kompresor izhaja iz same turbine. V zaporedni konfiguraciji prva plinska turbina – imenovana tudi kompresorski pogon, generator visokega tlaka ali plinski generator – poganja kompresor. Druga turbina – imenovana tudi nizkotlačna turbina, prosta turbina ali pogonska turbina – je bolj primerna za pogon vijaka ali generatorja. Porazdelitev funkcij na pogon kompresorja in plovila omogoča boljši navor, ki je potreben za pogon ladje.

**Slika 5: Stopnje plinske turbine v prerezu**

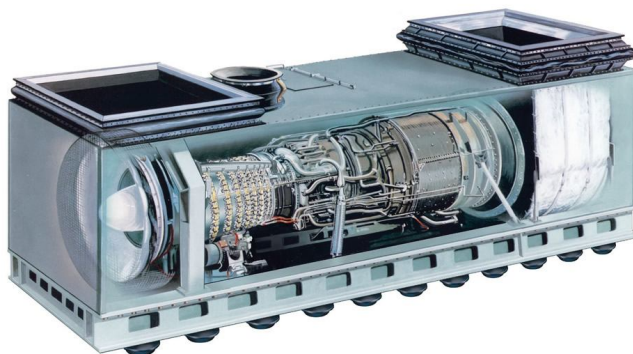


Vir: [http://www.dieselduck.net/machine/01/gas\\_turbine/gas\\_turbine.htm](http://www.dieselduck.net/machine/01/gas_turbine/gas_turbine.htm)

Delovno okolje plinskih turbin za ladje predstavlja nekatere edinstvene izzive. Slan zrak ni nikoli predstavljal resnih težav za dizelske motorje ali parne pogone. Toda velika količina zraka, ki jo potrebuje plinska turbina omogoča vstop vlage, soli ter drugih morskih elementov v motor. Motor mora biti zato prirejen, da se prepreči korozija in nabiranje solnih oblog, ki bi lahko zaprle prehode. Zato imajo skoraj vse večje plinske turbine posebno prevleko na lopaticah in krilih propelerja za dodatno zaščito elementov. Zraven tega je plinska turbina izpostavljena nenehnemu gibanju. Zato je potrebna posebna previdnost pri vzdrževanju podpornih in blažilnih struktur.

Plinske turbine imajo širok spekter uporabe, zaradi česa so nastali različni tipi, ki se razlikujejo po osnovni strukturi naprav in velikosti moči posamezne enote. Turbine večjih moči imajo lahko tudi do tri kompresorje, dve turbini in več komor za izgoravanje. Plinske turbine imajo dobro razmerje med močjo in težo in visoko izhodno moč, so sposobne hitrega zagona, ki z drugimi načini pogona ni možen. Primer je Nizozemska fregata razreda Kortenaer, ki lahko pospeši na 30 vozlov hitrosti v samo 75 sekundah z močjo dveh Rolls Royce OLYMPUS TM 3 motorjev. Kar pa se volumna celotnega sistema tiče, turbine same ne zavzemajo veliko prostora, mnogo več dragocenega prostora je potrebno za namestitve vertikalnih sistemov dovoda zraka in izpuha plinov.

**Slika 6: Plinska turbina podjetja General Electric model LM2500, s težo 4600 kg in 25MW moči**

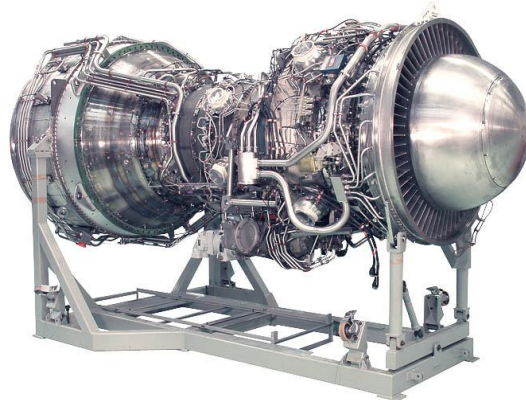


Vir: <http://www.defenseindustrydaily.com/US-State-Dept-Throws-A-Wrench-Into-Exports-Allied-Shipbuilding-05321/>

## 4.2 Prednosti plinskih turbin:

- Relativni nizki tlak delovnega sredstva, večino 1,2 Mpa,
- visoko število obratov; do 28.000 v minuti,
- miren hod, brez pulzirajočih inercijskih sil,
- volumen komor za izgorevanje je neprimerno manjši kot pri parnih kotlih,
- imajo manjšo specifično maso po kW, znaša od 0,4 do 12 kg/kW, medtem ko je pri parnih, turbinah od 20 do 40 kg/kW, pri motorju SUI pa 40 do 80 kg/kW,
- čas zaganjanja v pogon je zelo kratek in brez posledic toplotnih preobremenitev,
- razhladna voda ni potrebna, ker ni kondenzacije,
- vodo trošijo samo za hlajenje olja in posameznih delov osrčja turbine,
- moč enote je mnogo večja in znaša okrog 100.000 kW,
- lahka avtomatizacija,
- manjše število posadke,
- zavzame manj prostora.

**Slika 7: Plinska turbina podjetja Rolls-Royce, model MT-30 s težo 6.346 kg in 36 MW moči**



Vir: [http://www.rolls-royce.com/marine/products/diesels\\_gas\\_turbines/](http://www.rolls-royce.com/marine/products/diesels_gas_turbines/)

## 4.3 Pomanjkljivosti plinskih turbin:

- Previsoka temperatura delovnega sredstva pri vходу v turbino (700°C do 900°C). V komercialni eksploataciji je ta temperatura omejena na 800°C. Nižje temperature od navedenih se lahko dosežejo z uporabo generatorja delovnega medija,
- specifična poraba goriva je nekaj večja kot pri motorju z notranjim izgorevanjem, s tem pa je stopnja delovanja slabša, kar je vzrok, da se na trgovskih ladjah ne uporabljajo v velikem obsegu.

Po izsledkih zadnje analize se predvideva, da bo v obdobju med leti 2011 in 2020 izdelanih 827 plinskih turbin, kar je več kot po predhodnih analizah. To povečanje je mogoče pripisati predvsem razvoju fleksibilnih motorjev, ki vključujejo električni pogon. S trajnim znižanjem stroškov proizvodnje plinskih turbin, bodo takšni pogoni za plovila postajali vedno bolj stroškovno konkurenčni konvencionalnim, dvotaktnim in štiritačtnim dizelskim motorjem.



## 5 JEDRSKI REAKTOR

Prve raziskave jedrske energije za uporabo propulzije ladij segajo v leto 1940. Jedrski pogon se je najprej pojavil pri podmornicah. Prva takšna je bila USS Nautilus leta 1955, sposobna pluti pod vodo več tednov s hitrostjo od 20 do 25 vozlov. Kasneje so vgradili reaktorje tudi na trgovske ladje in na ledolomilce. Ena izmed njih je bila nemška trgovska ladja Otto Hahn, katera je v svoji zgodovini preplula več kot 650.000 NM v desetih letih, brez kakršnihkoli tehničnih težav. Žal je leta 1982 zaradi prevelikih stroškov dobila dizelski pogonski agregat.

Izdelava naprav za pretvorbo jedrske energije v toplotno je zelo komplicirana in draga, saj je reaktorje potrebno namestiti in ustrezno zaščititi. Ker točnih podatkov o stroških za določen jedrski pogon ni, se smatra, da so povprečni stroški za novejšo ameriško letalonosilko USS George Washington ocenjeni na 3.280 milijonov ameriških dolarjev.

Pri kemičnih reakcijah pri zgorevanju goriva se odvija proces s spremembami v elektronskem plašču, pri čemer se sprošča toplota. Veliko več energije pa pridobimo, če dosežemo spremembe v samem jedru atoma, bodisi da ga z obstreljevanjem nevtronov razbijemo ali pa da dve jedri združimo. Pri omenjenem je treba doseči, da reakcija poteka kontrolirano in počasi, sicer lahko velika rušilna moč uniči ne samo ladjo, ampak je lahko nevarna tudi okolici. Naprave, ki izkoriščajo jedrsko energijo, imenujemo reaktorji. Zaenkrat ni možno neposredno pridobivati mehanske energije iz jedrske, zato jo je potrebno najprej pretvoriti v toplotno. S toplotno energijo pa je možno bodisi segrevati zrak, ki potem lahko poganja plinsko turbino bodisi segrevati vodo in paro uporabljati za pogon parne turbine.

Zaradi žarčenja, ki je zdravju škodljivo, mora biti reaktor obdan z zaščitnim slojem. Posebni varnostni ukrepi morajo biti predvideni za primer brodoloma. Če primerjamo težo pogonskega postrojenja ladje s parnim in jedrskim pogonom ugotovimo, da je zaradi omenjenih varnostnih ukrepov teža postrojenja z jedrskim pogonom enkrat večja. Razlika pa nastane v nosilnosti vsled tega, ker je za parno postrojenje potrebna večja zaloga goriva. Za turbinsko ladjo z močjo 10.000 KS je potrebno za pet tednov približno 2.100 t goriva, medtem ko težo jedrskega goriva lahko zanemarimo, saj govorimo le o nekaj kilogramih (*Klasek 1969: 22*).

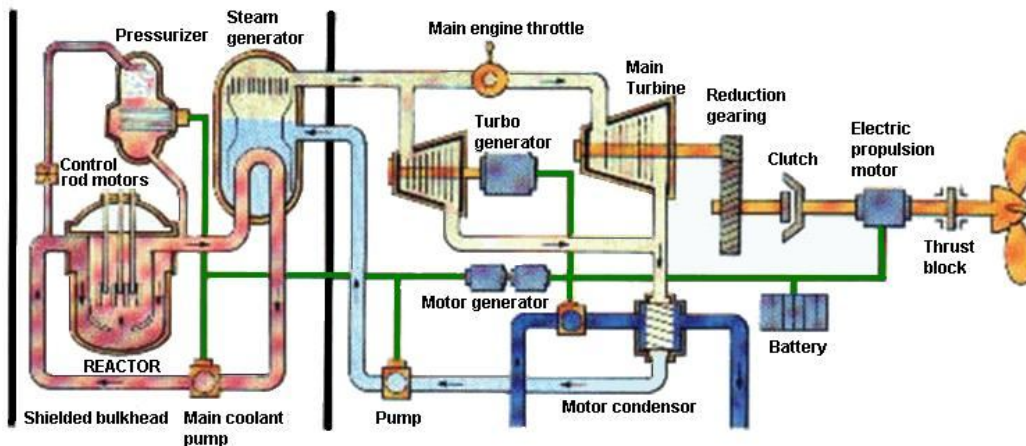
### 5.1 TLAČNOVODNI REAKTOR

V tlačnovodnem reaktorju je primarni krog hladilnega sredstva pod visokim pritiskom (okrog 150 barov), da voda kljub temperaturi okrog 300°C ne more zavreti. Za prenos toplote do sekundarnega hladilnega sredstva se uporabljajo izmenjevalniki toplote, ki se imenujejo uparjalniki, kjer sekundarno hladilno sredstvo lahko zavre, pri tem pa se proizvaja para. Ta para se lahko uporablja za proizvodnjo električne energije ali pa za pogon vojnih ladij, ledolomilcev in jedrskih podmornic. S sekundarnim krogom se tlačnovodni reaktor razlikuje od vrelovodnega reaktorja, kjer glavno hladilno sredstvo zavre v reaktorski sredici in neposredno poganja turbine. Sekundarni hladilni krog se hladi s terciarnim, ki v kondenzatorju ohlaja paro, ki jo kondenzira v tekočo vodo. Terciarni hladilni krog se hladi z vodo iz morja. Toplota iz majhnih tlačnovodnih reaktorjev se uporablja tudi za ogrevanje v polarnih področjih.

To je najbolj običajna vrsta jedrskega reaktorja. Reaktor Nuklearne elektrarne Krško (NEK) je tlačnovodnega tipa. Za ustvarjanje električne energije se jih uporablja več kot 230 po celem svetu, še več sto pa se jih uporablja za pogon vojaških plovil. Njegova zasnova je nastala pri načrtovanju pogona jedrskih podmornic.

Slika 8: Tlačnovodni reaktor

### Pressurized-water Naval Nuclear Propulsion System



Vir: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/eng/reactor.html>

## 5.2 PRINCIP DELOVANJA TLAČNOVODNEGA REAKTORJA

Ladijski jedrski pogon praktično predstavlja jedrsko elektrarno znotraj ladje, katera je nameščena v prostoru, kjer se nahaja reaktor. Sestavni deli oz. komponente jedrske elektrarne so sam reaktor, toplotni izmenjevalec, uparjalnik, pripadajoči cevovodi, črpalke in ventili.

Medtem ko kopenski reaktorji v elektrarnah proizvedejo tisoče megavatov, jih ladijski proizvedejo le nekaj sto. Prostorske zahteve oz. omejitve na ladji pa zahtevajo, da naj bodo ladijski reaktorji čim manjši, kljub temu pa morajo biti zmoglivejši. To pa tudi pomeni, da so vse komponente podvržene večjim obremenitvam v primerjavi s tistimi na kopnem. Ladijski mehanski sistemi morajo biti zanesljivi, kljub zunanjim vplivom razburkanega morja in vibracij. Primer tega je sistem za ugašanje verižne reakcije znotraj reaktorja, kjer se ne gre zanašati na silo gravitacije pri spuščanju kontrolnih palic, kot v primeru kopenskega reaktorja, kateri je vedno orientiran navpično. Problem prav tako predstavlja korozija slane vode, katera otežuje vzdrževanje. Kot omenjeno, srce jedrskega pogona ladje ali podmornice predstavlja reaktor, kateri služi za pridobivanje toplote. Tukaj nevtroni trkajo v jedrsko gorivo v gorivnih palicah (zgodaj v ciklu je to večinoma uran-235), kar vodi do cepitvenja jeder cepitvenih atomov, pri tem pa se sproščajo novi nevtroni in toplota. Toplota se iz goriva v obliki keramičnih peletov prenaša v okoliški kovinski gorivni »oklep«, ki pravzaprav segreva vodo, ki teče ob gorivnih palicah. Voda teče med gorivnimi palicami z dna na vrh reaktorja, nato pa teče do generatorja pare oz. uparjalnika. Tam se toplota (približno 325°C ob pritisku 150 atmosfer) prenese na vodo v sekundarnem krogu, ki postane nasičena para (običajno pri 275°C in 60 atmosfer) za nadaljnjo uporabo. Jedrska fisija proizvaja nevtrone, ki imajo previsoko energijo, da bi sprožili znatno nadaljnjo cepitev znotraj reaktorskega goriva. Njihova energija se mora najprej zmanjšati do t.i. »termičnih« energij, ki so približno v ravnotežju s temperaturo okoliške snovi, ki je običajno okoli 450°C. V tlačnovodnem reaktorju ti nevtroni v začetku izgubijo toploto, ko trkajo z molekulami hladilne vode. Po nekaj trkih (v povprečju med 8 in 10) nevtron doseže temperaturo svoje okolice ter tako močno naraste verjetnost, da bo absorbiran v atom urana-235. Taka absorpcija hitro vodi do cepitvenja uranovega atoma.

Ključni mehanizem, ki nadzoruje jedrski reaktor, je hitrost cepljenja atomov in sproščanja nevtronov. V povprečju vsako cepljenje sprosti malo več kot dva nevtrona z veliko količino toplote. Ko nevtron udari uranov atom, se lahko zgodi nadaljnje cepljenje, kar privede do verižne reakcije. Če bi bili vsi nevtroni sproščeni naenkrat, bi njihovo število raslo zelo hitro, kar bi privedlo do uničenja gorivne keramike in taljenja sredice reaktorja. Vendar pa je majhen delež teh nevtronov sproščen v daljšem obdobju (okoli ene minute). Ta majhna, a ključna zakasnitev omogoča drugim nadzornim mehanizmom (negativni temperaturni součinek, posredovanje človeka ali računalnika nadzornih palic za vsrkavanje nevtronov ipd.), da postanejo učinkoviti. Voda v tlačnovodnem reaktorju doseže temperaturo okoli 325°C, pri tem pa ostane tekoča le pri 150-kratnem atmosferskem pritisku, da ne pride do vretja. Pritisk se uravnava s paro v napravi za vzdrževanje pritiska. V reaktorski sredici je voda glavnega hladilnega kroga tudi moderator in če bi se ta spremenila v paro, bi se cepljenje atomov upočasnilo. Ta negativni povratni učinek se imenuje negativni koeficient izpraznitve in je ena od varnostnih značilnosti tlačnovodnega reaktorja. Še ena prednost uporabe hladilne vode kot moderatorja v tlačnovodnem reaktorju je, da se učinek moderiranja zmanjša kot funkcija temperature zaradi negativnega temperaturnega koeficienta reaktivnosti. Posledica tega je stabilizacijski učinek, kjer povečevanje temperature povzroči zmanjšanje moči reaktorja, zmanjšanje temperature pa povzroči povečanje moči reaktorja. To deluje kot negativna povratna zanka, kar zagotavlja minimalno moč reaktorja za dobavo toplote, ki jo odvaja sekundarni sistem pare. Slabost pri tem je, da je reaktor prisiljen proizvajati energijo na takih stopnjah, ki lahko povzročijo škodo gorivu v primeru vdora hladne vode v reaktor ali v primeru, če v sekundarnem sistemu pride do razpoke v parovodih. V sekundarnem krogu je manjši pritisk kot v glavnem. Sekundarna voda zavre v izmenjevalnikih toplote, kjer se ustvarja para (to so uparjalniki).

Para poganja turbine za proizvodnjo elektrike ali pa poganja gred ladje. Ta para kasneje kondenzira v tekočo vodo, ki se vrne nazaj v uparjalnike. Moč reaktorja v večini komercialnih in vojaških tlačnovodnih reaktorjih se nadzoruje med proizvajanjem energije s spreminjanjem koncentracije bora (ki je v obliki borove kisline) v glavnem hladilnem sredstvu. Pretok reaktorskega hladilnega sredstva v komercialnih tlačnovodnih reaktorjih je konstantna. Bor je močan absorber nevtronov. Potreben je celoten nadzorni sistem z visokotlačnimi črpalkami za odstranitev vode iz visokotlačnega glavnega kroga ter vnovično vbrizganje vode z drugačno koncentracijo borove kisline. Nadzorne palice reaktorja se uporabljajo samo za operacije zagona in zaustavljanja. Večina vrelovodnih reaktorjev pa nima bora v reaktorskem hladilnem sredstvu, zato nadzor poteka s prilagajanjem pretoka hladilnega sredstva. To je prednost vrelovodnih reaktorjev, ker je borova kislina zelo korozivna, prav tako pa niso potrebni zapleteni postopki dviganja in spuščanja moči. Vendar pa ima zaradi varnosti večina vrelovodnih reaktorjev rezervni sistem, če je potrebna zaustavitev v sili. Takrat se v hladilno sredstvo glavnega kroga vbrizga visoko koncentrirana raztopina borove kisline. To lahko vodi do stalitve sredice, če reaktor izgubi številne glavne in pomožne načine za kroženje reaktorskega hladilnega sredstva. Običajno imajo reaktorske naprave obsežne varnostne in nadomestne sisteme za preprečevanje usodnih napak. Vendar pa je bila zapletenost teh sistemov močno kritizirana, saj bi lahko v nujnih primerih prišlo do nepričakovanih vplivov in napak operaterjev.

Zato je vsak reaktor obkrožen z reaktorsko zgradbo, ki je zasnovana kot zadnja prepreka radioaktivnemu izpustu. Za pogon sodobnih vojaških ladij se še vedno uporabljajo parne turbine v povezavi z nuklearnim reaktorjem. Nuklearni pogon rešuje več problemov, najbolj pomembna korist je ta, da ne potrebuje pogostega dolivanja goriva. Podatki o ameriški letalonosilki razreda Nimitz kažejo, da je vsak od dveh tlačnovodnih reaktorjev sposoben proizvesti paro za preplutje med 800.000 NM in 1.000.000 NM brez menjave jedra. Smatra se, da bodo sodobna jedra imela zelo dolgo življensko dobo, do 50 let na letalonosilkah in od 30 do 40 let na podmornicah.

Dodatna prednost jedrskega pogona je, da ladje ne potrebujejo prostora za shranjevanje goriva oz. fosilnih goriv, kot je to potrebno pri plinskih turbinah, prav tako pa ni potreben kisik za izgorevanje jedra v reaktorju in izpusti emisij v ozračje so minimalni.

## 6 KOMBINACIJE POGONOV

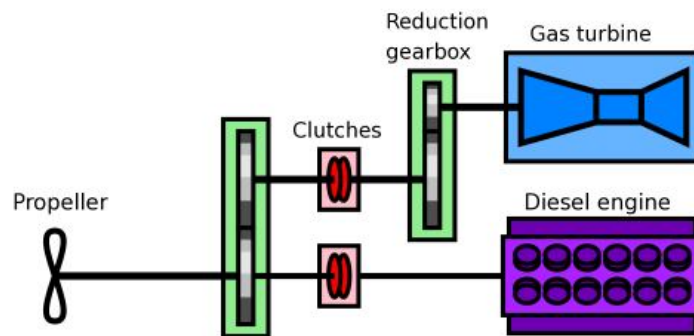
### 6.1 KOMBINACIJA DIZEL ALI PLIN (CODOG)

CODOG kombinacija je vrsta pogona, ki se uporablja za tiste ladje, ki potrebujejo maksimalno hitrost, ki je znatno večja od potovalne hitrosti, predvsem pri vojaških ladjah, kot so moderne fregate in korvete.

Za vsako pogonsko gred propelerja je en dizelski motor, ki se uporablja za potovalno hitrost in plinska turbina z menjalnikom za hitro doseganje visokih hitrosti. Obe gredi sta povezani s sklopkama in ladjo poganja samo en sistem, za razliko od CODAG sistema, ki lahko uporablja kombinacijo moči obeh, dizelskega motorja in plinske turbine.

Prednost CODOG pogonskega sistema je v primerjavi z CODAG sistemom enostavnejše prestavljanje, toda potrebuje bolj močno plinsko turbino, da doseže isti maksimum izhodne moči, pa tudi poraba goriva pri velikih hitrostih je večja. Primer takšne kombinacije je Švedska korveta razreda Visby.

Slika 9: Kombinacija dizel ali plin



Vir: <http://www.helis.com/database/sys/56/>

### 6.2 KOMBINACIJA DIZEL IN PLIN (CODAG)

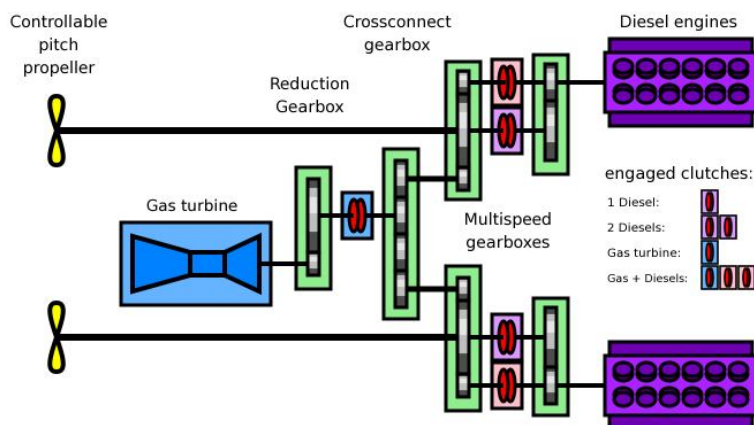
CODAG je vrsta pogona za ladje, ki potrebujejo maksimalno hitrost, ki je znatno večja od potovalne hitrosti, predvsem so to vojaške ladje, kot so moderne fregate in korvete.

Ta sistem ima dizelski motor za potovalno hitrost in plinsko turbino, ki se vklaplja za plutje z veliko hitrostjo. V večini primerov je razlika v moči, proizvedeni samo z dizelskim motorjem in močjo, proizvedeno s kombinacijo dizelskega motorja in plinske turbine prevelika, da bi spremenili smer rotacije in bi dizelski motor lahko deloval brez spreminjanja prestave. Zaradi tega so potrebni posebni, večstopenjski menjalniki. To je nasprotje CODOG sistema, ki združuje dizel in turbino z enostavnim, fiksnim prestavnim razmerjem menjalnika, ko je turbina vključena. Primer: Za nov CODAG propeler fregate razreda Fridtjof Nansen Norveške kraljeve mornarice je prestavno razmerje spremenjeno in 1:7,7 (motor:vijak) v primeru delovanja samo dizelskega motorja na 1:5,3, ko delujeta dizelski motor in plinska turbina. Nekateri ladje pa imajo celo tri različna prestavna razmerja za dizelski motor. Tak pogonski sistem ima manjšo sled kot samo dizelski pogon z isto maksimalno izhodno močjo, odkar se uporabljajo manjši motorji, še vedno pa se ohranja visok izkoristek zmogljivosti dizelskega motorja pri potovalni hitrosti, zagotavlja se večje območje delovanja in nižje stroške goriva. Po drugi strani pa tak sistem pomeni bolj kompleksen, robustnejši in bolj problematičen menjalnik. Tipična potovalna hitrost CODAG bojnih ladij z dizelskim pogonom je 20 vozlov, tipična maksimalna hitrost z vklopljeno turbino pa 30 vozlov.

## 6.2.1 Turbinski in dizelski pogon na ločenih gredih

Včasih se tudi razvrstitev dizelskega motorja in plinske turbine tako, da je vsak od njiju vezan na svojo gred in propeler, imenuje CODAG. S tako namestitvijo se izognemo rabi zapletenega preklapanja menjalnika, toda ima nekaj pomanjkljivosti v primerjavi s pravim CODAG sistemom. Odkar je v rabi več propelerjev, morajo biti ti manjši in so zato tudi manj učinkoviti. Več gredi pomeni več propelerjev, propelerji v praznem teku pa predstavljajo breme.

Slika 10: Kombinacija dizel in plin



Vir: <http://www.naval-technology.com/>

## 6.3 CODLAG – MODOFIKACIJA CODAG-a

CODLAG kot modifikacija CODAG-a je kombinacija dizelsko-električnega in plinskega pogona. Sistem uporablja električne motorje, ki so povezani k propelerskim gredem (ponavadi 2), motorje pa poganjajo dizelski generatorji. Za doseganje višjih hitrosti plinska turbina poganja gred preko navzkrižno povezanih menjalnikov, za potovalno hitrost ladje pa se pogon turbine izklaplja z sklopko.

Takšna razvrstitev kombinacije dizelskega motorja, ki se uporablja za pogon ladje in proizvodnjo električne energije, v veliki meri zmanjšuje stroške vzdrževanja, odkar je zmanjšano število različnih dizelskih motorjev. Tudi elektromotorji delujejo zaradi širokega spektra vrtljajev bolj učinkovito in so lahko povezani direktno na gred propelerja, kar omogoča rabo enostavnejših menjalnikov.

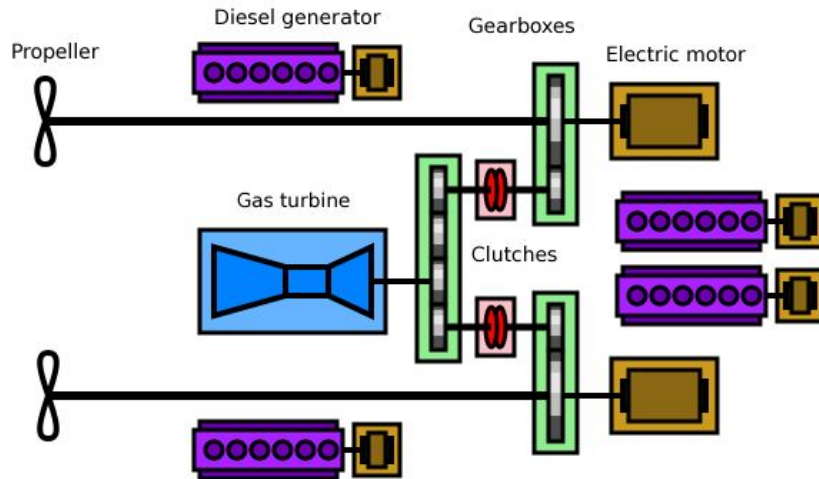
Naslednja prednost dizelsko - električnega prenosa je ta, da je brez potrebe po mehanski povezavi generator možno oddvojiti-ločiti od celote ter ga zvočno izolirati, da je manj hrupen. To se je v veliki meri uporabljalo pri vojaških podmornicah, da so bile manj šlišne, pa tudi ostale ladje imajo od tega korist - manj hrupa.

### 6.3.1 Integrirani električni pogon (IEP)

To je sistem, ki za pogon ladje uporablja oba dizelska motorja in plinsko turbino za generiranje električne energije, ki poganja elektromotor, ko ni mehanskega prenosa iz enega ali drugega motorja na propeler. Zato ni klasificiran kot CODLAG, toda kot integrirani električni pogon (IEP) ali integrirani polni električni pogon (IFEP). Taka razporeditev se uporablja na potniških ladjah, kot je Queen Mary II s fondom dizelskih generatorjev za

osnovni tovor ter s turbo generatorjem za vrhunsko moč. Isti sistem imajo tudi vojaške ladje, kot je rušilec Type 45 Kraljeve vojne mornarice ter nemški rušilec Zumwalt DDG-1000.

**Slika 11: Kombinacija dizelsko-električnega in plinskega pogona**

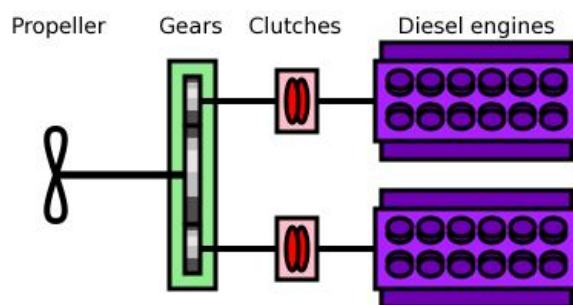


Vir: <http://navy-matters.beedall.com/cvf6.htm>

#### 6.4 CODAD (DIZEL IN DIZEL) KOMBINACIJA

To je pogonski sistem pri ladjah z dvema dizelskima motorjema, ki poganjata eno samo gred propelerja. Menjalnik in sklopka omogočata vsakemu motorju posebej ali obema skupaj, da poganjata gred s propelerjem.

**Slika 12: Kombinacija dizel in dizel**



Vir: <http://www.ingenierosnavales.com/>

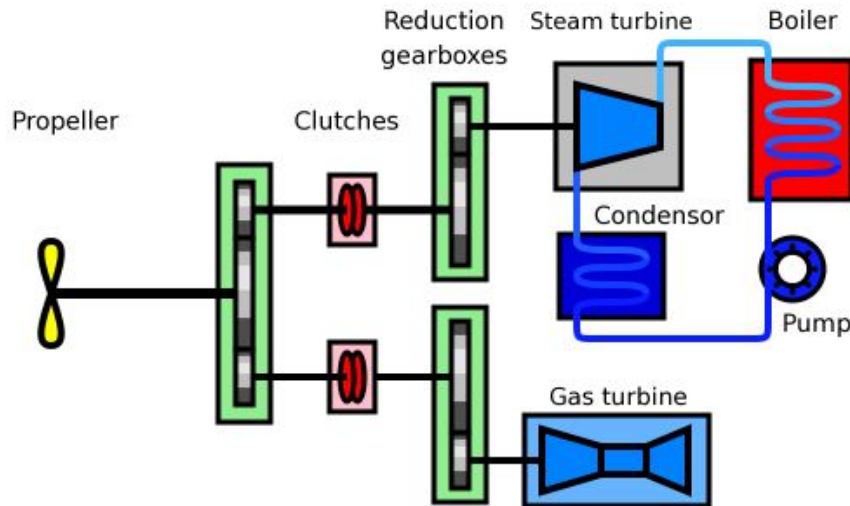
#### 6.5 COSAG – KOMBINACIJA PARE IN PLINA

Pogonski sistem COSAG se uporablja na ladjah, ki uporabljajo za svoj pogon kombinacijo parne in plinske turbine. Menjalnik in sklopka omogočata vsakemu od motorjev ali obema skupaj, da poganjata gred propelerja. To je prednost, ki zagotavlja učinkovito in zanesljivo plutje zaradi pare ter hitre pospeške, rapidno pospeševanje hitrosti ter nizek čas zagona



turbine zaradi plina. Ta sistem se je v glavnem uporabljal v prvi generaciji plinskih turbin na ladjah, kot je rušilec razreda County in fregata razreda Tribal angleške Kraljeve mornarice, uporabljala pa ga je tudi španska letalonosilka Dedalo (glej <http://dvo.free.fr/gas-turbine-system.htm>).

**Slika 13: Parna in plinska turbina v kombinaciji**



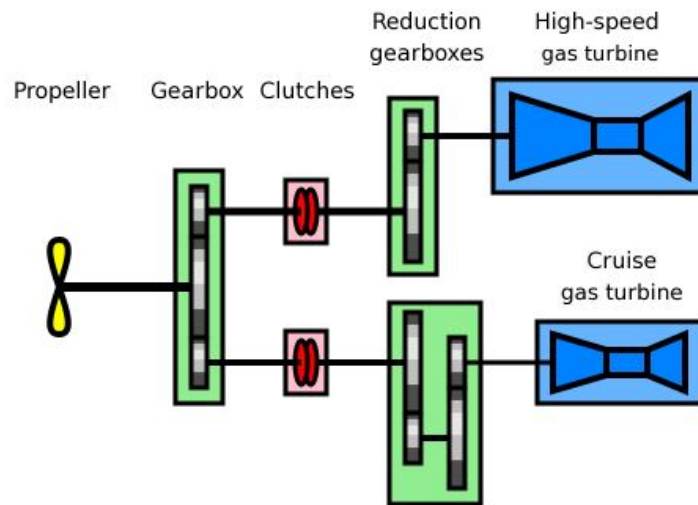
Vir: <http://www.factualworld.com/article/COSAG>

## 6.6 COGOG – PLIN ALI PLIN KOMBINACIJA

To je pogonski sistem za ladje, ki uporabljajo plinske turbine s tem, da se za potovalno hitrost uporablja turbina z nizkim učinkom, za operacije, ki zahtevajo večjo hitrost, pa turbina z visokim učinkom. Sklopka omogoča izbiro ene ali druge turbine, menjalnika v tem primeru ni. To je prednost, saj tak sistem ne zahteva dragih, potencialno nezanesljivih in težkih menjalnikov.

Če turbine ne poganjajo propelerja direktno in se namesto tega uporablja turbo električni prenos, se tak sistem imenuje COGES. Razlog, da se za potovalno hitrost uporablja manjša turbina je ta, da je za njeno delovanje pri 100 % moči potrebno manj goriva kot za delovanje večje turbine pri 50% moči. Ta sistem je še vedno v uporabi na treh ladjah Ruske vojne mornarice, križark razreda Slava ter na rušilcu Type 42 angleške Kraljeve mornarice. Na HMS Exmouth (F 84) je bil pogon spremenjen v COGOG pogon kot testni poizkus za uporabo sistema na kasnejših britanskih ladjah (glej [http://www.its.ac.id/personal/files/material/3319-Semin%20Sanuri6.%20Gas%20Turbine%20\[1.5.Combined%20Cycles\].pdf](http://www.its.ac.id/personal/files/material/3319-Semin%20Sanuri6.%20Gas%20Turbine%20[1.5.Combined%20Cycles].pdf)).

**Slika 14: Kombinacija plinska turbina ali plinska turbina**



Vir: <http://forum.keypublishing.com/showthread.php?t=102792>

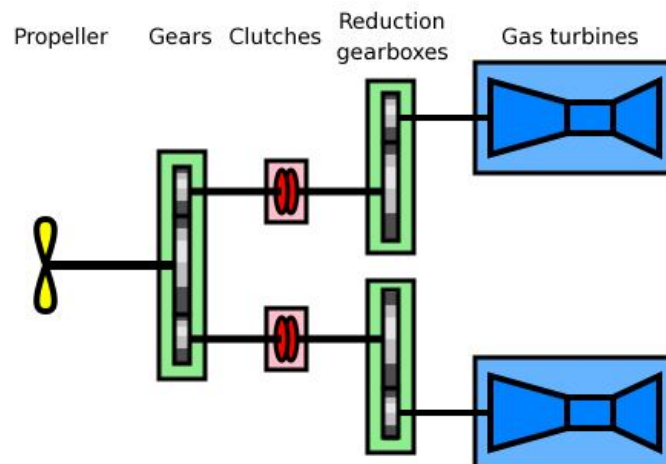
## 6.7 COGAG – KOMBINACIJA PLINSKA TURBINA IN PLINSKA TURBINA

To je pogonski sistem na ladjah, ki imajo dve plinski turbini povezani na propeler z eno samo gredjo. Menjalnik in sklopka omogočata, da katerakoli turbina poganja gred propelerja, lahko pa jo poganjata obe kombinirano.

Uporaba ene ali dveh plinskih turbin ima prednost v tem, da obstajata dve različni nastavitvi moči. Odkar je izkoristek goriva boljši pri maksimalni stopnji moči, je delovanje male turbine pri polni hitrosti bolj učinkovito kot delovanje dvakrat močnejše turbine pri polovični hitrosti, kar pomeni bolj ekonomičen prevoz pri potovalni hitrosti ladje.

Primeri uporabe: Angleške fregate tipa 22 in letalonosilka razreda Invincible (glej [http://www.its.ac.id/personal/files/material/3319-Semin%20Sanuri6.%20Gas%20Turbine%20\[1.5.Combined%20Cycles\].pdf](http://www.its.ac.id/personal/files/material/3319-Semin%20Sanuri6.%20Gas%20Turbine%20[1.5.Combined%20Cycles].pdf)).

**Slika 15: Dve plinski turbini povezani na en sam ladijski vijak**



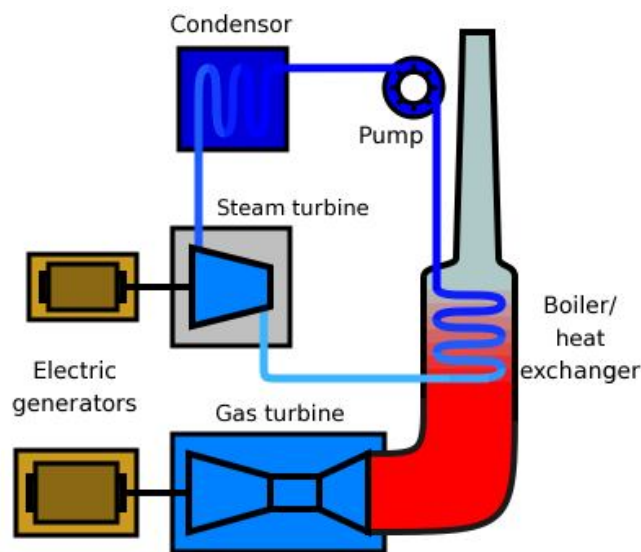
Vir: <http://www.naval-technology.com/projects/>



## 6.8 COGAS – KOMBINACIJA PLIN IN PARA

Kombinacija plinske in parne turbine deluje tako, da večino moči proizvede plinska turbina, hkrati pa se izpuh iz le te izkorišča za ustvarjanje pare, ki poganja parno turbino, katera zagotovi dodatno moč za pogon ladje. Na ta način se nekaj energije, ki bi se sicer izgubila, ponovno uporabi in specifična poraba goriva je občutno zmanjšana. Sistem COGAS je bil predviden kot nadgradnja za vojaške ladje, ki uporabljajo plinske turbine kot en in edini način propulzije, to pomeni COGOG ali COGAG, kot npr. rušilec razreda Arleigh Burke, USS McFAUL 74, ki je bil na obisku v Sloveniji v septembru 2012. Trenutno nobena vojaška ladja ne uporablja tega sistema, so pa nekatere modernejšie potniške ladje opremljene s sistemom COGES (glej <http://202.114.89.60/resource/pdf/3815.pdf>).

Slika 16: Kombinacija plinske in parne turbine



Vir: <http://www.docstoc.com/docs/92790556/COGAS-Propulsion-for-LNG-Ships>

## 7 RAZVOJ NADZORNIH SISTEMOV

Ladje ne plujejo same, nikoli niso in nikoli ne bodo (mogoče pa). Zahtevajo ljudi. Skozi stoletja so mornarji vlekli vrvi, popravljali ladje, polnili kotle, da so črpalke delovale in streljali s topovi. Potrebovali so hrano in spanje, zagotoviti jim je bilo treba urjenje in jih nadzirati. Večinoma 24-urni delovnik je zahteval tudi zdravstveno nego, izobrazbo ter udoben prostor za bivanje. Vse to je pripeljalo do potrebe po večjih ladjah, zahtevalo pa je tudi več denarja. Čas in tehnologija sta imela pomemben vpliv na razvoj vojaškega ladjevja. Borba na morju ni več pomenila zaletavanja v sovražno ladjo ali obstreljevanja nasprotnika s topovi. Stroji so nadomestili mišice, oljne črpalke so zamenjale lopate za premog in napredek v elektroniki je spremenil način nadzovanja sistemov, način komuniciranja in delovanja vojaških ladij. Prilagajanje, popravljanje in nadziranje so prevladali v življenju mornarjev. Potreba po znanju se je povečala.

**Slika 17: Prikaz zastarele nadzorne sobe ladje VPBR-34 Pula Črnogorske vojne mornarice**



Vir: Osebna zbirka fotografij

Nadzorni centri, kakršni so bili nekoč, prenatrpani z mornarji, ki so se glasno pogovarjali in mahali s svinčniki, so izginili. Sedaj so nadzorni centri vojaške ladje videti kot računalniški centri, polni svetlečih se ekranov in krmilnih ročic. Bolj kot je mineval čas, bolje so sistemi delovali, senzorji so postajali vse bolj dovezetni, orožja bolj natančna. Namesto mornarjev, ki so nekoč opazovali vse dele ladje, so sedaj stroji opazovali stroje. Kadar je šlo kaj narobe, so to signalizirali opazovalcem, ki so nato ukrepali, pogosto s pritiskom na gumb, ki je dal znak drugi napravi, da poskrbi in odpravi problem.

Ker so naprave postale vse bolj zanesljive in je bilo z njimi tudi vse lažje delati, se je fizična prisotnost nanašala le na opazovanje, prilagajanje in popravljanje z manj številno posadko. Tak način se je obdržal skozi 20. stoletje, ko je nastopila doba računalnikov, ki so sicer v življenja vrinili skepticizem, nasprotja, omejeno uporabo, pa uspeh in nato odobravanje, ljudje so jim pričeli zaupati.

Vse, kar danes jemljemo kot priznано, je bila nekoč znanstvena fantastika oz. ideja, iz katere so se skeptiki norčevali. Avtomatizacija je bila sprejeta zaradi dejstva, da je sposobna določene stvari opraviti bolje kot človek. Za računalniško kontrolirane postopke smo ljudje zelo hitro postali dovezetni, saj so spremembe naravnost veličastne in vprašanje je, kako se bodo stvari odvijale v bodoče.

**Slika 18: Minimalistični nadzorni sistem celotnega pogonskega sklopa proizvajalca MTU**



Vir: Osebna zbirka fotografij

Avtomatizacija je naredila svoje na vseh področjih in napredek je prišel z izredno hitrostjo. To velja tudi za področje vojaškega ladjevja. Vse se je začelo z enim samim računalnikom, danes pa je celotni sistem pomemben tako za ladjo, kot za posadko na njej. Ne gre samo za sistem nadzovanja, temveč tudi za prilagoditve in korigiranje problemov brez človekove intervencije. Računalniški nadzor je postal prednosten v mnogih primerih, saj lahko reagira hitreje kot posadka, je bolj natančen in konstanten in že en sam računalnik lahko pokrije vse opazovalce, poleg tega računalniki operirajo z ukazi in številkami z neverjetno hitrostjo.

Napredek v avtomatizaciji in tehnologiji pa seveda zahteva tudi bolj napredno izobraževanje, saj je zagotovitev primerne spretnosti posadke najvažnejša, saj stroški delovanja ladje naraščajo in s tem omejujejo njihov čas na morju. Elektronski senzori, oborožitev in nadzorni sistemi na sodobnih vojaških ladjah so tako kompleksni, da zahtevajo kontinuirano izobraževanje, če želimo doseči ustrezen nivo strokovnega znanja in profesionalnosti.

Da bi posadka dobila izkušnje z upravljanjem računalniške opreme, predvsem z odločilno tehnologijo kontrolnih sistemov, se uporablja simulacijska oprema, saj tak trening v simulatorju da posadki občutek za naprave in tendenca večjega zaupanja v naprave narašča. Seveda pa je zaupanje lahko zelo spolzek teren, zato se posadka mora zavedati tudi svoje odgovornosti. Poznamo namreč primere škode zaradi popolnega zanašanja na sisteme, ki pa niso bili dorasli nalogi ali pa se je mislilo, da so bolj sposobni, kot so v resnici bili. Torej na eni strani stroj, na drugi človek; eno brez drugega ne gre.

Današnji računalniški in avtomatiziran svet je zelo tesno vključen v mrežo komunikacij, tako notranjih kot zunanjih, vključno s satelitskimi linijami dolgega dosega. To velja tudi za pomorstvo. Avtomatizacija in računalniško vodeni sistemi so dosegli točko, od koder ni poti nazaj. Ideja, da človeško bitje postane stroj, stroj pa človeško bitje je vsekakor vredna premisleka, predvsem pa je potrebno dobiti kontrolo nad tehnologijo, preden stvari postanejo neobvladljive in uidejo iz rok-tokrat na škodo človeštva.

## 7.1 SODOBNI NADZORNI SISTEM PROIZVAJALCA MTU NA VNL-11 TRIGLAV

MTU se ponaša s številnimi dolgoročnimi in uspešnimi partnerstvi in njihovi pogonski in avtomatizacijski sistemi so prisotni na praktično vseh vrstah plovil za najrazličnejše potrebe mornaric na oceanih po vsem svetu. S svojim znanjem in izkušnjami na področju vojaških plovil družba pokriva celoten spekter konfiguracije pogonskih sistemov in povezanih sestavnih delov. Motorji, menjalniki, kontrolni in nadzorni sistemi, napajalne enote in druge systemske komponente so natančno usklajene, kar zagotavlja sisteme, za katere je značilna kar največja zanesljivost in učinkovitost. MTU prav tako ponuja popolnoma usklajene nadzorne sisteme, kar zagotavlja brezhibno delovanje njihovih pogonskih naprav. To je še posebej pomembno za sodobne vojaške ladje, pri katerih je gladka interakcija med posameznimi podsistemi nadvse pomembna za učinkovito delovanje.

**Slika 19: Sodobna nadzorna soba VNL-11 Triglav**



Vir: Osebna zbirka fotografij

Integracija najnaprednejših elektronskih sistemov je bistvena za izvedbo optimalnih, avtomatskih rešitev, ki zagotavljajo varnost, učinkovitost in zanesljivost sistemov na krovu ladje. Integrirani nadzorni sistemi zadnje generacije, omogočajo posadki nadzor nad celotnim pogonskim sistemom, virom energije in vsemi podsistemi. Podatke o delovanju vseh sistemov si je mogoče ogledati neposredno na nadzornih konzolah in barvnih zaslonih. V akciji ima tako posadka neposreden dostop do aktualnih podatkov. Fleksibilen, uporabniku prijazen avtomatiziran sistem z vgrajenim alarmnim sistemom nudi preprosto uporabo, izboljša varnost plovila ter zmanjša potrebe po številčnosti posadke na minimum. Tako se lahko nadzira najrazličnejše kombinirane pogonske sisteme. Oprema vključuje monitorje, krmilne ročice in tipkovnice.

Zaradi modularne zasnove je sistem prilagodljiv na vse vrste plovil, od hitrih patroljnih čolnov do rušilcev. Sodobni integrirani vzdrževalni sistemi so zasnovani za delo na morju, brez da bi se bilo potrebno vrniti v pristanišče. Elektronski diagnostični program nenehno spremlja vse procese povezane s pogonskim sistemom. V primerih motenj, nepravilnosti pri delovanju, ali izrabi nadomestnih delov sistem o tem opozori posadko. Naročilo se nato posreduje bazi preko pomnilniških medijev, mobilnega telefona, omrežja ali satelita. Zraven tega je omogočen oddaljeni nadzor sistemov iz baze preko satelita. Podrobna tehnična dokumentacija in 3D videoposnetki zagotavljajo poznavanje vseh komponent in vzdrževalnih postopkov, kar omogoča, da je plovilo več časa v stanju pripravljenosti brez prekinitev, povezanih z vzdrževanjem.

## ZAKLJUČEK

Pogonski sistem sodobnega vojaškega plovila je ključni element, ki omogoča učinkovitost v boju. Današnji trendi so doseganje visokih hitrosti ter vse daljših premikov, pri čemer mora ostati doseg ladje ustrezno velik. Zraven primerne začetne cene se vse več pozornosti namenja dolgoročnim obratovalnim stroškom in stroškom vzdrževanja. Za vojaške ladje se bodo potrebovale kompaktne turbine z vse večjo močjo in fleksibilnostjo. Z uporabo integriranega električnega pogona za pogonske in druge namene, bodo plovila prihodnosti zasnovana za naraščajočo potrebo po električni energiji, ki bo še posebej narasla z razvojem elektromagnetnega orožja.

Ker se mornarice osredotočajo na ključne operativne naloge, postaja potreba po neodvisni in učinkoviti podpori vse pomembnejša, zato so pomembna naslednja dejstva:

- Oskrba z rezervnimi deli,
- usposabljanje uporabnikov,
- spremljanje stanja opreme,
- 24 ur služba za pomoč,
- podporne ekipe po celem svetu,
- pomoč pri vzdrževanju ladje in odpravljanju napak,
- dostopnost rezervnih delov, ponovno polnjenje inventarja, upravljanje inventarja,
- remont motorja,
- rezervni motor.

V naslednjih generacijah bo uvedeno električno in lasersko orožje, kar bo konstruktorje ladij prisililo, da bodo delali ne le močnejše komplete generatorjev za doseganje zahteve po večji moči elektrike, temveč bodo dodajali nove posebnosti, nove načine delovanja k že obstoječim pogonom, da bodo zadostili sodobnim zahtevam. Sistemi senzorjev, kot so radarji, zahtevajo z vsako posodobitvijo tudi več električne energije. Ker sistem stremi k temu, da se eksplozivna sredstva zaradi večje varnosti umaknejo iz bojnih plovil, bo v naslednjih generacijah uvedeno orožje na osnovi električne energije, kar vključuje tudi lasersko vodeno orožje. Da bi odgovorili na vprašanje, kakšna bo naslednja stopnja razvoja, moramo upoštevati predvsem zahteve, ki se nanašajo na razmerje moči in teže, ki sta pomembna tako za sistem bojevanja kot za operativno moč bojne ladje.

Tako so bistvene zahteve, ki jih je potrebno upoštevati pri konstruiranju sodobnih vojaških plovil naslednje:

- Zmanjšanje stroškov gradnje,
- boljši izkoristek goriva,
- več električne energije za oborožitvene sisteme,
- več integrirane moči za pogonske sisteme,
- časovno orientirano in zanesljivo vzdrževanje.

V zadnjih sto petdesetih letih je prišlo v razvoju pogonskih sistemov vojaških plovil do več pomembnejših premikov. Vsaka od tranzicij, od jader in pare, parnih turbin, dizelskih motorjev, nuklearnega reaktorja do najnovejšega hibridnega električnega pogona je omogočila nove bojne sposobnosti in izboljšala ekonomičnost ladij. Para je dala posadki možnost, da neomejeno manevrira in prilagaja hitrost ne glede na smer in moč vetra, dizelski motor in plinske turbine so omogočile zmanjšanje števila tehničnega dela posadke in izboljšale pogonsko moč ladij. Sedaj veliko število novejših vojnih ladij uporablja hibridni električni pogon kot najboljši način, da se zmanjša ekonomski pritisk zaradi vse višjih cen goriva in obenem zadosti zahtevam sodobnega, vse bolj naprednega načina bojevanja. Samo vprašamo se lahko, kakšne tehnologije, moči pogonov, kakšne komponente bodo vsebovale naslednje generacije vojnih plovil in kakšna bo njihova vizualna podoba.



## LITERATURA

1. Naval technology, Gas Turbines and diesel engines cooperation with integrated electrical drives, NAVAL FORCES, No. V/2011, str. 37
2. Philips M., Naval technology, Smooth operators, the history of marine gas turbines, NAVAL FORCES, No. II/2007, str. 53
3. Naval technology, Combined powerplants for warships, CODAD, CODOG, CODLAG, CODAG which system for what ship? NAVAL FORCES, No. II/2011, str. 28
4. Petrie C. Naval technology, Naval propulsion systems for long endurance missions, NAVAL FORCES, No. I/2009, str. 78
5. Philips M., Naval technology, An agony of choice, propulsion systems for modern warships NAVAL FORCES, No. V/2007, str. 90
6. Philips M., Naval technology, Diesel engines – more important and capable than ever NAVAL FORCES, No. I/2008, str. 90
7. Naval technology, Lean manning: call for more automation – will operators become monitors, NAVAL FORCES, No. III/2011, str. 60
8. Naval technology, Safety and strenght, Mtu propulsion systems for naval vessels, NAVAL FORCES, No. V/2008, str. 84
9. Naval technology, Automation systems, solution from a single source, NAVAL FORCES, No. V/2008, str. 90
10. Klasek Z. (1969). Ladijski stroji in naprave
11. Roškar E. (2003). Nadzor nad delovanjem glavnega ladijskega motorja in njegovo vzdrževanje
12. Pažanin Ante (1983). Brodski motorji
13. Ireland B. (1999). The Hamlyn History of Ships
14. Černigoj B. (1972). Ladijski parni batni stroji
15. Kegl B. (2006). Osnove motorjev z notranjim zgorevanjem
16. Miller D., Miller C. (1986). Modern naval combat
17. Calder N. (2007). Marine diesel engines

## VIRI

18. <http://www.historyworld.net/wrldhis/PlainTextHistories.asp?ParagraphID=cwd>
19. <http://www.marineinsight.com/marine/life-at-sea/maritime-history/the-history-of-ships-ancient-maritime-world/>
20. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/540904/ship/259171/Sailing-ships>
21. <http://www.actiondonation.org/articles/history-of-square-rigged-ships.html>
22. [http://www.thepirateking.com/ships/sail\\_rigging\\_info.htm](http://www.thepirateking.com/ships/sail_rigging_info.htm)
23. [http://www.thepirateking.com/ships/brief\\_history\\_wind\\_powered\\_ships.htm](http://www.thepirateking.com/ships/brief_history_wind_powered_ships.htm)
24. <http://dictionary.reference.com/browse/galley>
25. <http://www4.informatik.tu-muenchen.de/~schulz/triremes.html>
26. <http://www.abc.net.au/navigators/ships/history.htm>
27. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/224325/galley>
28. <http://www.educa.fmf.uni-lj.si/izodel/sola/2000/di/lahajnar/delo/watt.html>
29. <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/steam.htm>
30. <http://www.cityofart.net/bship/engine.html>
31. [http://lab.fs.uni-lj.si/kes/energetska\\_proizvodnja/ep-predavanje-t07.pdf](http://lab.fs.uni-lj.si/kes/energetska_proizvodnja/ep-predavanje-t07.pdf)
32. <http://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/55877-steam-turbines-for-marine-propulsion/>
33. <http://besedila.eu/strojnistvo/dizel-motor>
34. <http://ro.zrsss.si/projekti/kmetijstvo/motor/dvotaktn1.htm>
35. <http://www.tehnoservis.si/info/kako-deluje/bencinski-in-dizelski-motorji-za-plovbo>
36. [http://ro.zrsss.si/projekti/kmetijstvo/motor/dovod\\_d.htm](http://ro.zrsss.si/projekti/kmetijstvo/motor/dovod_d.htm)
37. <http://gcaptain.com/emma-maersk-engine/>
38. <http://www.marinediesels.info/>
39. [http://www.nek.si/sl/o\\_jedrski\\_tehnologiji/jedrski\\_reaktor/tipi\\_reaktorjev/](http://www.nek.si/sl/o_jedrski_tehnologiji/jedrski_reaktor/tipi_reaktorjev/)
40. [http://www.fmf.uni-lj.si/~stepisnik/sola/energvir/Seminarji08\\_09/jedrski-reaktor\\_text.pdf](http://www.fmf.uni-lj.si/~stepisnik/sola/energvir/Seminarji08_09/jedrski-reaktor_text.pdf)
41. [http://fizika.fnm.uni-mb.si/files/seminarji/03/jedrski\\_reaktor\\_pwr.doc](http://fizika.fnm.uni-mb.si/files/seminarji/03/jedrski_reaktor_pwr.doc)
42. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/reactor.html>
43. <http://www.history.navy.mil/photos/sh-usn/usnsh-f/fulton.htm>
44. <http://www.morjeplovec.net/>
45. [http://www.dieselduck.net/machine/01/gas\\_turbine/gas\\_turbine.htm](http://www.dieselduck.net/machine/01/gas_turbine/gas_turbine.htm)
46. <http://www.defenseindustrydaily.com/US-State-Dept-Throws-A-Wrench-Into-Exports-Allied-Shipbuilding-05321/>
47. [http://www.rolls-royce.com/marine/products/diesels\\_gas\\_turbines/](http://www.rolls-royce.com/marine/products/diesels_gas_turbines/)
48. <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/eng/reactor.html>
49. <http://www.marineinsight.com/tech/main-engine/different-types-of-marine-propulsion-systems-used-in-the-shipping-world/>
50. <http://teaching.alexeng.edu/Naval/EIGohary/MR351.pdf>
51. <http://www.encyclopedia.com/doc/1O25-COSAG.html>
52. <http://dvo.free.fr/gas-turbine-system.htm>
53. [http://www.its.ac.id/personal/files/material/3319Semin%20Sanuri6.%20Gas%20Turbine%20\[1.5.Combined%20Cycles\].pdf](http://www.its.ac.id/personal/files/material/3319Semin%20Sanuri6.%20Gas%20Turbine%20[1.5.Combined%20Cycles].pdf)
54. <http://202.114.89.60/resource/pdf/3815.pdf>
55. <http://www.cityofart.net/bship/engine.html>
56. <http://www.nationalhistoricalships.org.uk/register/138/turbinia>
57. <http://www.helis.com/database/sys/56/>
58. <http://www.naval-technology.com/>
59. <http://navy-matters.beedall.com/cvf6.htm>
60. <http://www.ingenierosnavales.com/>
61. <http://www.factualworld.com/article/COSAG>
62. <http://forum.keypublishing.com/showthread.php?t=102792>
63. <http://www.naval-technology.com/projects/>
64. <http://www.docstoc.com/docs/92790556/COGAS-Propulsion-for-LNG-Ships>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Delovanje trivaljnega parnega batnega stroja .....	8
Slika 2: Demologos .....	9
Slika 3: Turbinia.....	10
Slika 4: Pojav kavitacije .....	11
Slika 5: Stopnje plinske turbine v prerezu .....	17
Slika 6: Plinska turbina podjetja General Electric model LM2500, .....	17
Slika 7: Plinska turbina podjetja Rolls-Royce, .....	18
Slika 8: Tlačnovodni reaktor .....	20
Slika 9: Kombinacija dizel ali plin .....	22
Slika 10: Kombinacija dizel in plin.....	23
Slika 11: Kombinacija dizelsko-električnega in plinskega pogona .....	24
Slika 12: Kombinacija dizel in dizel .....	24
Slika 13: Parna in plinska turbina v kombinaciji .....	25
Slika 14: Kombinacija plinska turbina ali plinska turbina .....	26
Slika 15: Dve plinski turbini povezani na en sam propeler .....	26
Slika 16: Kombinacija plinske in parne turbine.....	27
Slika 17: Prikaz zastarele nadz. sobe ladje VPBR-34 Pula Črnogorske vojne mornarice.....	28
Slika 18: Minimalistični nadzorni sistem celotnega pogonskega sklopa proiz. MTU .....	29
Slika 19: Sodobna nadzorna soba VNL-11 Triglav.....	30



## SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC IN TUJIH IZRAZOV

430. MOD – 430. Mornariški divizijon

BRT – Bruto bruto registrska tonaža; prostornina vseh zaprtih prostorov na ladji

CPP – Controllable pitch propeller; variabilna geometrija lopatic na propelerju

CODAD – Combined diesel and diesel; kombinacija dveh dizelskih motorjev

CODAG – Combined diesel and gas; kombinacija dizelskega motorja in plinske turbine

CODLAG – Combined diesel – electric and gas; kombinacija dizelskega – električnega pogona in plinske turbine

CODOG – Combined diesel or gas; kombinacija dizelskega motorja ali plinske turbine

COGAG – Combined gas and gas; kombinacija pogona dveh turbin na en sam propeler

COGAS – Combined gas and steam; kombinacija plinske in parne turbine

COGES – Combined gas-electrical steam; enako kot COGAS, vendar da turbine ne poganjajo propelerja direktno in se namesto tega uporablja električni prenos

COGOG – Combined gas or gas; kombinacija plinska turbina ali plinska turbina

COSAG – Combined steam and gas; kombinacija parne in plinske turbine

IEP – Integrated electrical propulsion; integriran električni pogon

IFEP – Integrated full electrical propulsion; integriran polni električni pogon

KS – Konjska sila; 1KS = 0,735kW

MTU – Motoren und Turbinen Union; proizvajalec ladijskih motorjev in turbin

NM – Navtična ali morska milja; 1852m

Uran 235 – izotop urana ki se uporablja kot gorivo v jedrskih reaktorjih in jedrskem orožju, je srebrno-bel, strupen, kovinski, naravno radioaktiven element

VNL-11 Triglav – Večnamenska ladja – 11 Triglav

VPBR-34 Pula – Veliki partuljni brod – 34 Pula

## IZJAVA O AVTORSTVU

Kandidat / Slušatelj desetnik Miha Tomašek izjavljam, da sem avtor zaključne naloge z naslovom Pogonski sistemi na sodobnih vojaških ladjah, ki sem jo napisal pod mentorstvom poročnika korvete Davor-a Žežlja.

S svojim podpisom zagotavljam da:

- je zaključna naloga izključno rezultat mojega lastnega dela,
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v zaključni nalogi, navedena oziroma citirana v skladu s SOP ŠČ za izdelavo in oblikovanje zaključne naloge na ŠČ,
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo po Zakon-u o avtorskih in sorodnih pravicah, (uradno prečiščeno besedilo – ZASP UPB3, Uradni list RS, št. 16/2007, z dne 23. 2. 2007 ), prekršek pa podleže tudi ukrepom disciplinske odgovornosti v skladu z Zakonom o obrambi in Pravili službe v Slovenski vojski,
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo zaključno nalogo in moj status v Slovenski vojski.

**S podpisom se odrekam vsem materialnim pravicam v zvezi z zaključno nalogo in dovoljujem uporabo zaključne naloge v študijske namene.**

V Ankaranu, dne 10.11.2012

Podpis: \_\_\_\_\_