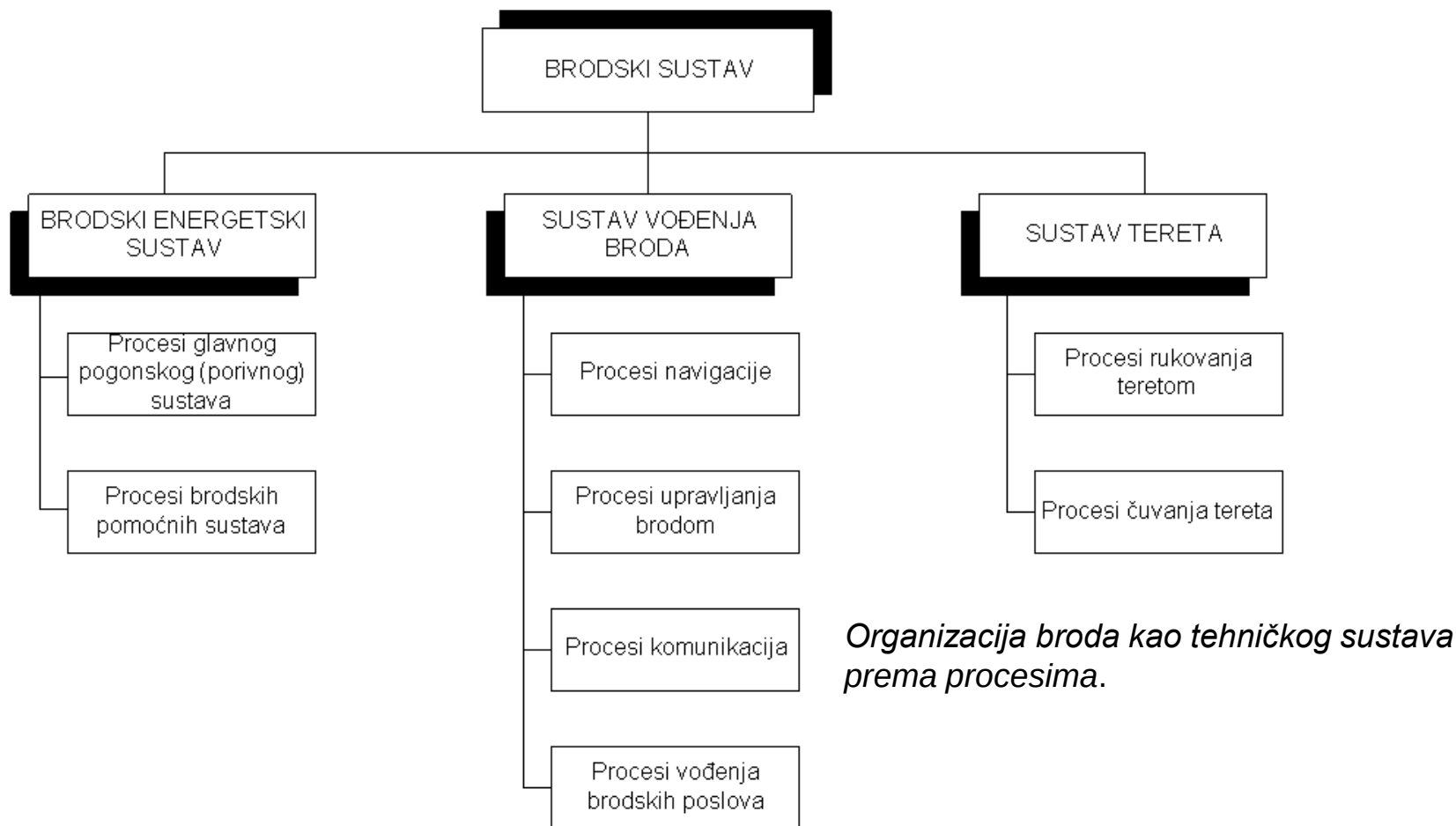


Tablica 1. Funkcionalno rastavljanje broda.

FUNKCIJE	PODFUNKCIJE	POTPORNI SUSTAVI
Sadržaj, zaštita	0. Strukture	0.1 Oplata 0.2 Palube 0.3 Pregrade 0.4 Podloga 0.5 Nadgrađe
Rukovanje brodom	1. Propulzija, smještaj	1.1 Strojevi 1.2 Prijenos snage 1.3 Propulzija 1.4 Kormilarenje
	2. Upravljanje palubom	2.1 Sidrenje 2.2 Vezivanje 2.3 Skladištenje
	3. Navigacija, komunikacija i kontrola	3.1 Navigacija 3.2 Kontrola stroja 3.3 Komunikacija
Potpora brodu	4. Stabilnost	4.1 Sustav kaljuže 4.2 Sustav balasta 4.3 Sustav protiv naginjanja
	5. Opskrba električnom energijom	5.1 Generatori 5.2 Distribucija 5.3 Potrošači 5.4 Kontrola
	6. Opskrba zrakom	6.1 Klimatizacija i ventilacija 6.2 Sustav komprimiranog zraka
	7. Opskrba vodom i parom	7.1 Sustav morske vode 7.2 Sustav slatke i napojne vode 7.3 Sustav napojne vode 7.4 Proizvodnja i prijenos pare
	8. Dovod goriva	8.1 Uskladištenje i prijenos goriva 8.2 Priprema goriva 8.3 Sustav ubrizgavanja
	9. Podmazivanje	9.1 Uskladištenje i prijenos ulja 9.2 Priprema 9.3 Cirkulacija
	10. Logistička potpora	10.1 Skladišta 10.2 Radionice 10.3 Alati u strojarnici
	11. Specijalne funkcije	11.1 Specijalni brodski sustavi
Sigurnost broda	12. Sigurnosna funkcija	12.1 Sprječavanje požara 12.2 Gašenje požara 12.3 Detektiranje požara 12.4 Zaštita života 12.5 Sustav električne energije u nuždi
Rukovanje teretom	13. Briga o teretu	13.1 Ukrčavanje i iskrčavanje 13.2 Održavanje tereta 13.3 Obrada
Životna potpora	14. Fekalije	14.1 Postrojenje za obradu fekalija 14.2 Postrojenje za prikupljanje fekalija
	15. Posada	15.1 Spremanje i priprema hrane 15.2 Praonice rublja 15.3 Ljekarna 15.4 Inventar 15.5 Sustav sanitarne vode 15.6 Rekreacija i slobodno vrijeme

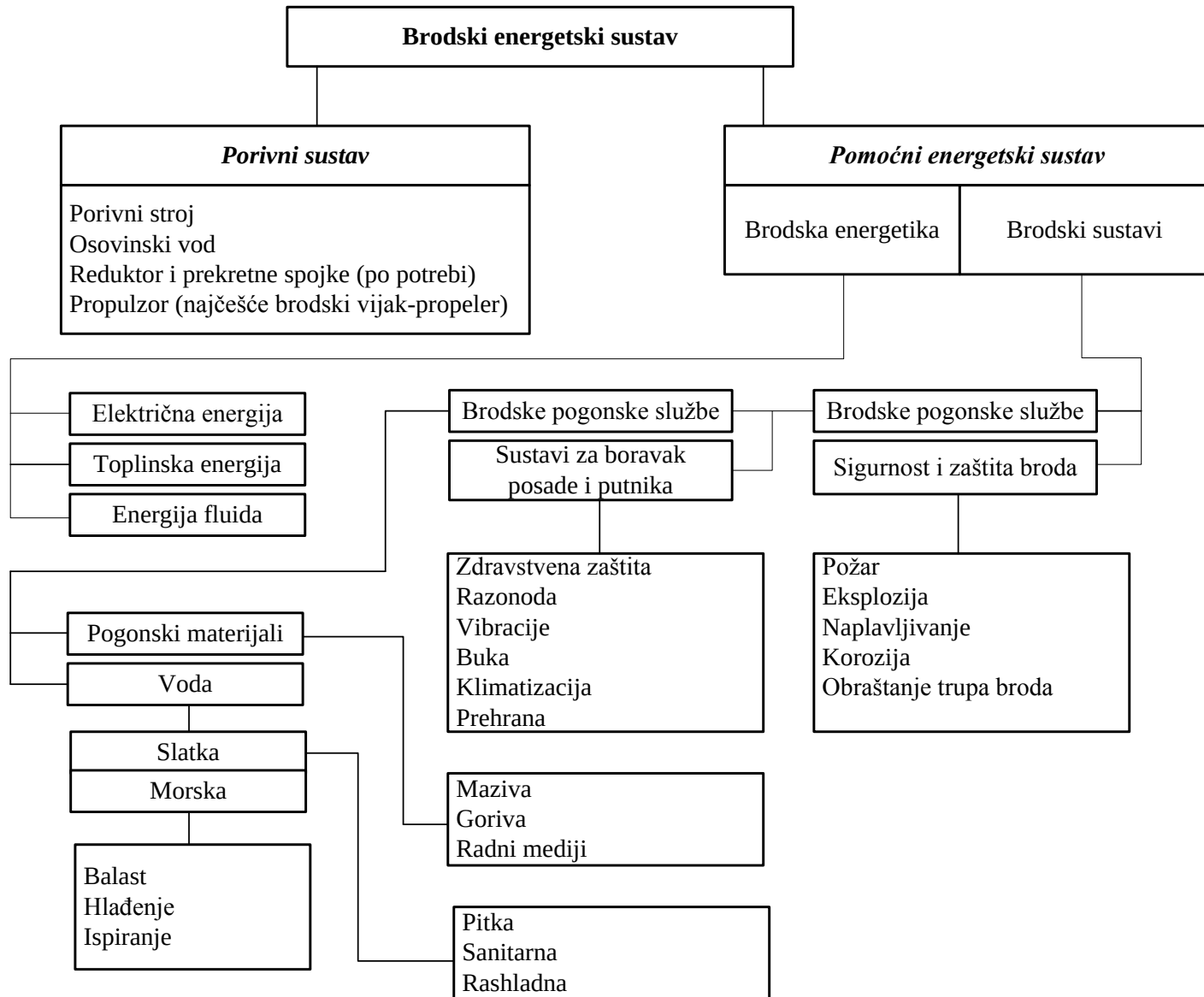
- S obzirom na funkcionalno rastavljanje broda i procese koji se odvijaju na brodu, brod se kao tehnički sustav može se podijeliti u tri podsustava



- Unutar podsustava u svakom presjeku vremena i prostora u okviru raspoloživog obujma odvijaju se razni procesi koji se međusobno potpomažu. Na svim brodovima, posebno teretnim, ovi procesi omogućavaju u većoj ili manjoj mjeri ostvarenje **osnovnog cilja**, a to je **ekonomska učinkovitost i ekološka prihvatljivost**.

- Svaki od tih procesa predstavlja zaokruženu cjelinu ali sa stajališta teorije informacija prožimlju se i ovisni su jedan o drugom.
- Energetski proces broda odvijaju se neprestano cijelog radnog vijeka broda uglavnom u okviru energetsko-*pogonskog (strojnog) kompleksa broda*.
- Energetski proces sastoji se u neprestanom stvaranju, pretvaranju, transportu, trošenju energije.
- U procesu stvaranja i pretvaranja, energija mijenja materijalne nosioce, a ukupnost informacija, koje prate energiju i proces također prolaze stanja stvaranja, pretvaranja, transporta i trošenja.

- *Struktura brodskog energetskeg sustava:*

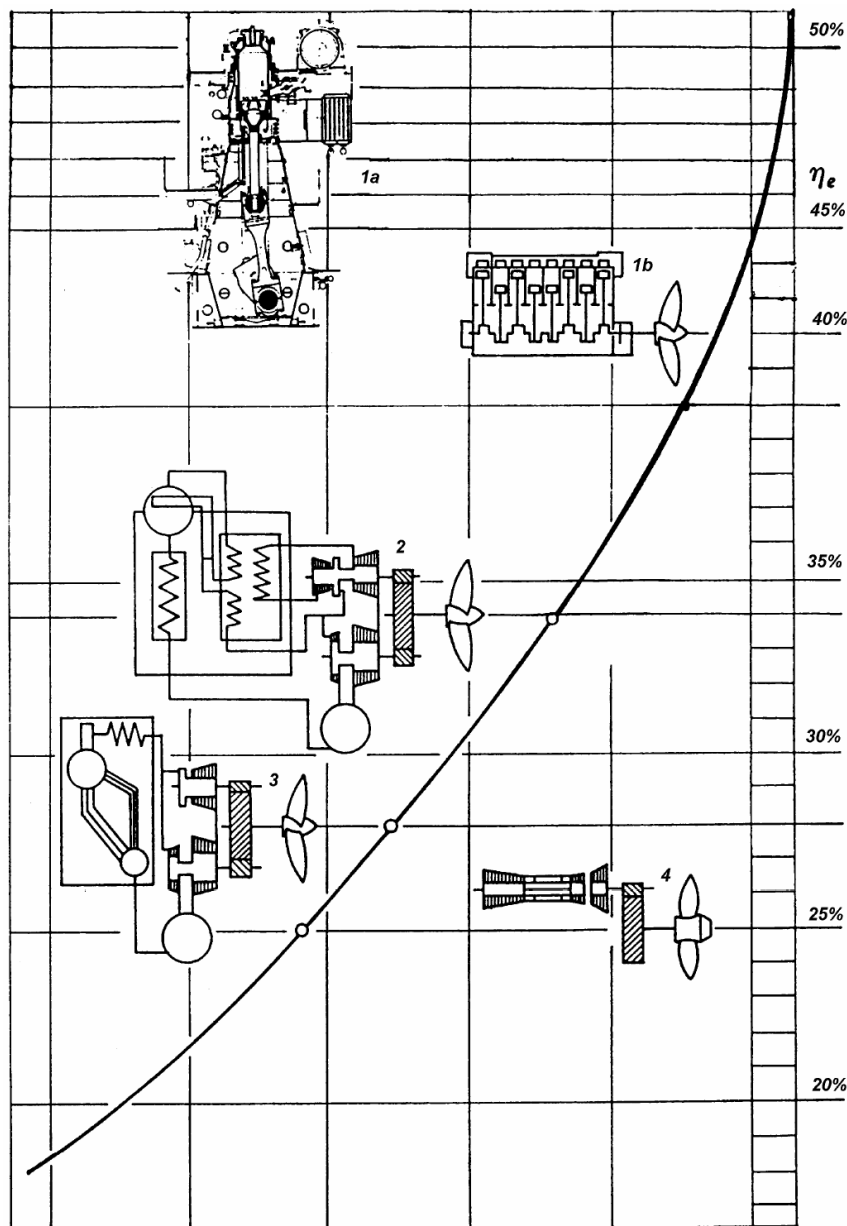


- Najveći dio energetske procesa odvija se u sustavu "*porivni (propulzijski) sustav*" koji osigurava energetske tijekove za realizaciju zadatka pokretljivosti-poriva broda. U okviru ovog sustava energija doživljava pretvaranje u smislu najvećih snaga, pa je i sustav specifično najsnažniji, gabaritno najveći i sazdan od najvećeg broja elemenata.
- Ostali dio energije, sadržan u osnovnom energentu, neophodan za odvijanje osnovnog energetskog procesa u porivnom sustavu, kao i za odvijanje ostalih brodskih procesa, transformira se u okviru sustava pod nazivom "*pomoćni energetski sustav*". Ovaj sustav, s pripadajućim podsustavima realizira zadatke: osiguranje energetske tijekova porivnom sustavu, zaštita broda, komfor i "život" broda u širem smislu.
- Svaki od navedenih sustava sastoji se od pripadajućih podsustava koji se nadalje organiziraju ili po tipu materijalnog nosioca energije ili funkcije, te na taj način čine strukturu energetske procesa broda.

PROPULZIJSKI SUSTAV BRODA

- Glavni čimbenici pri dizajniranju porivnog sustava broda je odnos između porivnog stroja, transmisijskog sustava i propulzora.
- Poriv broda ostvaruje se glavnim pogonskim sustavom koji se još naziva propulzijski sustav.
- Dijelovi propulzijskog-porivnog sustava:
 - glavni propulzijski-porivni stroj,
 - osovinski vod,
 - reduktor i prekretni spojnici (po potrebi),
 - propulzor (propeler-brodski vijak).
- Vrste propulzijskih sustava prema porivnom stroju:
 - dizelmotorni,
 - parnoturbinski,
 - plinskoturbinski,
 - dizelelektrični,
 - kombinirani.

Iskoristivost brodskih propulzijskih postrojenja



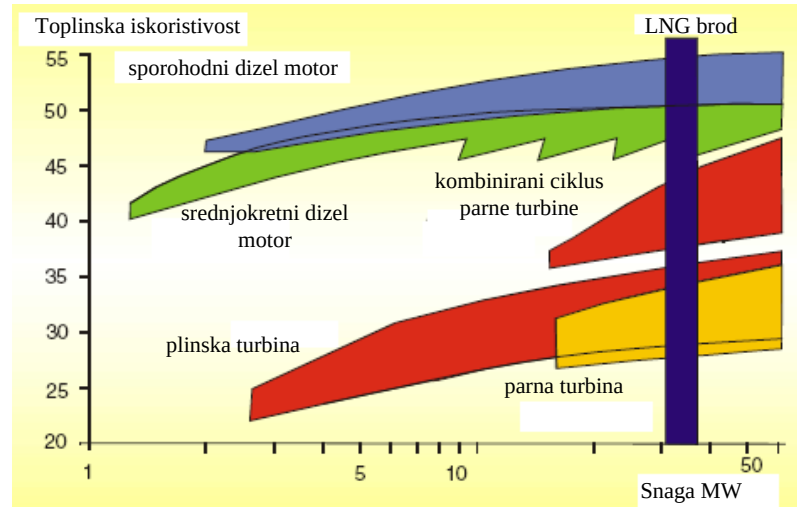
1a - nove generacije dizel-motora:
Sulzer RTA, B&W MC-MCA,

1b - stariji dizel-motori,

2 - parne turbine s visoko pregrijanom
parom,

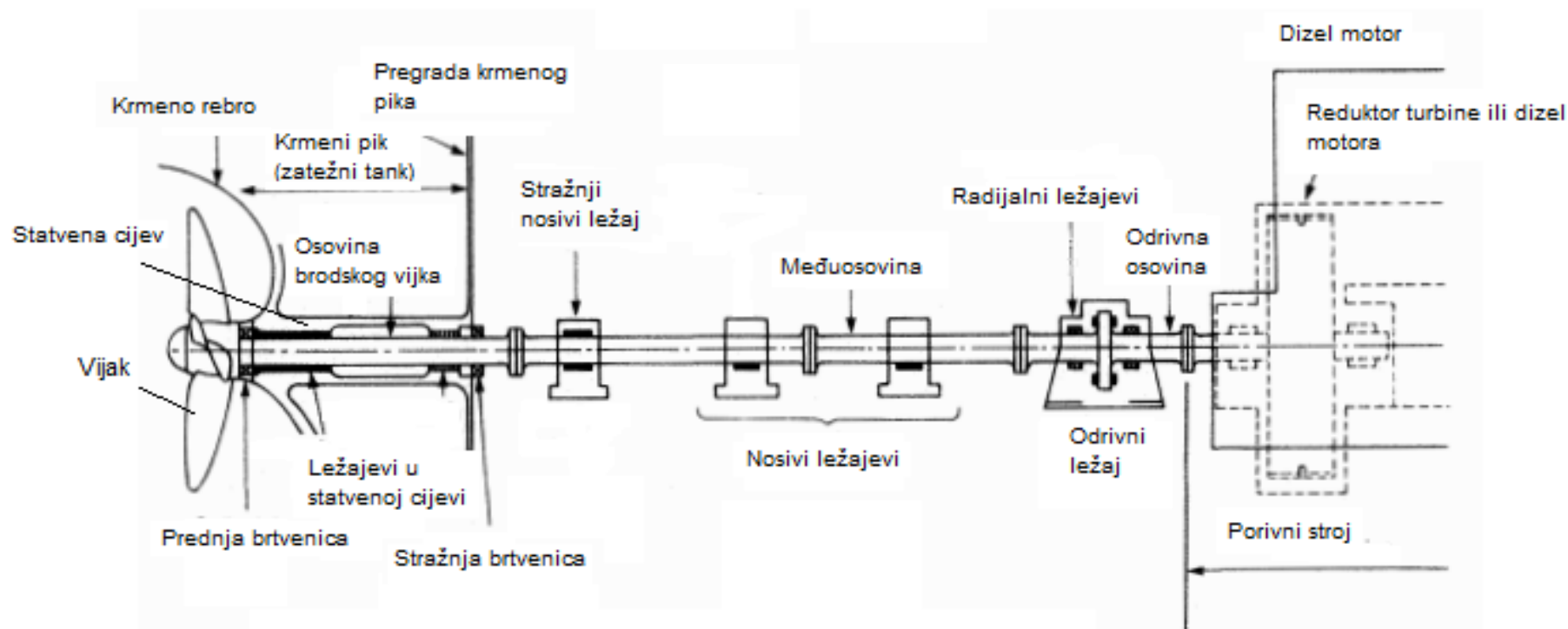
3 - parne turbine,

4 - plinske turbine



- Kod trgovačkih brodova kao porivni stroj najčešće se rabe dizelski motori zbog povoljnog stupnja iskoristivosti.
- Međutim, pored stupnja iskoristivosti propulzijskog stroja važni su i mnogi drugi čimbenici, npr. ekološki, iskoristivost prostora, masa i gabariti porivnog stroja, itd.
- Zbog toga se za porivne strojeve rabe još: parne turbine, plinske turbine i niz kombinacija dizelskih motora, parnih turbina i plinskih turbina.
- U raznim kombinacijama rabe se i elektromotori zbog njihovih povoljnih odlika, kao što je npr. pogodnost ostvarivanja vožnje “naprijed” i “krmom”.

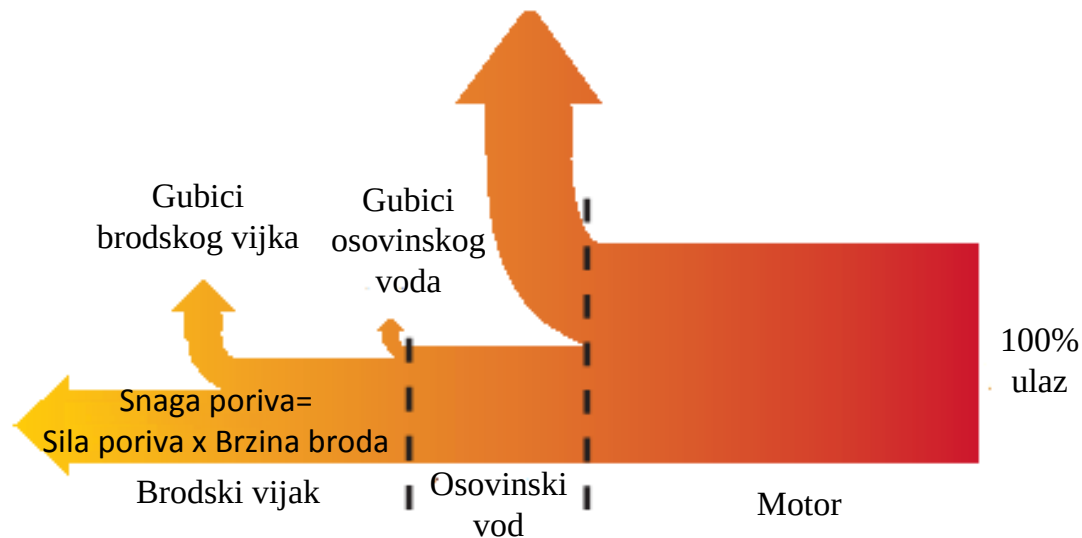
ELEMENTI PROPULZIJSKOG (PORIVNOG) SUSTAVA BRODA



Elementi porivnog sustava broda

- Osnovni elementi porivnog (propulzijskog) sustava su:
 - porivni stroj,
 - osovinski vod,
 - reduktor i prekretno spojnice (po potrebi),
 - propulzor (propeler-brodski vijak).

- Uobičajeni energetska tok na brodu prikazuje Sankey-ev dijagram za tanker ili brod za rasuti teret (eng.bulk carrier). Oko 64% svjetske trgovačke flote odnosi se na ove brodove. Uobičajeno brodsko propulzijsko postrojenje ovih brodova uključuje jednoradni, dugog hoda, prekretni, sporohodni dvotaktni dizelski motor s prednabijanjem koji je direktno spojen preko osovinskog voda na brodski vijak s fiksnim krilima velikog promjera.
- Slika se odnosi na iskorištenje snage bez mjera za povećanje energetske učinkovitosti broda. Od 100% energije (kemijske) sadržane u gorivu, samo je oko 27% snage raspoloživo brodskom vijku.



Uobičajeno iskorištenje snage na tankeru ili brodu za rasuti teret

Osovinski vod

- Zakretni moment kojega stvara porivni stroj osovinski vod prenosi na brodski vijak koji može imati istu ili različitu brzinu vrtnje od porivnog stroja.
- Porivni strojevi s malom brzinom vrtnje izravno su priključeni na osovinski vod.
- Porivni strojevi s većom brzinom vrtnje (>200 o/min) priključeni na osovinski vod indirektno preko zupčanih prijenosa-reduktora za dobivanje optimalnog broja okretaja brodskog vijka.
- Dakle, **prijenos snage s motora na brodski vijak može biti:**
 - a) neposredno predavanje snage na brodski vijak;
 - b) predavanje snage reduktorom, koji reducira brzinu vrtnje vratila motora na vrtnje brodskog vijka;
 - c) prijenos reduktorom i prekretnom spojkom, koja omogućuje promjenu smjera vrtnje osovine brodskog vijka u odnosu na smjer vrtnje vratila motora;
 - e) električni prijenos glavnim dizelskim generatorima i osovinskim elektromotorom.

- Svaki brod mora imati manevarske sposobnosti koje se postižu:
 - promjenom smjera vrtnje porivnog stroja skupa s osovinskim vodom i brodskim vijkom (prekretni motori),
 - prekretnim spojkama (neprekretni motori),
 - promjenom položaja krila broskog vijka (vijak s prekretnim krilima).
- Veza između porivnog stroja i broskog vijka ostvaruje se osovinskim vodom.
- Osovinski vod sastoji se od niza osovina, tj. od međuosovina i osovine koja nosi broski vijak-propeler. Njihov broj ovisi o položaju strojarnice. Osovine se spajaju prirubnicama ili rastavljivim spojkama.
- Osovinu broskog vijka nose ležajevi u statvenoj cijevi koja prolazi kroz krmenu statvu, a međuosovine radijalni ležajevi.
- Pri vrtnji broskog vijka i stvaranju porivne sile, stvara se aksijalna sila koja se prenosi na osovinu broskog vijka i čitav osovinski vod do odzivnog ležaja.

- Na prikladnom mjestu na osovinskom vodu ugrađuje se kraća grebenasta ili odrivna osovina koja porivnu silu prenosi preko temelja odzivnog ležaja na konstrukciju broda.
- Osovine se izrađuju od kovanjem od ugljičnog čelika, mogu biti punog ili šupljeg presjeka.



Osovinski vod

Međuosovina

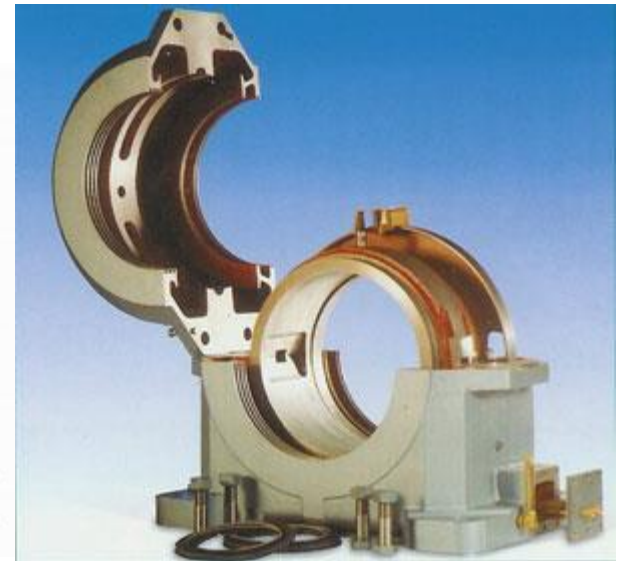
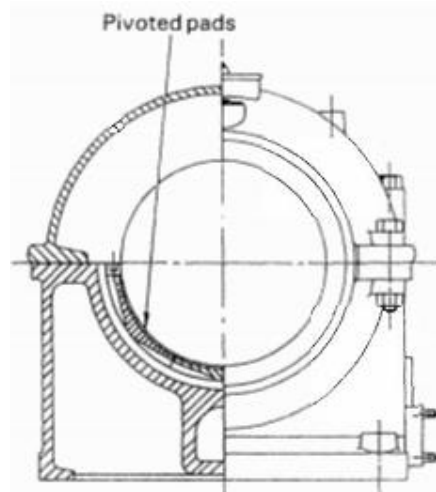
- Spaja osovinu vijka s porivnim strojem. Njihov broj ovisan je o položaju strojarnice.
- Da bi se istrošenost međuosovine na mjestu ležajeva mogla popraviti, promjer osovine na tim mjestima je nekoliko mm veći (obično 6 mm).



- Osovine osovinskog voda izrađuju se kovanjem od ugljičnog čelika prekidne čvrstoće 440-700 MPa. Osovine mogu biti i šuplje. Ako je promjer šupljine manji od 0,4 vanjskog promjera osovine, ne treba povećavati vanjski promjer. Ako je promjer šupljine veći od navedenog, vanjski se promjer mora povećati toliko da moment otpora presjeka šuplje osovine ostane isti.

- Duljina međuosovine za velike brodove kreće se od 5 do 7 m.
- Debljine prirubnica međuosovine, te odrivne osovine i osovine broskog vijka moraju biti najmanje 0,2 promjera međuosovine.
- Za manje brzine vrtnje ugrađuju se klizni radijalni ležajevi koji imaju kućište od lijevanog željeza u kojima se nalaze brončane blazinice obložene bijelom kovinom. Bijela kovina: kositar (Sn), antimon-7,5% (Sb-polumetal), bakar 3,3% (Cu).

Radijalni klizni ležaji



- Prakticira se da prvi ležaj do porivnog stroja i zadnji ležaj do statvene cijevi imaju gornju i donju blazinicu.
- Ostali radijalni ležajevi (s obzirom da je radijalno opterećen samo donji dio) imaju blazinicu samo s donje strane.
- Prema HRB, promjer međuosovine ne smije biti manji od iznosa dobivenog prema izrazu:

$$d = F \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n} \cdot \frac{l}{1 - \left(\frac{d_u}{d_v}\right)^4} \cdot \frac{560}{R_m - 160}} \quad [\text{mm}]$$

gdje je:

P -proračunska snaga porivnog stroja, kW,

n -proračunska brzina vrtnje međuosovine, okr/min,

F - faktor vrste porivnog uređaja

- $F=95$ – za turbinske uređaje, motore s unutarnjim izgaranjem s kliznom spojkom i za elektromotorni poriv
- $F=100$ – za ostale motore s unutarnjim sagorijevanje

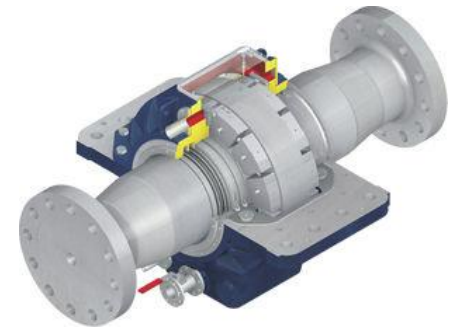
K - faktor izvedbe

- $K=1,0$ – za izvedbu s prirubnom spojkom iz istog komada i za izvedbu s navučenom spojkom spojenom steznim spojem bez klina
 - $K=1,1$ - za izvedbu s utorom za klin i za izvedbu s radijalnim ili poprečnim provrtom
 - $K=1,2$ -za izvedbu s uzdužnim prorezom
- R_m -prekidna čvrstoća materijala, MPa,
 d_u -promjer šupljine, mm
 d_v - vanjski promjer osovine, mm

Odrivna osovina

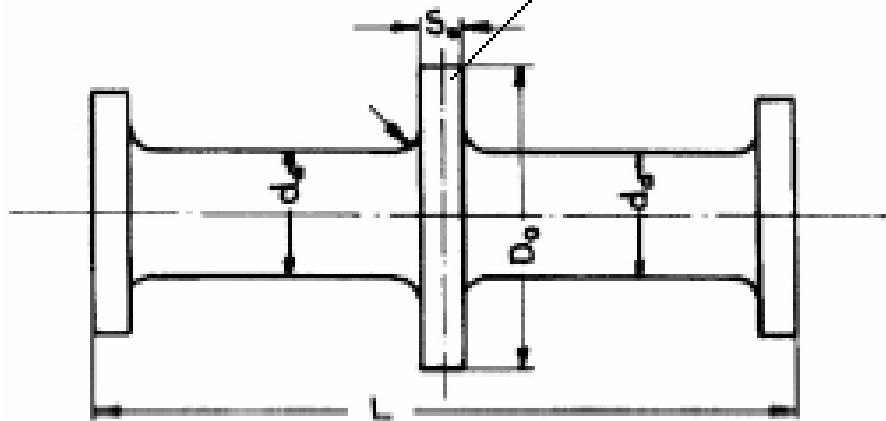
- Odrivna osovina s odzivnim grebenom služi za prijenos aksijalne sile s brodskog vijka na kućište s odzivnim ležajem, a odatle s konstrukciju broda.
- Izvodi se što kraća i s jednim grebenom.

Odrivna osovina



ivni ležaj

Greben



Greben

Odrivna osovina

te

Odrivni ležaj

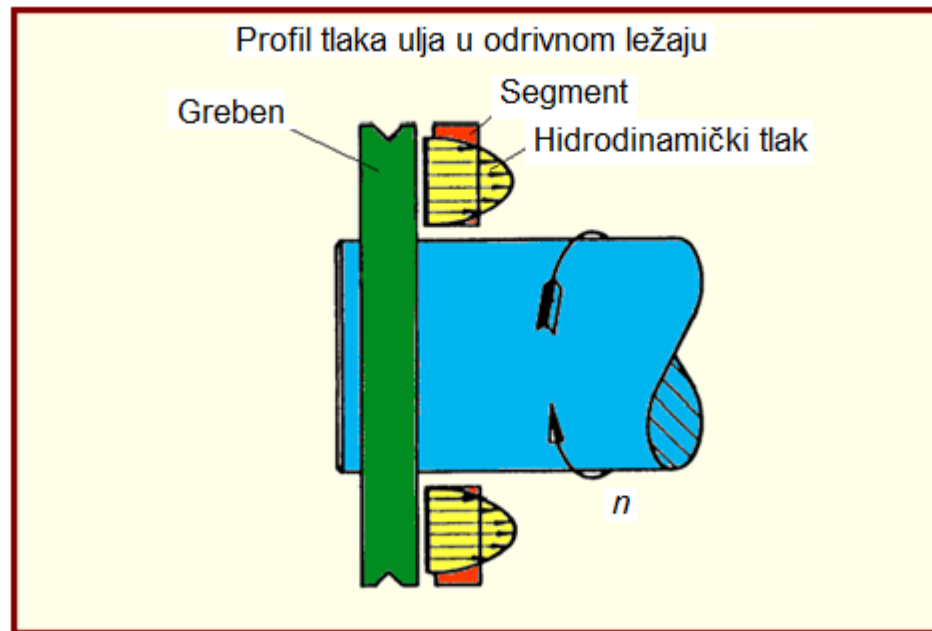
- Najviše se koristi Michellov ležaj s jednim grebenom i slobodno postavljenim segmentima po obodu.
- Ležaj se postavlja iza porivnog stroja i iza reduktora (ako je ugrađen), u kućištu ili izvan kućišta motora.
- Obodna brzina do 30 m/s.

Odrivni Mitchellov ležaj

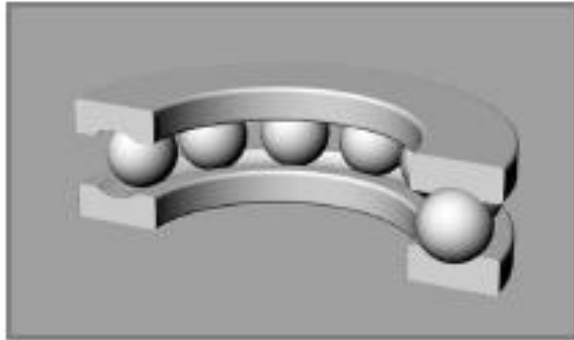


- Broj segmenata od bijele kovine 6 - 8 -12. Kod prekretnih motora segmenti se postavljaju s obje strane.
- Segmenti se s unutrašnje strane oslanjaju na odrivni prsten, a s vanjske strane na kućište ležaja.

- Za podmazivanje uglavnom koriste ulje pod tlakom iz sustava podmazivanja glavnog motora, ali u nekim slučajevima i pomoću grebena koji je donji dijelom uronjen u ulje.
- Ulje je potrebno hladiti.
- Zbog velikih obodnih brzina između segmenata ležaja i grebena stvara se uljni sloj u obliku klina koji omogućuje hidrodinamičko plivanje segmenata.



- Za manje porivne sile i veće brzine vrtnje koriste se aksijalni kuglični ili valjni ležajevi.



Odrivni ležaj izveden kao aksijalni kuglični ili valjni ležaj



Osovina brodskog vijka

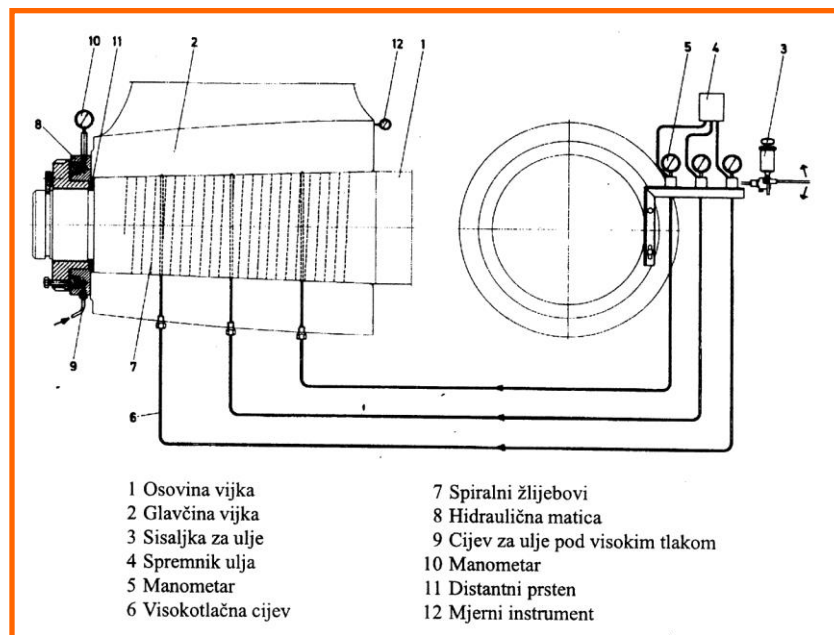
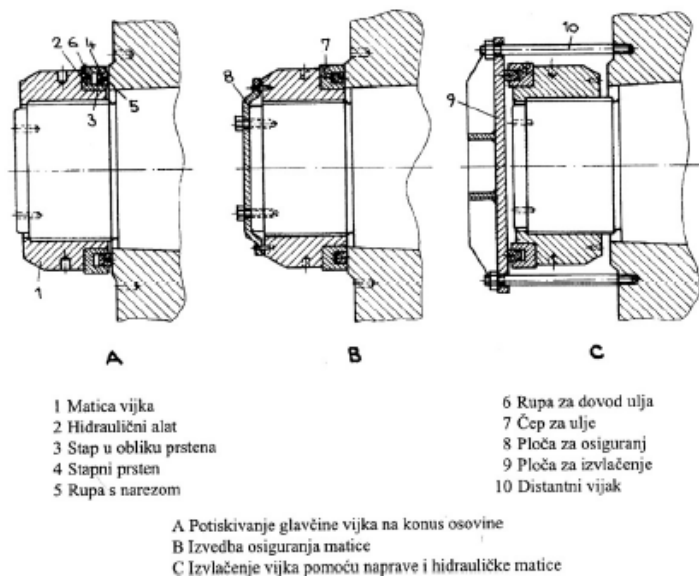
- Nosi na svom stražnjem dijelu brodski vijak, a na prednjem je spojena s ostalim dijelom osovinskog voda.
- Ima veći promjer od međuosovina te je opterećena tlačnim i vlačnim silama kao i momentom savijanja.



Osovina brodskog vijka

- Mora biti pouzdano zaštićena od morske vode. Brončana navlaka štiti od djelovanja mora i mehaničkog trošenja, a omogućena je njena zamjena nakon istrošenja ili oštećenja.

- Na velikim brodovima s osovinom i vijkom velikih promjera koriste se posebne matice koje u sebi sadrže hidrauličnu napravu za sastavljanje i rastavljanje broskog vijka i osovine.



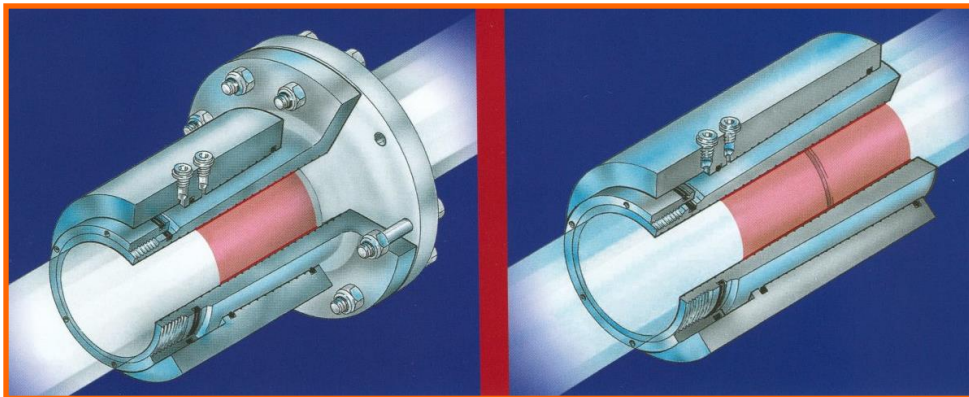
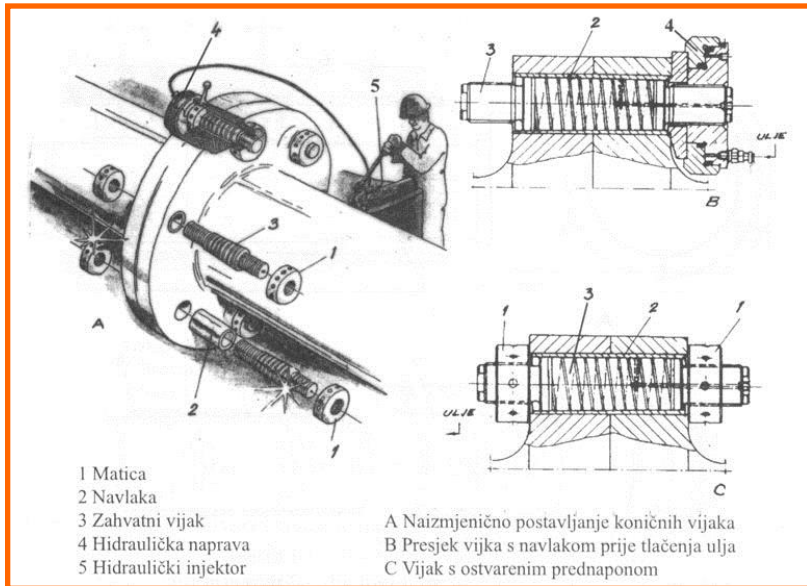
Hidraulička naprava za sastavljanje i rastavljanje broskog vijka i osovine tvrtke SKF

- Na jednoosovinskim brodovima osovina broskog vijka izvlači se prema pramcu, u unutrašnjost broda. Izvlačenje prema van je otežano zbog kormila. Ako je brod dvoosovinski, broski su vijci smješteni bočno od kormila te se mogu izvući prema van. U tom slučaju osovina mora imati skidljivu prirubnicu.
- Spoj glavčine vijka i konusa osovine može biti s klinom ili bez klina.

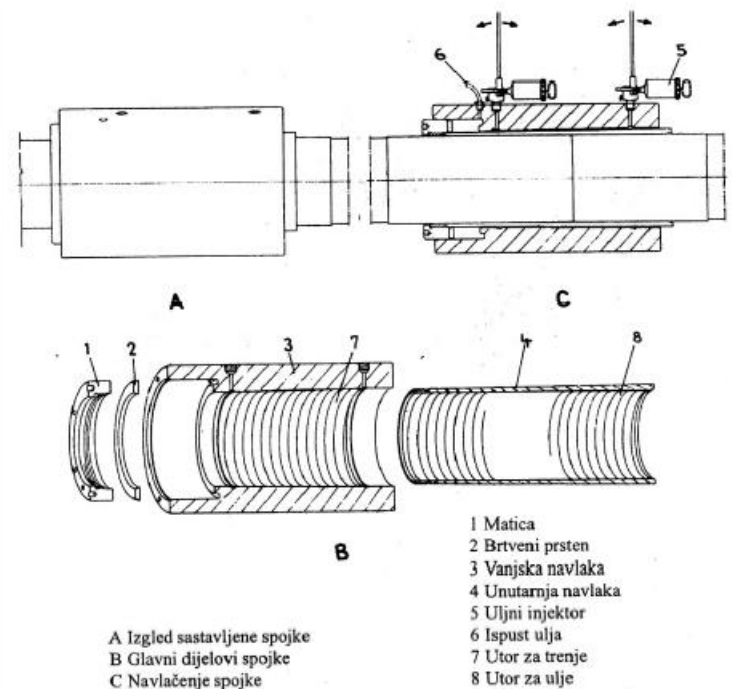
Spajanje osovina

- Osovine osovinskog voda mogu se spajati prirubnicama ili pomoću specijalnih rastavljivih, najčešće hidrauličkih spojki.

Spajanje prirubnicama



Spajanje specijalnih rastavljivim spojkama



Statvena cijev

- Omogućava izlaz osovinskog voda iz trupa broda i sprječava prodiranje vode u osovinski tunel, tj. strojarnicu.
- Proteže se od prednje pregrade krmenog pika do kraja krmene statve.
- Izrađuje se od lijevanog željeza, lijevanog čelika ili čeličnog debelog lima oblikovanog zavarivanjem u okrugli presjek.
- Osovina propelera mora biti poduprta u najmanje dva radijalna klizna ležaja. Za veće brzine koriste se valjkasti ležaji.



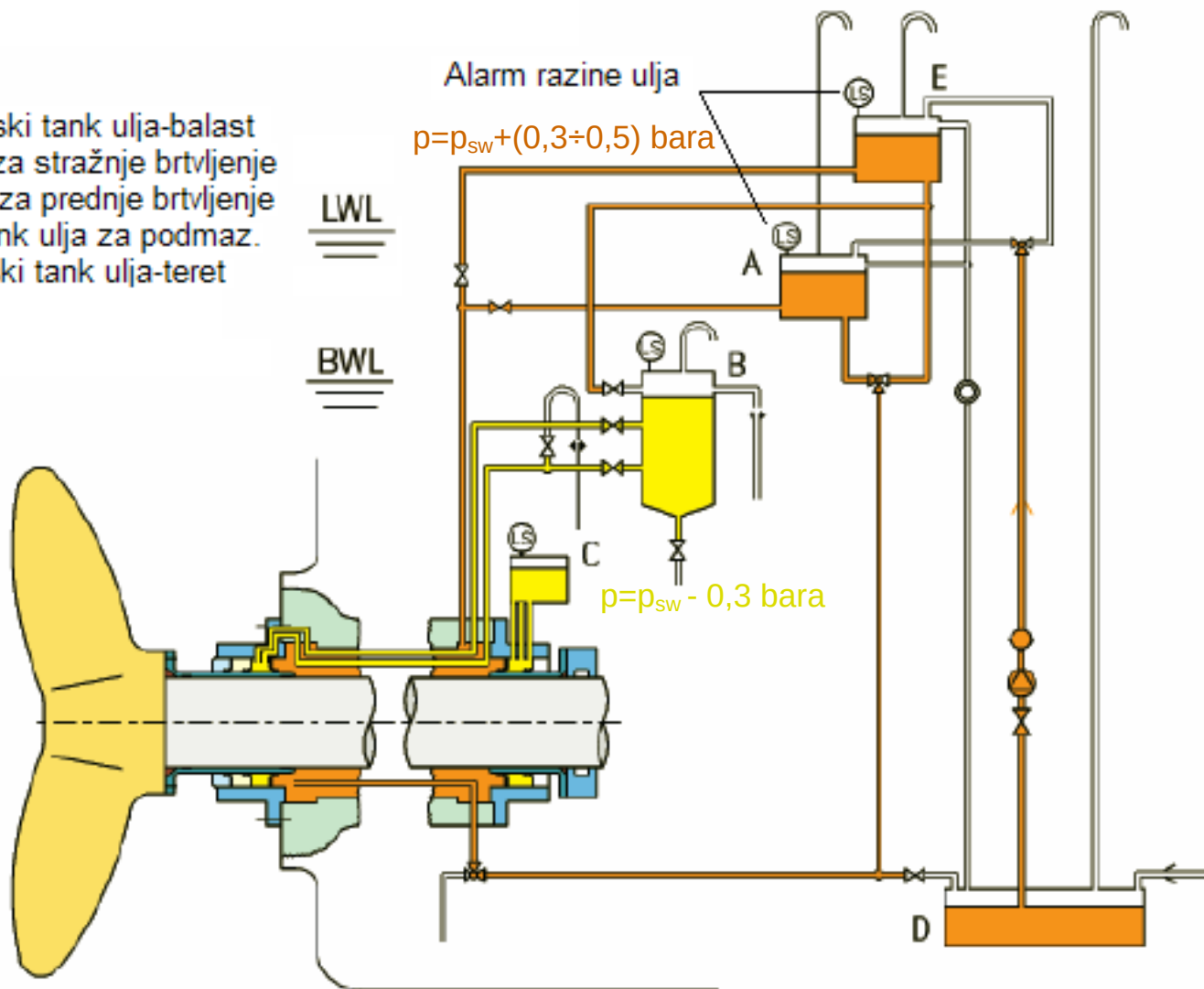
Ležaj statvene cijevi



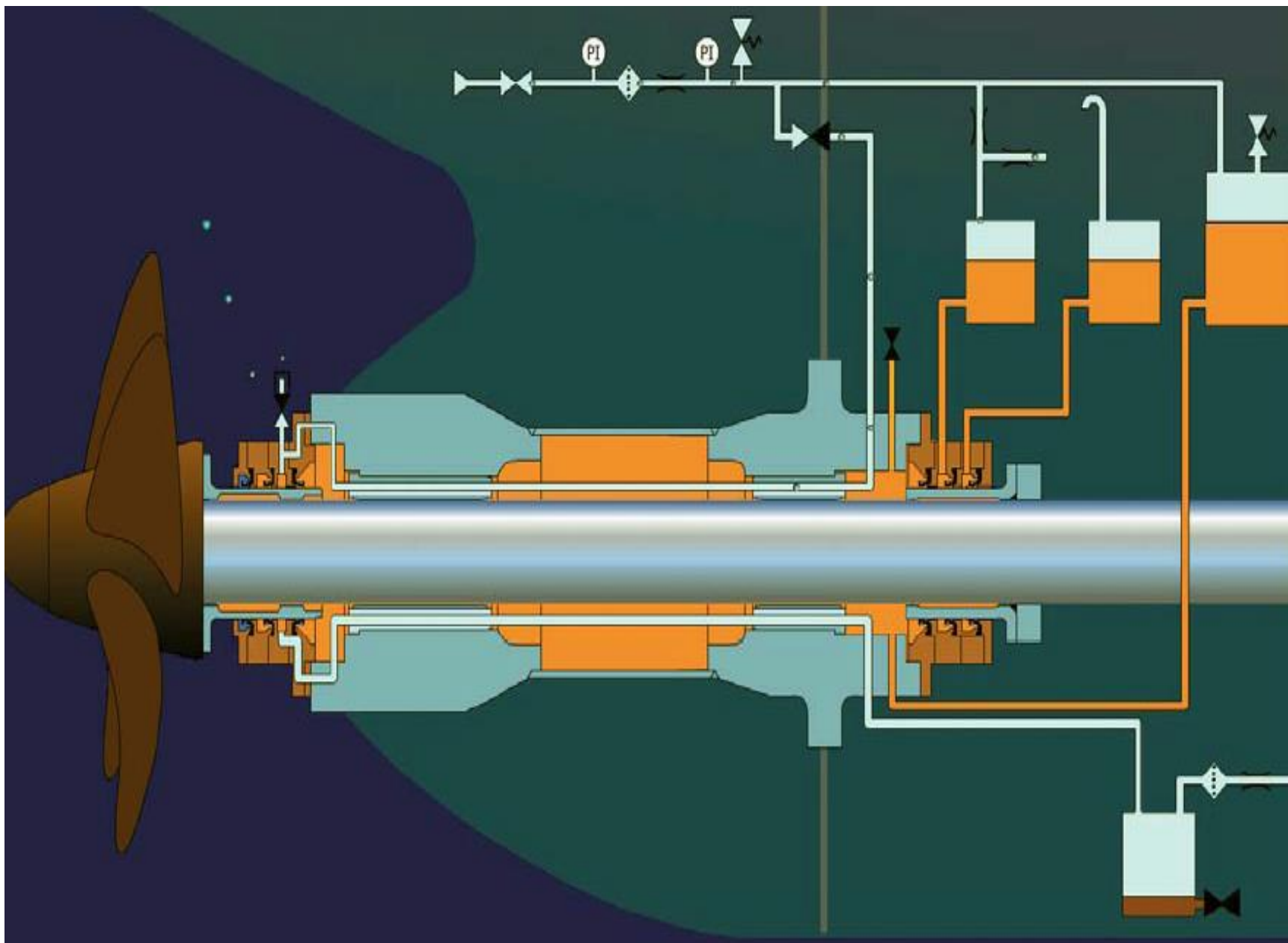
- Ranije izvedbe s navučenom brončanom navlakom u kojoj su po obodu naslagane letve od svetog drveta (otvorene statvene cijevi-podmazivanje vodom).
- Danas, ležajevi od sivog lijeva ili bronce s bijelim metalom koji se podmazuju uljem (zatvorene statvene cijevi). Nema navlake na osovini.
- Potrebno je osigurati brtvljenje kako bi se spriječio izlaz ulja prema vani i prodor morske vode u statvenu cijev. Pored ugrađenih prednjih i stražnjih brtvenica današnje izvedbe statvenih cijevi na velikim brodovima radi sigurnosti izvode se s dodatnim brtvljenjem uljem ili zrakom (konstantni tlak zraka-0,3 bara iznad hidrostatskog tlaka mora).
- Podmazivanje iz gravitacijskog tanka iznad linije najvećeg urona. Ulje se hladi ili posredno preko tanka krmenog pika ili direktno cirkulacijom s ugrađenom pumpom i rashladnikom.
- Ulje se mora kontrolirati najmanje jednomu šest mjeseci, a rezultati analize pohraniti na brodu.

Statvena cijev s dodatnim uljnim brtvljenjem

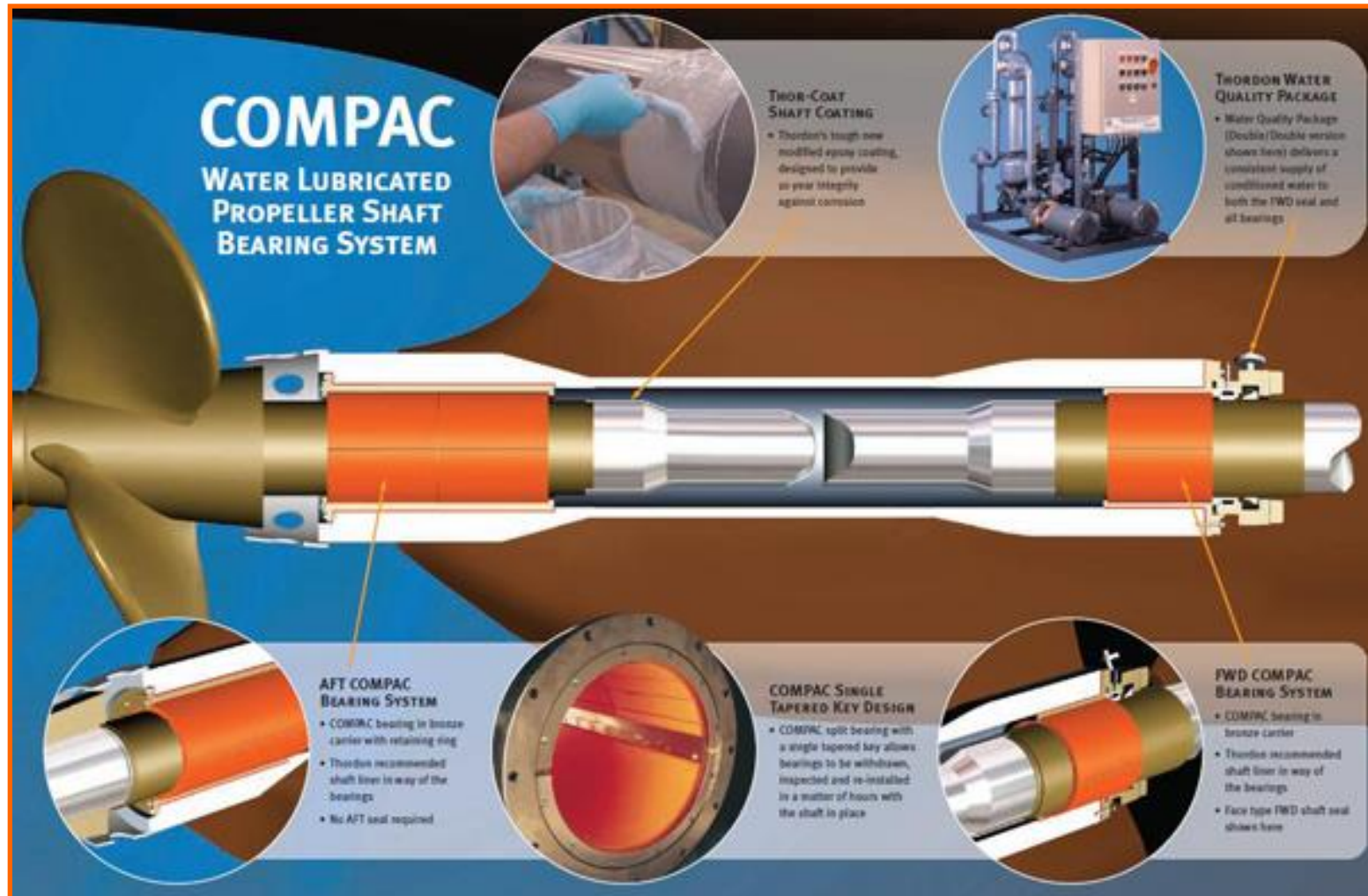
- A = Gravitacijski tank ulja-balast
- B = Tank ulja za stražnje brtvljenje
- C = Tank ulja za prednje brtvljenje
- D = Sabirni tank ulja za podmaz.
- E = Gravitacijski tank ulja-teret



Statvena cijev s dodatnim zračnim brtvljenjem



- Danas su primjeni i statvena cijev s ležajevima od polimera podmazivani vodom.



Stupanj djelovanja osovinskog voda

- Stupanj djelovanja (iskoristivosti) η osovinskog voda je jednak omjeru snage prenesene brodskom vijku P_v i snage koju daje porivni stroj P_p , na izlaznom vratilu:

$$\eta = \frac{P_v}{P_p}$$

- Ovisi o nagibu osovinskog voda i podmazivanju osovinskih ležajeva.
- Obično se iznosi oko 0,985, ali može varirati između 0,96 i 0,995.

Reduktori

- Njihova je zadaća reduciranje brzine vrtnje porivnog stroja i da njegovu snagu s malim gubitkom prenesu na osovину vijka.
- Na brodovima se najviše koriste zupčasti reduktorski prijenosi koji se sastoje od niza zupčanika u zahvatu.
- Prijenosni omjer:

$$i = n_1/n_2 = d_2/d_1 = z_2/z_1$$

gdje je:

i - prijenosni omjer,

*n*₁ - broj okretaja pogonskog zupčanika, okr/min,

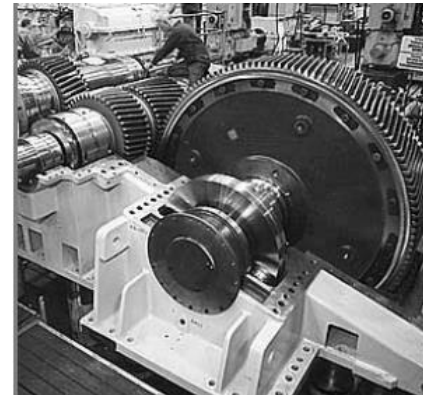
*n*₂ - broj okretaja gonjenog zupčanika, okr/min,

*z*₁ - broj zubaca pogonskog zupčanika,

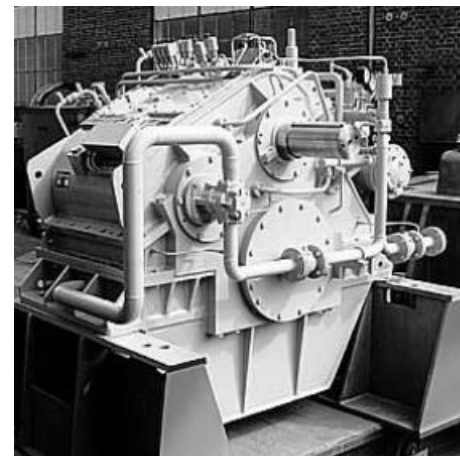
*z*₂ - broj zubaca gonjenog zupčanika,

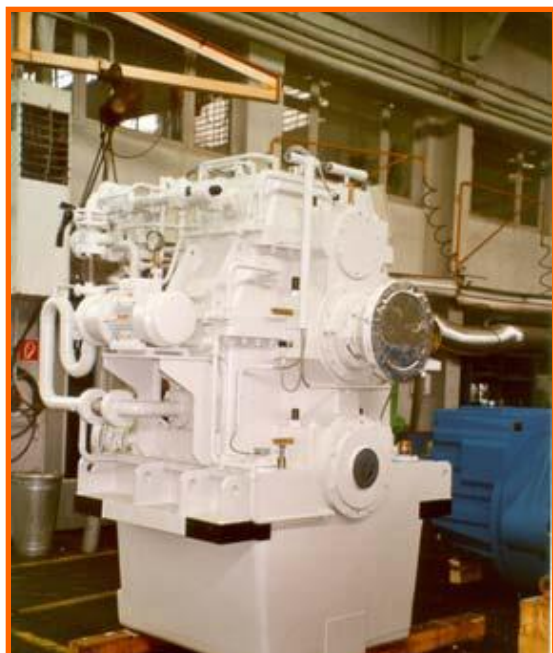
*d*₁ - radijus pogonskog zupčanika,

*d*₂ - radijus gonjenog zupčanika,



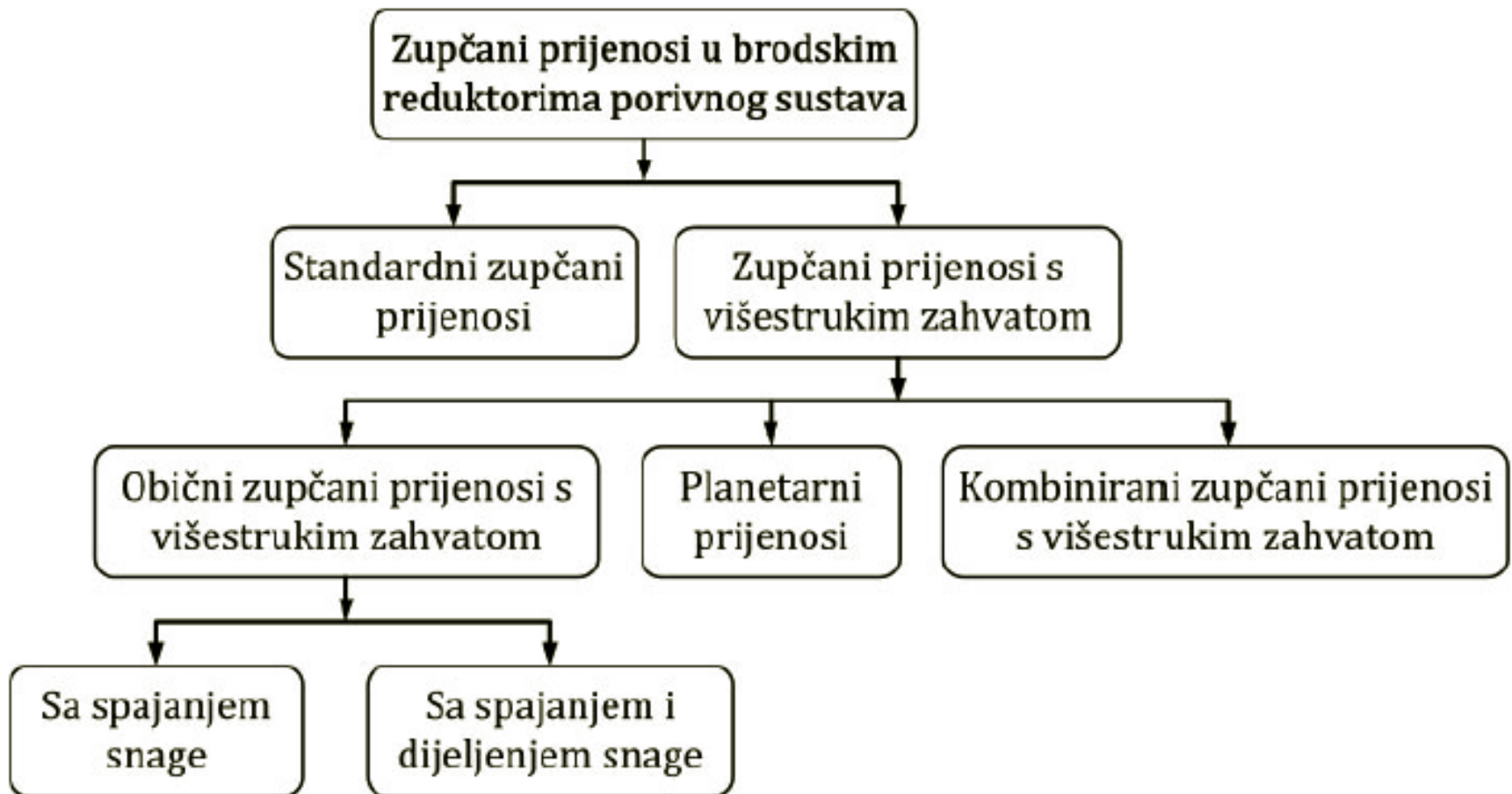
- *i* > 1 - prijenos na manju brzinu (redukcija)
- *i* < 1 - prijenos na veću brzinu (multiplikacija)





Različite izvedbe brodskih reduktora

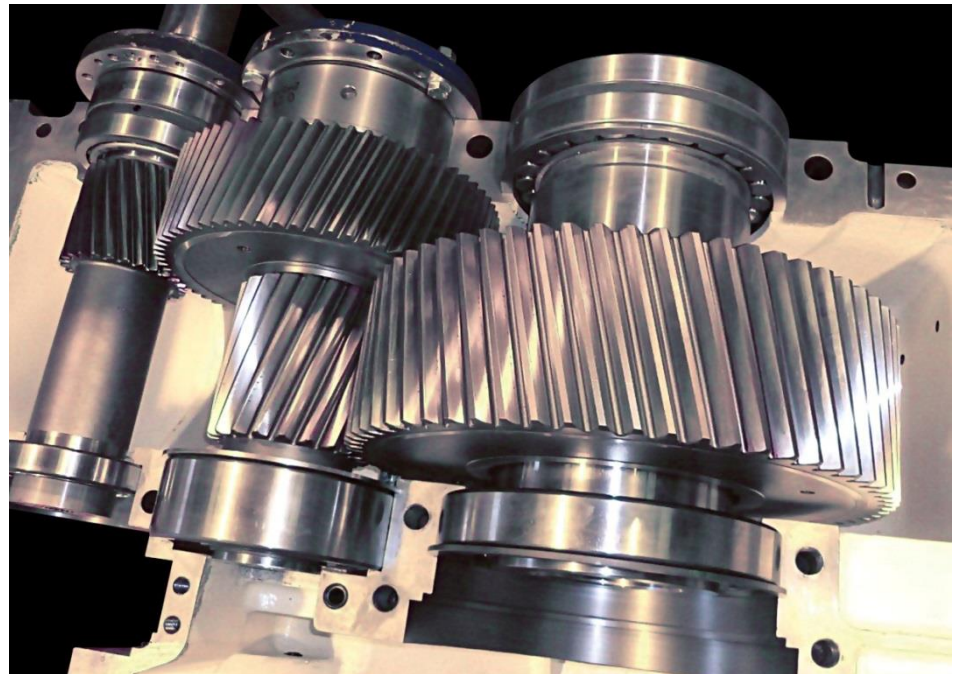
Podjela zupčastih prijenosa brodskih reduktora



- **Standardni zupčani prijenosi** brodskih reduktora pogonskog sustava su najjednostavniji jednostupanjski zupčani prijenosi.
- Pogonski zupčanik ovih prijenosa ima manji broj zubaca, veću brzinu vrtnje, a spojen je s pogonskim strojem, dok gonjeni zupčanik ima veći broj zubaca i manju brzinu vrtnje i spojen je na osovinski vod.
- Takav je zupčani prijenos najčešće spojen elastičnom spojkom.
- Zupčanici koji se primjenjuju u takvim reduktorima su čelnici s ravnim ili kosim zubima.
- Ležajevi ovih prijenosa mogu biti klizni i kotrljajući.

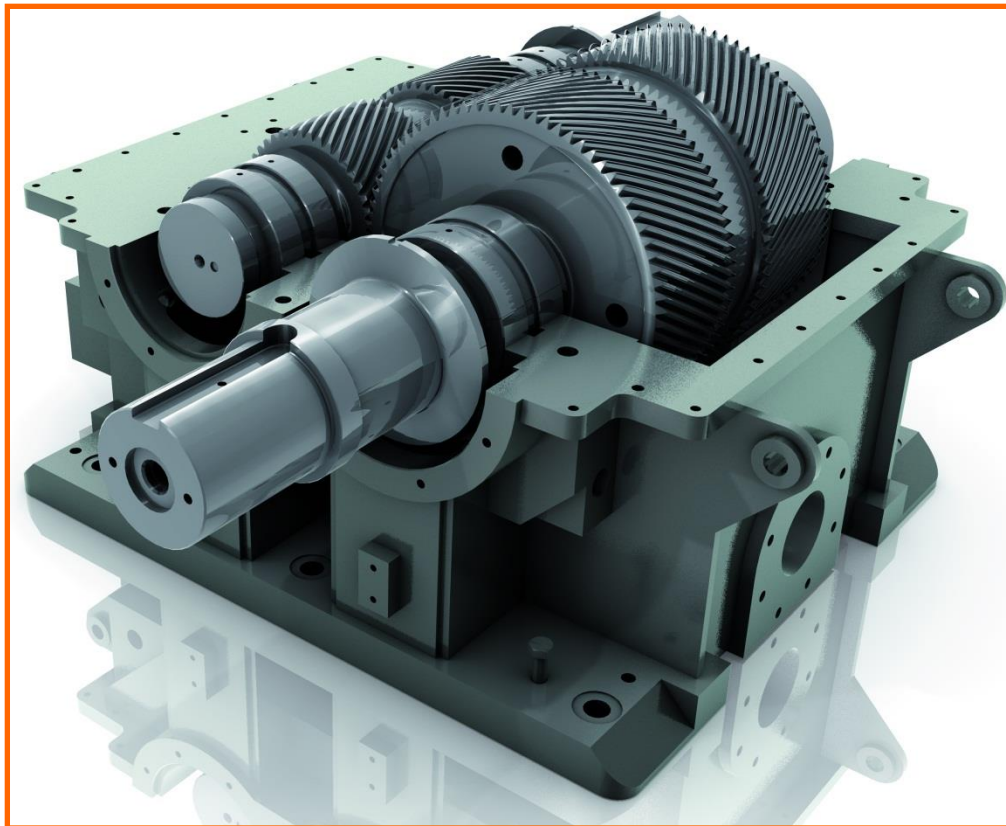
Kod jednostupanjskog zupčanog prijenosnika, maksimalni prijenosni omjer iznosi:

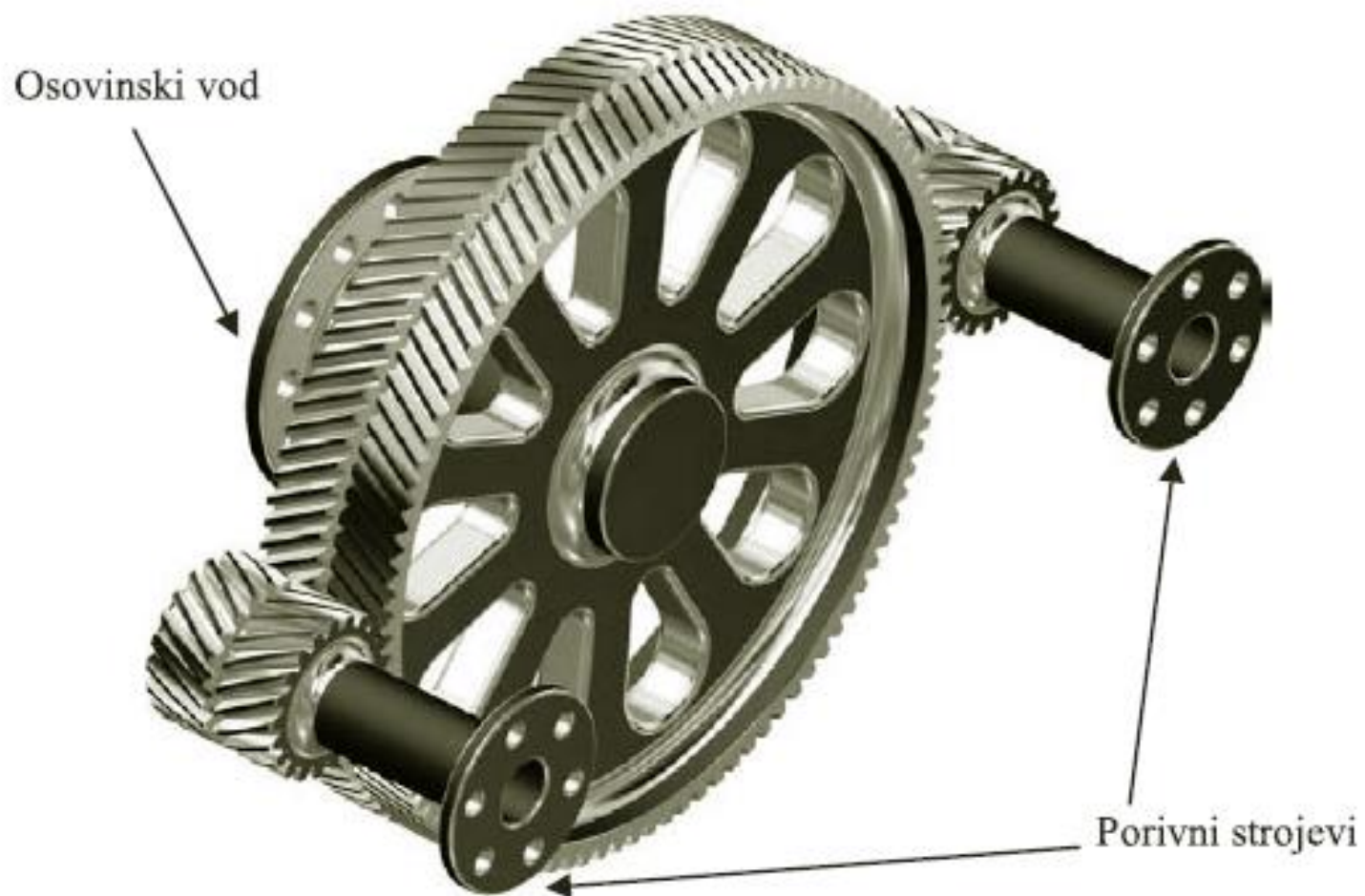
- $i=7:1$ kod reduktora
- $i= 1:7$ kod multiplikatora



Obični zupčani prijenos s višestrukim zahvatom

- Zbog dijeljenja ili spajanja okretnog momenta s jednog na dva para zupčanika ili na više parova, kod zupčanih prijenosa s višestrukim zahvatom manje je opterećenje zupčanika, koristi se manji modul, a ima za posljedicu manji volumen i težinu prijenosa. Zupčanici u ovom prijenosu su čelnici sa strelastim ozubljenjem.





. Model običnog zupčanog prijenosa s višestrukim zahvatom sa spajanjem snage

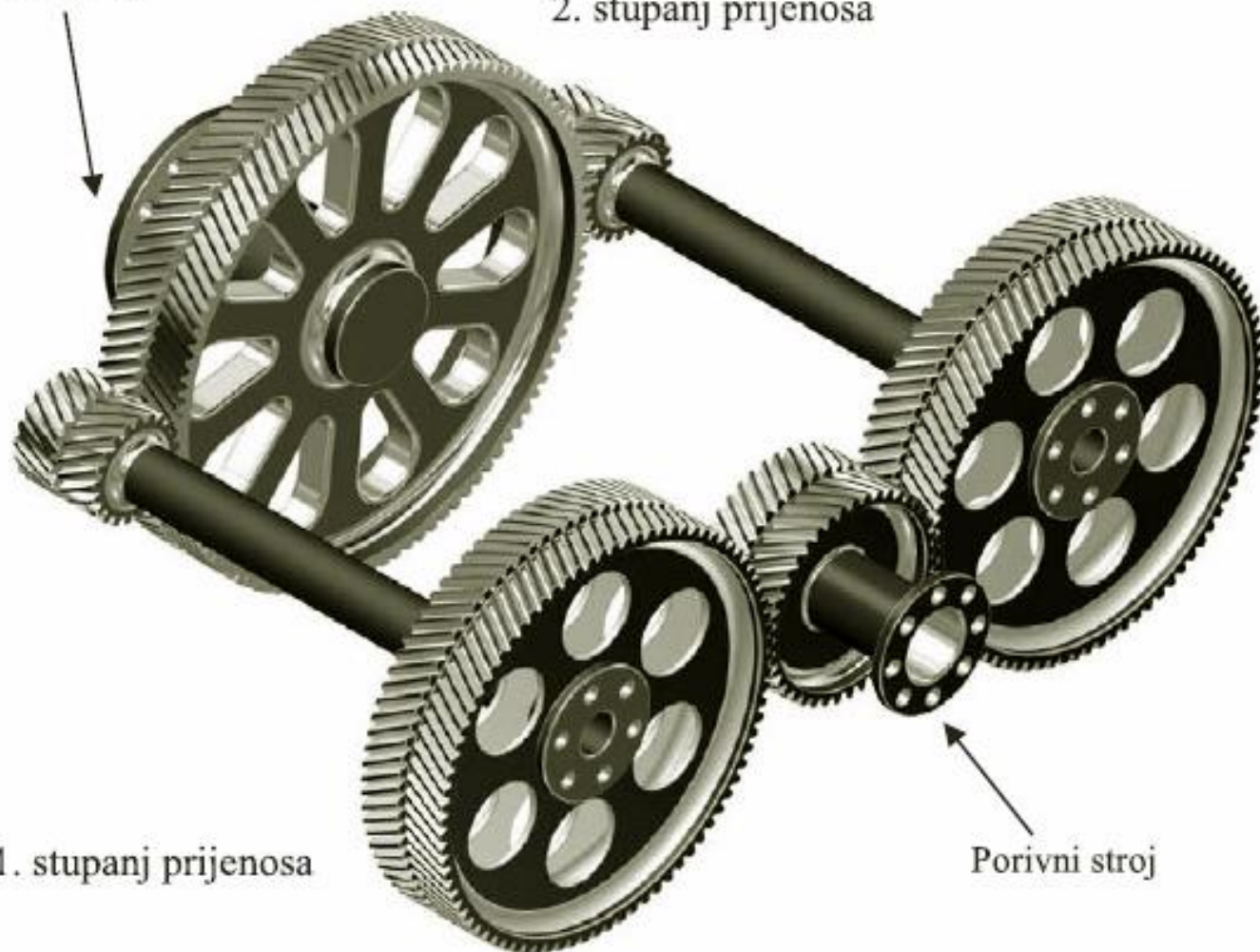
Osovinski vod

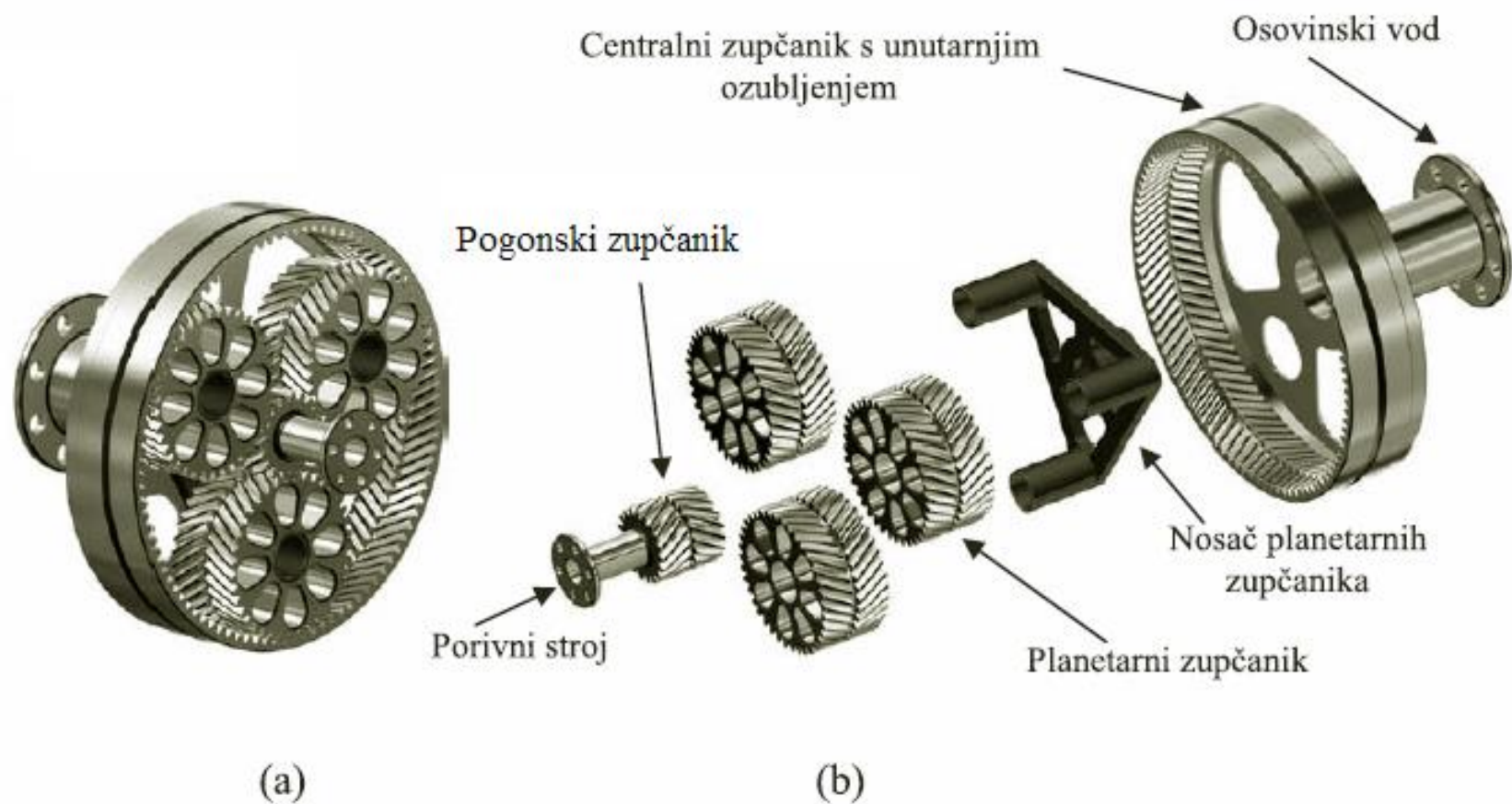
2. stupanj prijenosa

1. stupanj prijenosa

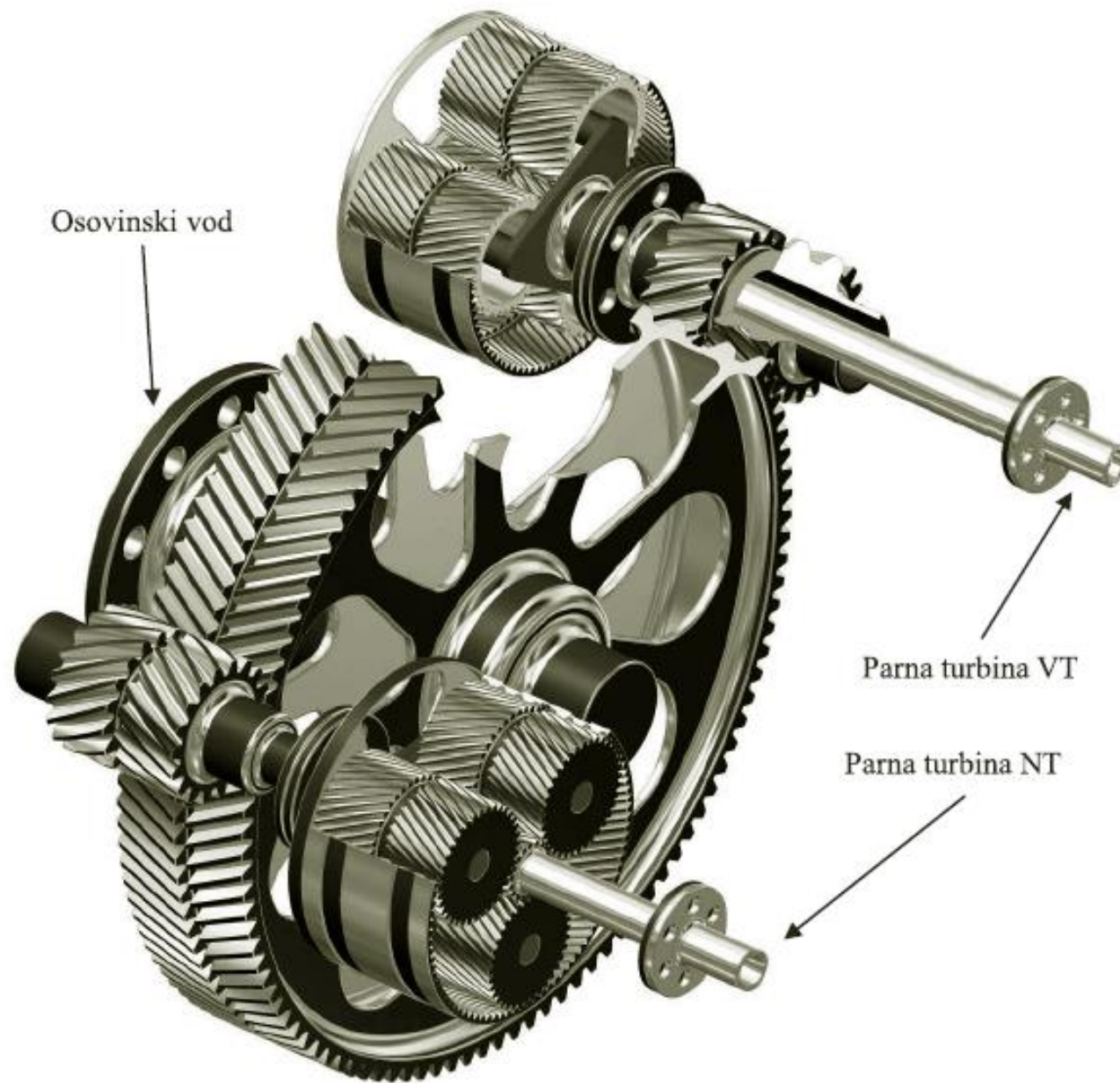
Porivni stroj

*Model običnog zupčanog prijenosa s višestrukim zahvatom
s dijeljenjem i spajanjem snage*





*Model planetarnog prijenosa s tri planetarna zupčanika i strelastim ozubljenjem:
 (a) slika prijenosa i (b) konstruktivna izvedba*

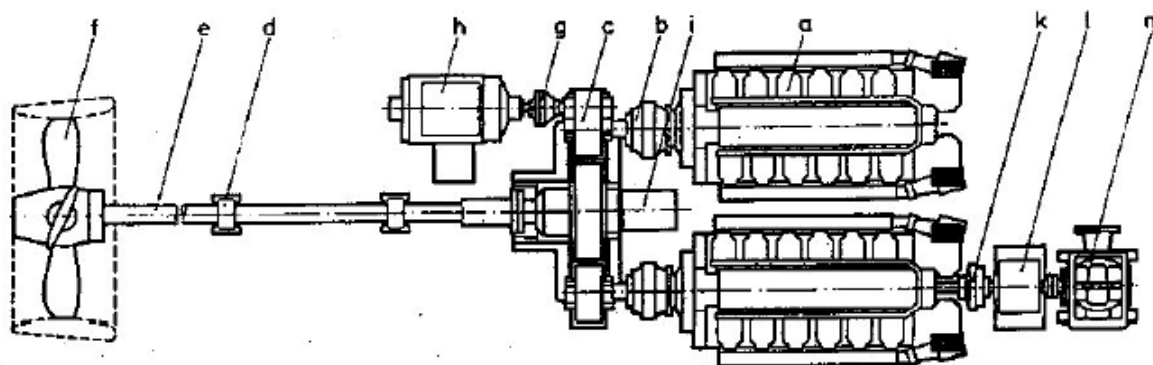


Model brodskog kombiniranog zupčanog prijenosa s višestrukim zahvatom

Spojke

Njihova namjena je:

- spajaju dvije osovine u svrhu prenošenja snage,
- omogućuju prenos snage i ako postoje manja odstupanja u centriranju vratila,
- prigušuju vibracije torzijskog momenta i umanjuju torzijska naprezanja,
- omogućuju uključivanje i isključivanje stroja bez udaraca i bez njegova zaustavljanja.

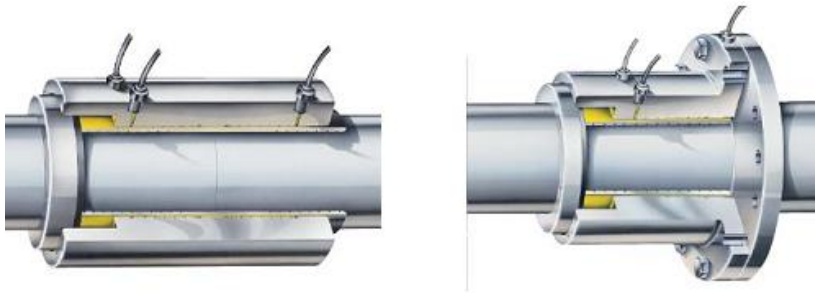


Pogon sa dva srednjekretna DM

- a) srednjekretni DM, b) torzijsko elastična spojka, c) reduktor s dva ulaza, d) radijalni ležaj
e) osovinski vod, f) CPP, g) torzijsko elastična spojka, h) generator, i) upravljanje CPP,
k) spojka, l) multiplikator, m) protupožarna pumpa

- Prema izvedbi spojke se dijele na: torzijske krute spojke, elastične, hidraulične, tarne, elektromagnetske.
- Mogu biti preketne i neprekretne. Preketne spojke ugrađuju kod neprekretnih motora. Zadatak preketnih spojki da pri jednom smjeru okretanja motora omogući brodskom vijku okretanje u istom smjeru s motorom, da miruje ili da se vrti u suprotnom smjeru od vrtnje motora.

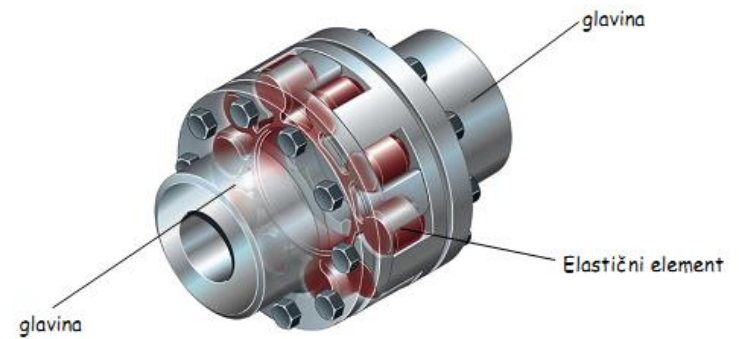
Kruta spojka(ljuskasta)



Tarna spojka



Elastična spojka

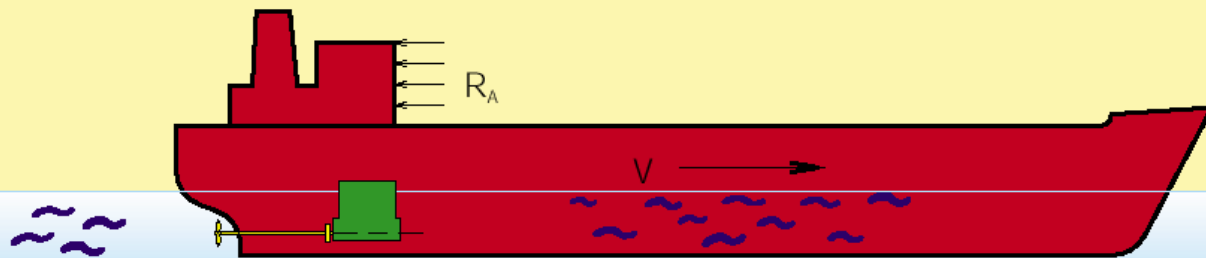


Hidraulička spojka

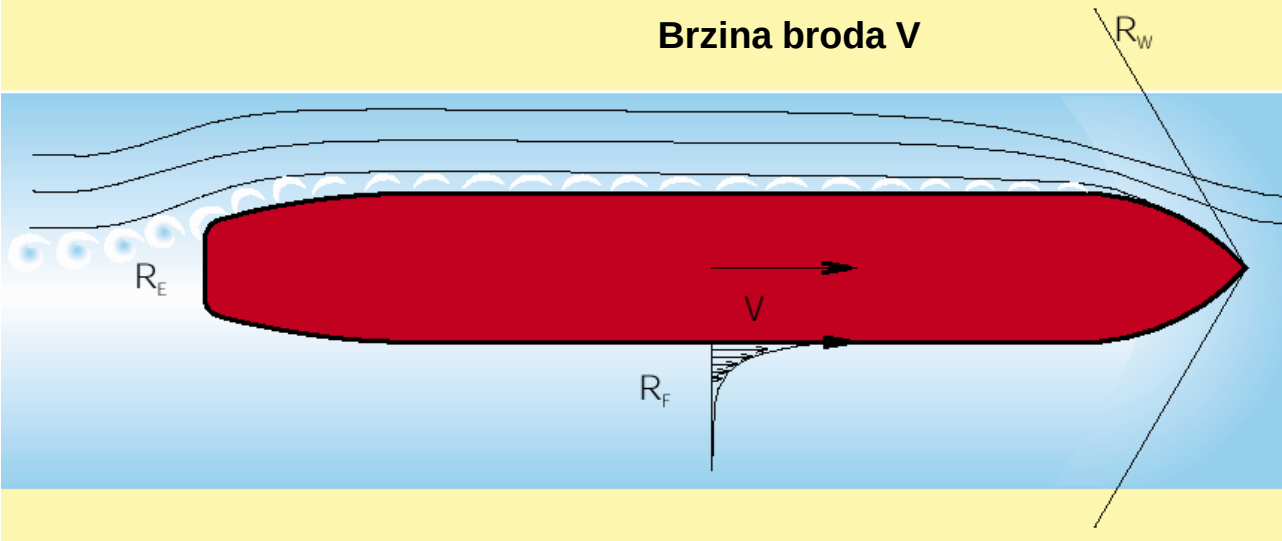
Otpor i propulzija broda

- Da bi brod mogao ploviti traženom brzinom potrebno je svladati silu otpora broda u plovidbi. Tu silu mora stvoriti propulzor broda.
- Potrebna snaga za pogon broda ovisi o otporu koji trup broda pruža gibanju i o iskoristivosti propulzora koji stvara silu poriva.
- Proračun sile otpora broda ima značajno mjesto u projektu broda i utječe na odabir pogonskog postrojenja, odabir glavnog pogonskog stroja i brodskog vijka.
- Na otpor broda utjecaj imaju brzina plovidbe, istisnina i oblik trupa broda.
- Oblikovanjem trupa nastoji se smanjiti otpor dok se djelotvornost propulzora osigurava oblikovanjem krmenog dijela broda i projektiranjem optimalnog propulzora.
- Kretanju broda kroz tekućinu suprotstavljaju se hidrodinamičke sile tekućine i aerodinamičke sile zraka.
- Ukupna sila otpora broda posljedica je djelovanja tri različita otpora:
 - otpora viskoznog trenja,
 - preostali otpori koji uključuju otpor valova i otpora virova (iza istaknutih dijelova broda i krme),
 - otpora vjetra.

Vrsta otpora	% od ukupne sile otpora	
	Spori brodovi	Brzi brodovi
R_F Sila otpora viskoznog trenja	90	45
R_W Sila otpora valova	5	40
R_E Sila otpora virova	3	5
R_A Sila otpora zraka	2	10



Brzina broda V



Sile otpora vožnje broda i njihov udio u ukupnoj sili poriva broda

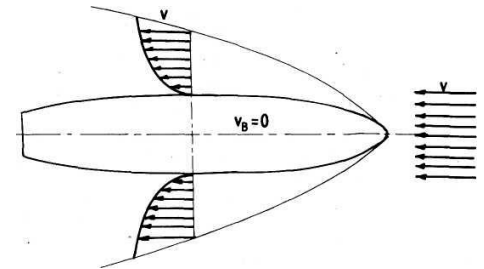
Pri plovidbi broda kroz vodu zapažaju se slijedeće osnovne pojave:

- u neposrednoj blizini brodskog trupa formiraju se vrtlozi zbog trenja vode o brodski trup (granični sloj),
- po krmi broda opažaju se veliki virovi,
- stvaraju se valovi koji "prate" brod.

Otpor R je sila u [N] koja se suprotstavlja kretanju broda.

Sila otpora broda zbog viskoznog trenja- R_F

- Osnovna komponenta ukupnog otpora za većinu brodova te iznosi od 50% do 90% od ukupnog otpora - 70 do 90% kod brodova manje brzine plovidbe (tankeri, brodovi za rasuti teret) ili ponekad manje od 40% kod brodova za velike brzine plovidbe (vitki putnički brodovi).
- Posljedica je viskoznosti vode.
- U tankom sloju vode uz površinu tijela, koji se zove granični sloj, odvija se prijenos energije s broda na okolnu vodu i generiranje otpora trenja.
- Granični sloj se proširuje od krme prema pramcu jer se povećanjem duljine broda sve veća površina vode obuhvaćena trenjem
- Na otpor trenja utječe slijedeće:
 - hrapavost vanjske oplate broda, utječe 15 do 20%
 - veličina podvodne površine,
 - brzina broda,
 - dužina broda.



- Sila otpora viskoznog trenja je:

A_S , ukupna površina uronjenog dijela broda (zajedno s kormilom), m^2

ρ , gustoća tekućine, kg/m^3

v , brzina broda, m/s

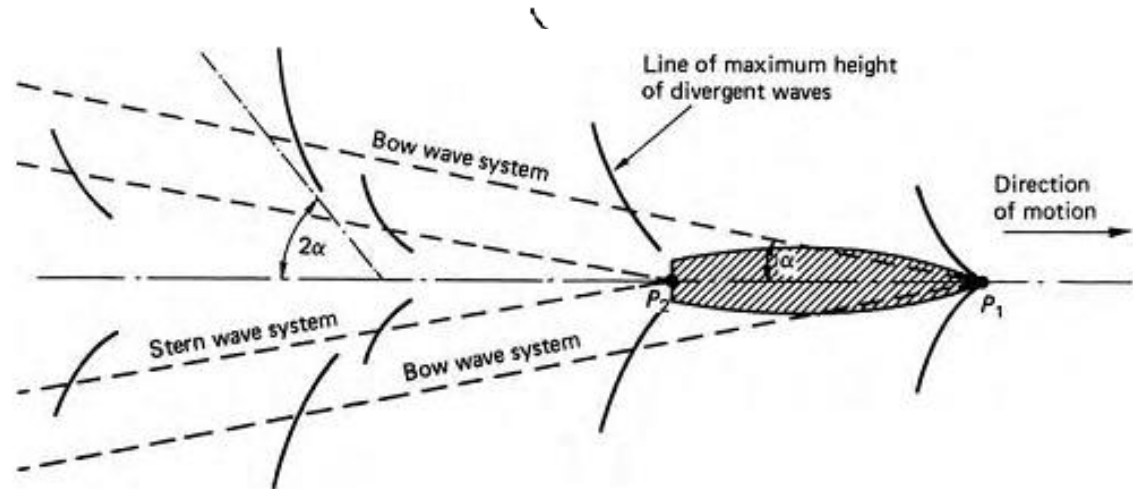
C_F , koeficijent otpora viskoznog trenja (eksperimentalno, opisuje trup broda)

$$R_F = C_F A_S \frac{\rho v^2}{2}$$

Preostali otpori- R_w

- Preostali otpori uključuju otpor valova i otpor virova.
- Otpor valova se odnosi na gubitke energije koju uzrokuju valovi stvorenih od broda.
- Otpor virova se odnosi na gubitke uzrokovane odvajanjem protoka koje uzrokuju vrtlozi posebno na krmi broda i brodski privjesci (ljuljne kobilice, skrokova, kormila, stabilizatori i sl.)
- Otpor valova nastaje zbog otpora vode koja se odupire promjeni vlastitog stanja.
- Povećanjem brzine broda, povećavaju se valovi.
- Valovi se javljaju samo kod brodova koji plove površinom
- Otpor valova ovisi o:
 - povećanju brzine (raste veličina i otpor poprečnih valova)
 - formi broda,
 - povećanjem dužine broda smanjuje se otpor valova,
 - pramčanom bulbu – pri većim brzinama smanjuje otpor i do 18%

- Sila otpora valova, R_w , pri malim brzinama plovidbe proporcionalna je kvadratu brzine. Kod većih brzina plovidbe ona raste mnogo brže.
- Udio sile otpora valova u ukupnoj sili otpora kod sporih brodova je 8 do 25%, dok je kod brzih brodova taj udio jednak 40 do 60%.



Uobičajeno širenje valova s poprečnim i razilaznim valovima

- Sila otpora vrtloga, R_E , nastaje zbog toga što strujnice vode na krmi ne pritanjaju točno uz formu trupa broda. Tlak na krmi nema istu vrijednost kao i tlak na pramcu pa razlika tlakova čini otpor virova.
- Ovisi o brzini i formi krme.

- Izračunavanje sile preostalih otpora vrši se na sličan način kao i kod sile trenja, primjenom koeficijenta preostalih otpora C_R uz napomenu da vrijednost toga koeficijenta ovisi o brzini plovidbe i dužini broda:

$$R_R = R_W + R_E = C_R \cdot A_S \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Sila otpora zraka- R_A

- Sila otpora zraka, R_A , ovisi o brzini vjetra i izloženoj površini i obliku nadvodnog dijela. Kod mirnog vremena otpor vjetra je približno proporcionalan kvadratu brzine broda i površini sjene nadvodnog dijela broda u smjeru vožnje. Otpor vjetra u takvim uvjetima predstavlja oko 2% ukupnog otpora broda.
- U svrhu smanjenja otpora vjetra potrebno je izgraditi što niže nadgrađe, zaokružiti nadgrađe i dati mu strujni oblik koliko je to moguće, te izvesti strukturu nadgrađa stupnjevanu prema pramcu i prema krmi.
- Otpor vjetra može se dati izrazom baziranim na 90% dinamičkom tlaku zraka brzine, v :

$$R_A = 0,90 \cdot C_A \cdot A_W \cdot \frac{\rho_W \cdot v^2}{2}$$

- gdje je ρ_W gustoća zraka, a A_W je površina poprečnog presjeka nadvodnog dijela broda.

- Ukupna sila otpora vožnje ili sila teglja broda (Towing resistance) R_T jednaka je sumi svih sila otpora:

$$R_T = R_F + R_W + R_E + R_A$$

- Odgovarajuća efektivna snaga potrebna za vožnju ili tegalj broda je:

$$P_E = v \cdot R_T$$

gdje je v brzina broda.

- Stvarna snaga koja je predana brodskom vijku je nešto veća od efektivne snage P_E zbog uvjeta protoka oko vijka i njegovog stupnja djelovanja.

Povećanje otpora tijekom eksploatacije broda

- Tijekom eksploatacije broda može doći do otpadanja boje s oplata. Na tim će mjestima započeti erozija i obrastanje broda različitim živim organizmima (alge, trava, školjke).
- Nevrijeme zajedno s neodgovarajuće ukrcanim teretom može izazvati savijanje limova oplata broda, što može dodatno promijeniti silu otpora kod plovidbe broda.
- Isto tako i površina krila brodskog vijka može postati hrapava i obrastena. Povećanje ukupnog otpora vožnje može narasti za 25 do 50% tijekom životnog vijeka broda.
- Otpor broda može se povećati u nevremenu na teškom moru, zbog pojačanog vjetra ili zbog jakih morskih struja. Ukupni otpor vožnje broda može u jakom nevremenu općenito narasti za 50 do 100% obzirom na ono koje brod ima pri mirnom moru.

PROPULZORI

- Zadatak im je pretvorba snage propulzijskog stroja u silu poriva broda:
- Propulzori mogu biti izvedeni kao brodski vijci ili mlazni propulzori.

Brodski vijak

- Na suvremenim brodovima, **vijak (propeler)** je najrašireniji tip brodskog propulzora i gotovo jedino sredstvo poriva. Možemo ga predložiti kao vijak koji na osovini okreće brodski stroj i tako okrećući se u vodi kao matici, snagu brodskog stroja pretvara u kretanje, tj. ostvaruje poriv.

- Sila poriva vijka:

$$T = K_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot d^4 \quad [\text{N}]$$

gdje je:

T -sila poriva broda, N,

K_T -koeficijent poriva,

ρ -gustoća vode, kg/m³,

n -broj okretaja vijka, 1/s

d -promjer vijka, m.

- Snaga vijka:

$$P_D = Q \cdot \omega = Q \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad [\text{W}]$$

gdje je:

P_D -stvarna snaga vijka, W,

Q -zakretni moment vijka, Nm,

ω -kutna brzina vrtnje vijka, rad/s,

- Stupanj djelovanja vijka :

gdje je P_t teoretska snaga vijka u [W]

$$\eta = \frac{P_t}{P_D}$$

Izvedbe brodskog vijka

- Izvedbe:
 - brodski vijak s fiksnim krilima
 - brodski vijak s prekretnim krilima
 - izvedba u sapnici,
 - podtrupni propulzori.
- Propulzijski sustavi s vijcima sa fiksnih ili prekretnim krilima izvode se kao kombinacija propulzora (poriv) i kormila (smjer plovidbe)-(eng. *Propulsor&Rudder Combination*; kratica *PRC*).
- Propulzijski sustavi s izvedbom vijka u sapnici ili kao podtrupnog propulzora imaju uređaj koji omogućuje i upravljanjem porivom i kormilarenje (eng. *Steering propulsion unit*; kratica *SPU*).

- Sila poriva vijka:

$$T = K_T \cdot \rho \cdot n^2 \cdot d^4 \quad [\text{N}]$$

gdje je:

T -sila poriva broda, N,

K_T -koeficijent poriva,

ρ -gustoća vode, kg/m³,

n -broj okretaja vijka, 1/s

d -promjer vijka, m.

Teorija brodskog vijka (propelera) se bazira na modelu.

Snaga vijka:

$$P_D = Q \cdot \omega = Q \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad [\text{W}]$$

gdje je:

P_D -stvarna snaga vijka, W,

Q - zakretni moment vijka, Nm,

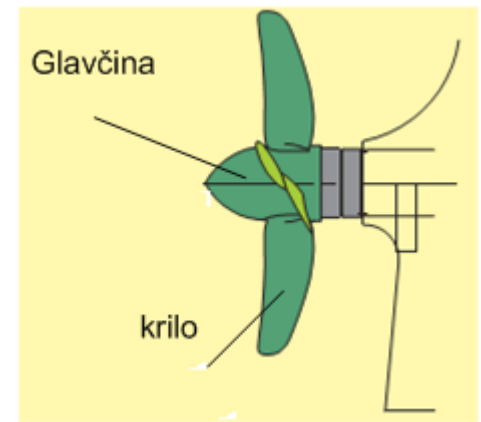
ω -kutna brzina vrtnje vijka, rad/s,

- Stupanj djelovanja vijka :

gdje je P_t teoretska snaga vijka u [W]

$$\eta = \frac{P_t}{P_D}$$

Vijak s fiksnim krilima (eng. *Fixed pitch propeller*; kratica *FPP*)



Glavne karakteristike:

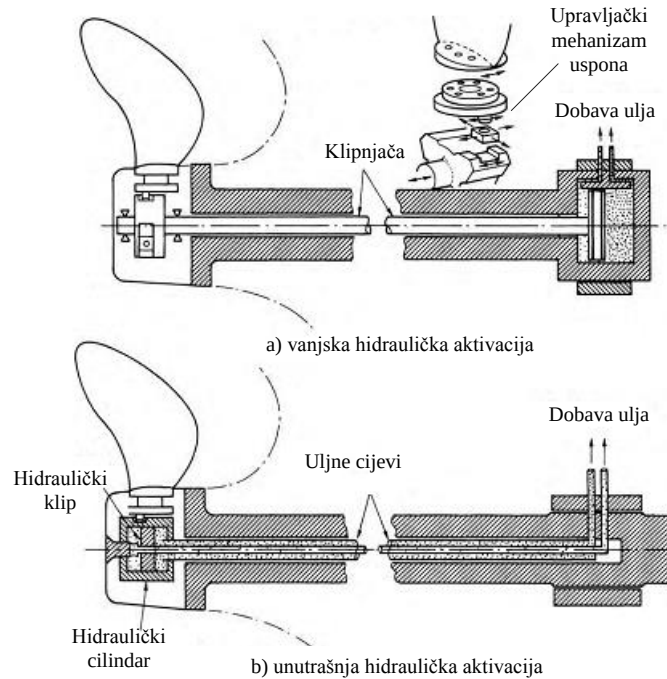
- jednostavnost izrade,
- male dimenzije glavčine,
- dizajniran za jednu točku rada,
- brzina broda mijenja se promjenom brojem okretaja porivnog stroja

(jedina radna varijabla je brzina vrtnje)

- Vijak s fiksnim krilima najviše se upotrebljava, najjeftiniji je, najmanje podložan kvarovima i ima najveći stupanj iskoristivosti.
- Brodski vijci s fiksnim krilima se lijevaju u jednom komadu zajedno s glavčinom. Oni se izrađuju iz legura bakra (olovna bronza, legura bakra, nikla i aluminija CuNiAl).
- Kutni položaj krila i uspon broskog vijka ne mogu se mijenjati tijekom rada. Oni su fiksirani zauvijek. To znači da kad brodski vijak radi u teškim uvjetima plovidbe, npr. u nevremenu, možda će zbog promjene u krivulji otpora vožnje doći do nepotpunog iskorištenja raspoložive snage motora.
- Većina brodova od kojih se ne traže dobra manevarska svojstva opremljena je danas brodskim vijcima s fiksnim krilima.

Vijak s zakretnim krilima (eng. *Controllable Pitch Propeller*; kratica *CPP*)

- Brodski vijak s zakretnim krilima osigurava dodatni stupanj slobode zbog mogućnosti promjene uspona krila radi promjene brzine broda i/ili smjera vožnje broda, te podešavanja brzine zbog savladavanja uvjeta otpora broda.



Ukoliko hidraulički sustav koji izvršava određenu funkciju višestruko uvećava silu aktiviranja tada se taj sustav naziva hidraulički servomehanizam ili servouređaj

- Nije mu potreban sustav za prekretanje stroja iz vožnje naprijed u vožnju krmom i obratno jer se osovina okreće uvijek u istom smjeru. Vožnja krmom ostvaruje se prekretanjem krila pomoću hidrauličnog servouređaja ugrađenog u glavčini vijka. Ovakvi vijci i uređaji skuplji su od običnih vijaka. Osim toga, nedostatak im je i taj što takvi vijci zbog lakšeg prekretanja krila redovito koriste krila s manjom površinom, a većim brojem okretaja vijka. Zbog toga po valovitom moru ovakvi brodovi više gube na brzini.

STEERING PROPULSION UNIT – SPU

Jedinice za propulziju i kormilaranje

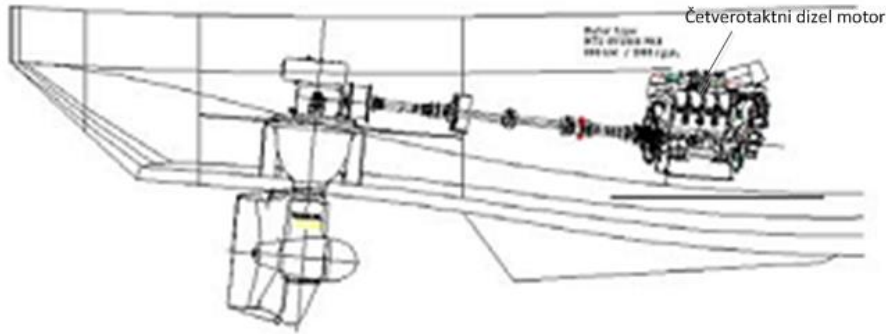
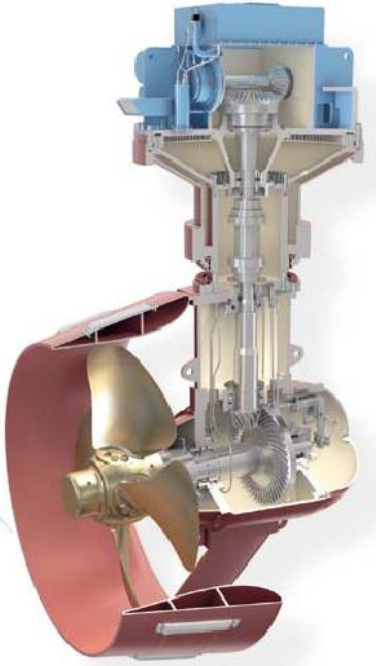
- Dvije podskupine: azimutne (*azimuthing*) SPU i nezazimutne SPU jedinice.
- Azimutne SPU jedinice ostvaruje silu poriva u bilo kojem smjeru (ali ne jednaku u svim smjerovima), tj. u području kutova od 0° do 360° .
- *Neazimutne SPU jedinice* ostvaruje (pri plovidbi pramcem) silu poriva samo u ograničenom području kutova unutar dva krmena kvadranta.

Brodski vijak u sapnici (eng. *Ducted propeller*)

- Vijak u sapnici primjenjuje se na brodovima koji moraju imati mali gaz, pa je vijak manji od optimalnog. Zadatak je sapnice poboljšanje stupnja korisnog djelovanja vijka.
- Razmak između vrhova krila i sapnice treba biti što manji (idealna bi bila izvedba bez zračnosti), jer se s većim razmakom potpuno gubi povoljno djelovanje sapnice. Ovaj razmak, u ovisnosti o promjeru vijka, može biti od 2 do 10 mm.

Brzina broda: promjenom brzine propulzijskog motora (FPP) ili CPP vijkom.

Vožnja krmom: zakretanjem jedinice pomoću hidrauličkog sustava.



Uobičajena izvedba



Prednosti:

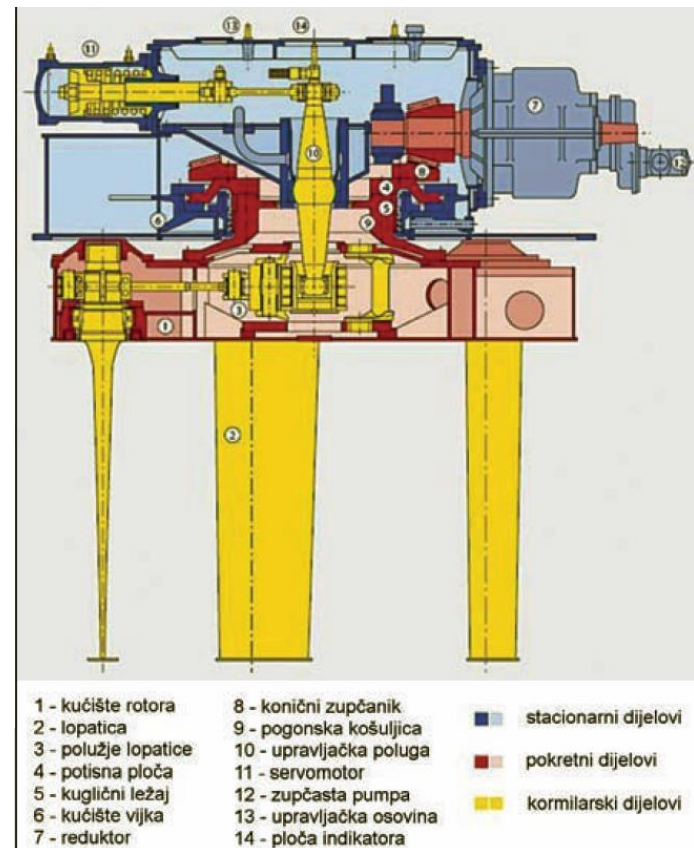
- dobro upravljanje smjerom poriva,
- nije potreban kormilo uređaj,
- povećavaju se manevarske sposobnosti broda.
- može se koristiti vijak s fiksnim i zakretnim krilima.

Nedostaci:

- mehanička složenost,
- za manje brzine od 20 Nm/h.

VOITH-SCHNEIDEROV porivni uređaj (cikloidni vijak)

- Sastoji se od četiri do šest krila raspoređenih po obodu okomito na ploču vodoravnoga rotirajućeg kotača.
- Rotacijom kotača voda struji oko lopatica i stvara poriv, čija veličina i smjer ovise o položaju lopatica.



Brzina broda: promjenom brzine porivnog stroja ili uspona krila.

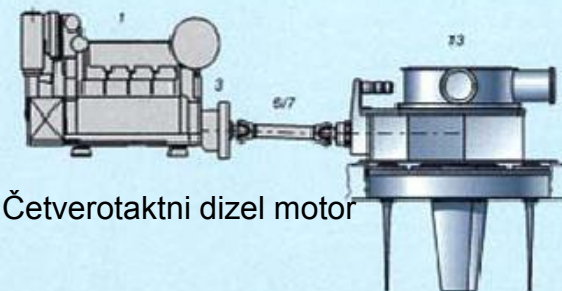
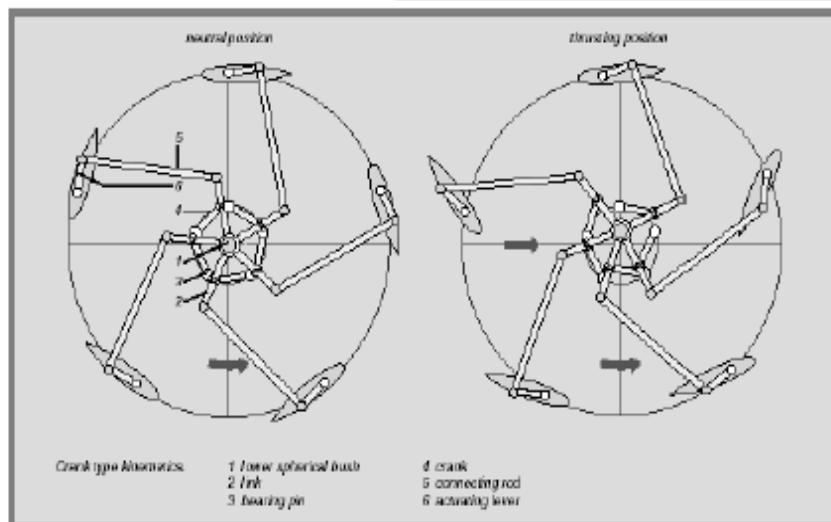
Vožnja krmom: zakretanjem krila u smjeru za vožnju krmom pomoću hidrauličkog sustava.

Prednosti:

- dobro upravljanje smjerom poriva,
- nije potreban kormilo uređaj,
- povećavaju se manevarske sposobnosti broda.

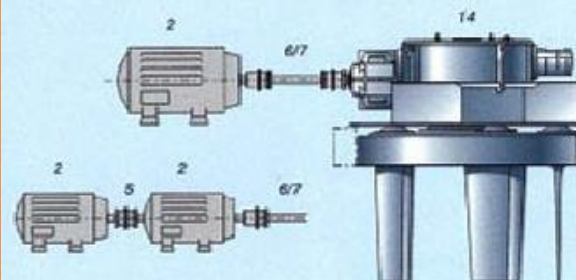
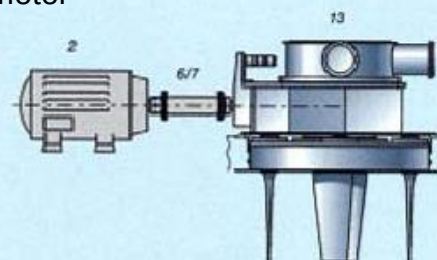
Nedostaci:

- mehanička složenost,
- za manje brzine od 20 čv.



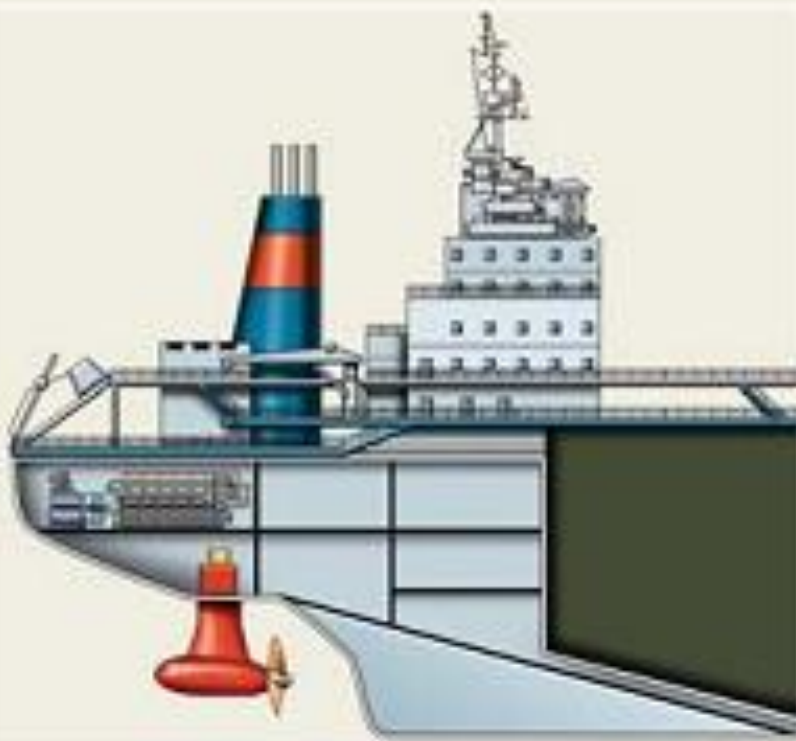
Četverotaktni dizel motor

Elektromotor



Polužje za zakretanje krila
Voith – Schneiderovog
propelera

Isključiva primjena kod dizel-električkog propulzijskog sustava.



Azimutning propulsion drive (Azipod)

Brzina broda: promjenom brzine porivnog elektromotora (električna regulacija)

Vožnja krmom: prekretom elektromotora ili zakretanjem jedinice pomoću hidrauličkog sustava.

- Azipod sustav prikladan je za snage propulzijskog motora do 25 MW i za brzine vrtnje 0-200 o/min.
- **Prednosti azimutalnog propulzijskog sustava su :**
 - mehanički je jednostavniji od ostalih tipova propulzijskih sustava, jer se izostavljaju dugačke osovine, ležajevi, kormilarski zupčanici, kormila, reduktori, a nema ni složenih propelera s prekretnim krilima;
 - znatno poboljšanje manevarskih sposobnosti;
 - smanjena potrošnja energije, manji troškovi održavanja i manje zagađenje okoliša;
 - propulzijske karakteristike pri vožnji naprijed ili nazad su gotovo iste, te je pogodan male i velike brzine neovisno o vremenskim uvjetima plovidbe;
 - znatno smanjenje buke i vibracija brodskog trupa;
 - omogućena je ušteda prostora za ostale potrebe brodskog postrojenja;
 - mogućnost ugradnje svega 2 tjedna prije porinuća broda što znatno olakšava ugradnju i smanjuje troškove proizvodnog procesa broda.

- **Nedostaci ovog sustava:**

- veća početna financijska ulaganja;
- potrebna je promijenjena konstrukcija brodskog trupa zbog karakterističnog položaja pogonske gondole van broda o čemu treba voditi računa prije konstruiranja broda;
- u slučaju većeg kvara na propulzijskom motoru nužno je vađenje broda na kopno zbog popravka što znatno poskupljuje postupak servisiranja.

SSP azimutalni sustav

- Za razliku od klasičnog azimutalnog pogona gdje postoji jedan vijak s četiri krila kod SSP (Siemens-Schottel Propulsion) izvedbe koriste se dva vijka s tri krila. Sastoji se od azimutalnog i porivnog modula. Vijci su smješteni na početku i na kraju porivnog dijela. Krila se okreću u istom smjeru, te su opterećenja među propelerima maksimalno iskoristiva.



Siemens-Schottel SSP propulsion system

Propulzijski modul konstruiran tako da je omogućeno njegovo sklapanje i rasklapanje dok je brod u moru, pa nije potrebno vađenje broda zbog servisiranja.

- **Prednosti:**

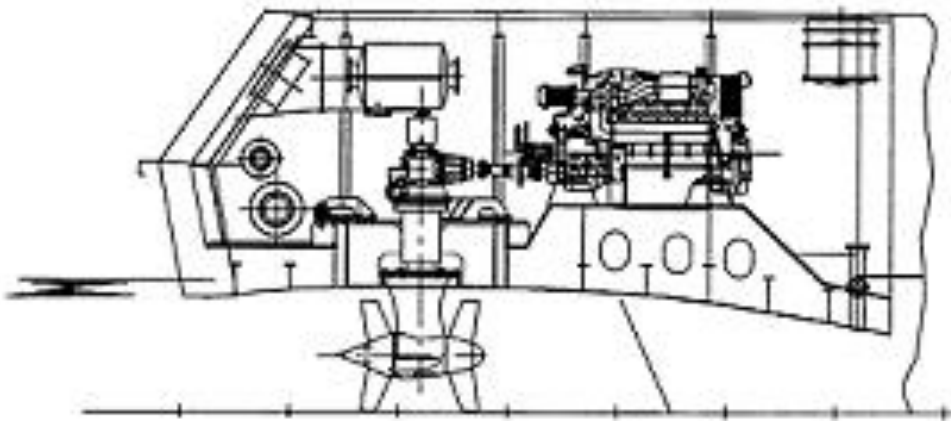
- dobro upravljanje smjerom poriva,
- nije potreban kormilo uređaj,
- povećavaju se manevarske sposobnosti broda.

- **Nedostaci:**

- mehanička složenost,
- za manje brzine od 24 čv.

Brzina broda: promjenom brzine porivnog elektromotora (električka regulacija) ili porivnog četverotaktnog dizel motora.

Vožnja krmom: prekretom porivnog stroja ili zakretanjem jedinice pomoću hidrauličkog sustava.



Izvedba s četverotaktnim dizel motorom kao porivnim strojem



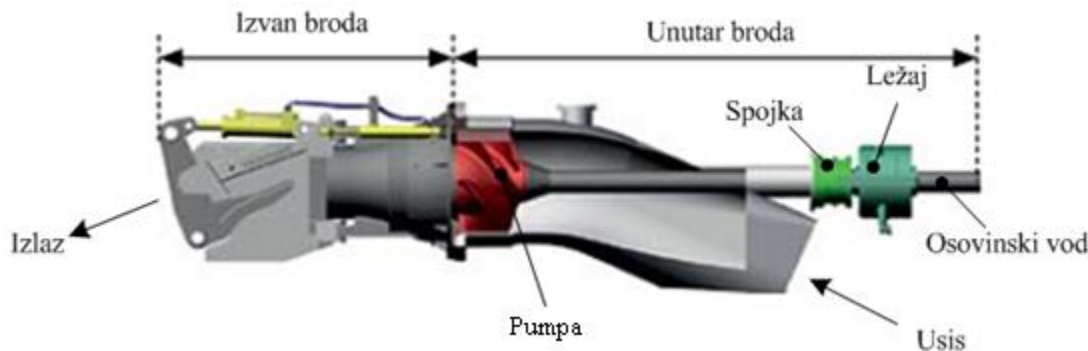
Izvedba s elektromotorom kao porivnim strojem
(dizel-električki propulzijski sustav)

Propulzija vodenim mlazom (eng. *Waterjet*)

Ubrzava vodu koristeću pumpu koja se nalazi unutar broda, umjesto da koristi vijak koji se nalazi izvan broda.

Voda se usisava na dnu broda, ubrzava u pumpi i izbacuje na krmu stvarajući potisak ili poriv. Vrlo je dobra upravljivost. Unutarnja površina pumpe i brzine su jako velike, što ima za posledicu velike gubitke, pa je stupanj korisnog djelovanja manji nego kod otvorenog vijka.

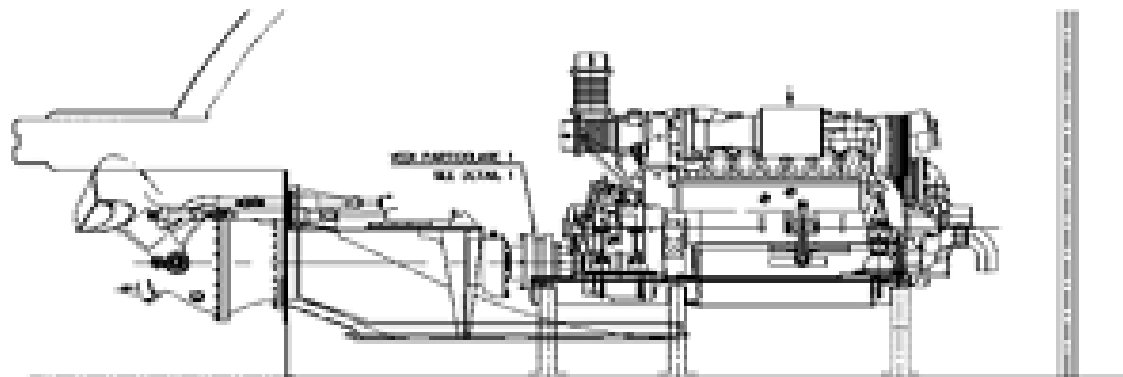
Ugradnjom jet (vodomlaznog) propulzora na vrlo brze poludeplasmanske brodove (> 30 čv.), istisnine veće od 100 tona ukupna, iskoristivost propulzije veća je nego za konvencijonalni otvoreni vijak.



Brzina broda: promjenom brzine porivnog stroja (četverotaktni dizel motora ili plinska turbina).

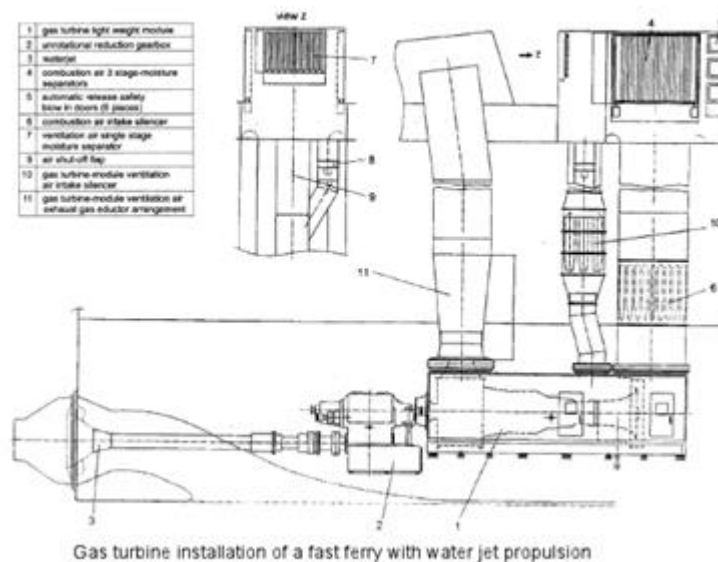
Vožnja krmom: preketom usmjerivača pomoću hidrauličkog sustava





Porivni stroj četverotaktni dizel motor

2.3 Installation on board



Porivni stroj plinska turbina

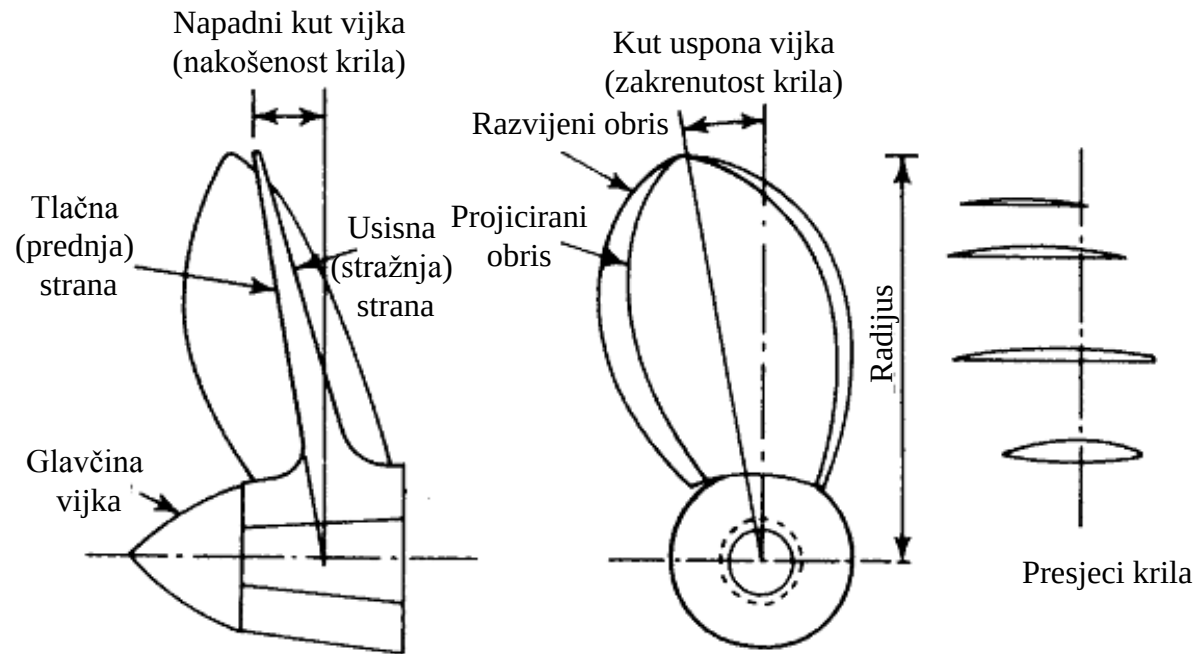
Dimenzije brodskog vijka

Osnovni pojmovi koji karakteriziraju vijak

- *Dijametar vijka d* je promjer opisanog kruga oko vrhova krila. Promjer brodskog vijka d ima veliki utjecaj na korisnost pogona broda. Za veću korisnost pogona broda odabire se uvijek brodski vijak s čim većim promjerom. Gaz broda i smještaj (oblik krme broda, izvedba kormila i potrebna minimalne zračnosti između krila vijka i trupa broda) određuju mogući maksimalni promjer. Zbog ograničenja u čvrstoći materijala i proizvodnim kapacitetima, promjer brodskih vijaka ne prelazi 10 m, a snaga za pogon jednog brodskog vijka ne prelazi 90 MW. Najveći promjer vijka do sada proizveden je 11 m s četiri krila.
- *Uspon vijka p* (eng. *Pitch*) je linearni je pomak koji vijak prođe u jednom punom okretu za 360° . Korak ovisi o kutu usponu krila, tj. veći kut veći uspon. Kako se uspon može mijenjati po visini krila, obično se uspon uzima na 70% radiusa krila (gdje je $r \approx d/2$). Tako npr., kod brodova za rasute terete uzima se uspon obično na $r=0,65d$, a na kontejnerskim brodovima na $r=0,74d$.
- Omjer *uspona* (eng. *pitch*) i *promjera* brodskog vijka p/d ima isto tako značajni utjecaj na korisnost brodskog vijka.

- S obzirom na karakteristike vode kao tekućine postoji gubitak u koraku koji se zove se *skliz S* (eng. *Slip*). Skliz je najveći u početku kada vijak kreće, a brod još stoji. On iznosi od 10% pa naviše. Najveći je u početku kada stroj tek zaveze, a brod još uvijek stoji. Tada iznosi 100%. Kako se brzina povećava skliz se postepeno smanjuje i najmanji je kod optimalne brzine pri mirnom vremenu. Skliz uglavnom ovisi o brzini, broju okretaja vijka, podvodnom obliku broda (glavnom o otporu broda), usponu vijka itd. Manji je kod manjeg broja okretaja vijka. Kod naročito opterećenih vijaka, npr. tegljača, poželjno je da broj okretaja bude manji, a površina krila veća. Osim toga, brodovi s većom površinom krila i manjim brojem okretaja manje gube na brzini pri lošim vremenskim uvjetima. Takvi brodovi bolje se zaustavljaju vozeći krmom, tj. imaju kraći zalet. Kako se brzina broda povećava skliz se postepeno smanjuje. Kod opterećenijih vijaka, poželjno je da broj okretaja bude manji, a površina krila veća.
- *Brzina napredovanja vijka v_A* (eng. *speed of advance*), tj. brzina pritjecanja čestica vode vode vijku, a koja se daje kao prosječna brzina na cijeloj površini vijka. Naime, kada brod plovi u moru, oko njega se stvara pojas vode koju brod «vuče» za sobom zbog viskoznog trenja. Brzina kojom ova voda nastrujava brodski vijak je manja od brzine plovidbe broda.

- *Kut uspona vijka* , tj. zakrenutost krila (eng. *Skew*).
- *Napadni kut vijka*, tj. nakošenost krila (eng. *Rake*).



- *Ulazni i izlazni brid vijka*-Ulazni brid onaj je koji zahvaća vodu, te je preko tlačne plohe lista potiskuje prema izlaznom bridu.
- *Usisna strana* vijka –strana okrenuta prema pramcu. Na njoj se javlja podtlak.
- *Tlačna strana* vijka strana krenuta prema krmi. To je područje višeg tlaka. Ova strana zahvaćenoj vodi daje ubrzanje i potiskuje je prema krmi. Na njoj je područje visokog tlaka.
- Razlikujemo *desnookretne* i *lijevookretne* vijke.

- *Broj krila:* Brodski vijci sa samo 2 krila se koriste na malim brodovima. Veliki brodovi koriste brodske vijke s 4, 5 ili 6 krila. Većina trgovačkih brodova s manjom brzinom plovidbe ima brodske vijke s 4 krila. Brzi brodovi s većim opterećenjem broskog vijka, npr. kontejnerski brodovi, imaju brodske vijke s 5 ili 6 krila.

Brzina broda i skliz

- Uspon je udaljenost koju bi prešao brodski vijak probijanjem kroz vodu bez klizanja za jedan puni okretaj. Kako se uspon može mijenjati po visini krila, obično se uspon uzima na 70% radiusa krila (gdje je $r \approx d/2$).
- Kada bi voda bila "čvrst" medij, korak bi bio potpun, a brzina broda v u [m/s] bi bila jednaka koraku p pomnoženom s brojem okretaja vijka n .

$$v = p \cdot n$$

- Međutim, u vodi koja nije "čvrst" medij, korak nema punu vrijednost.
- Gubitak u koraku zove se *skliz* ili *slip* (*prividna razlika brzina*).
- On iznosi od 10% pa naviše. Skliz je najveći u početku kada stroj tek zaveze, a brod još uvijek stoji. Tada iznosi 100%. Kako se brzina povećava skliz se postepeno smanjuje i najmanji je kod optimalne brzine pri mirnom vremenu. Skliz uglavnom ovisi o brzini, broju okretaja vijka, podvodnom obliku broda (uglavnom o otporu broda), usponu vijka itd. Skliz je manji kod manjeg broja okretaja vijka.

- Obzirom da pri radu brodskog vijka u vodi imamo prividnu razliku brzina, tj. skliz jednak:

$$\Delta v = p \cdot n - v$$

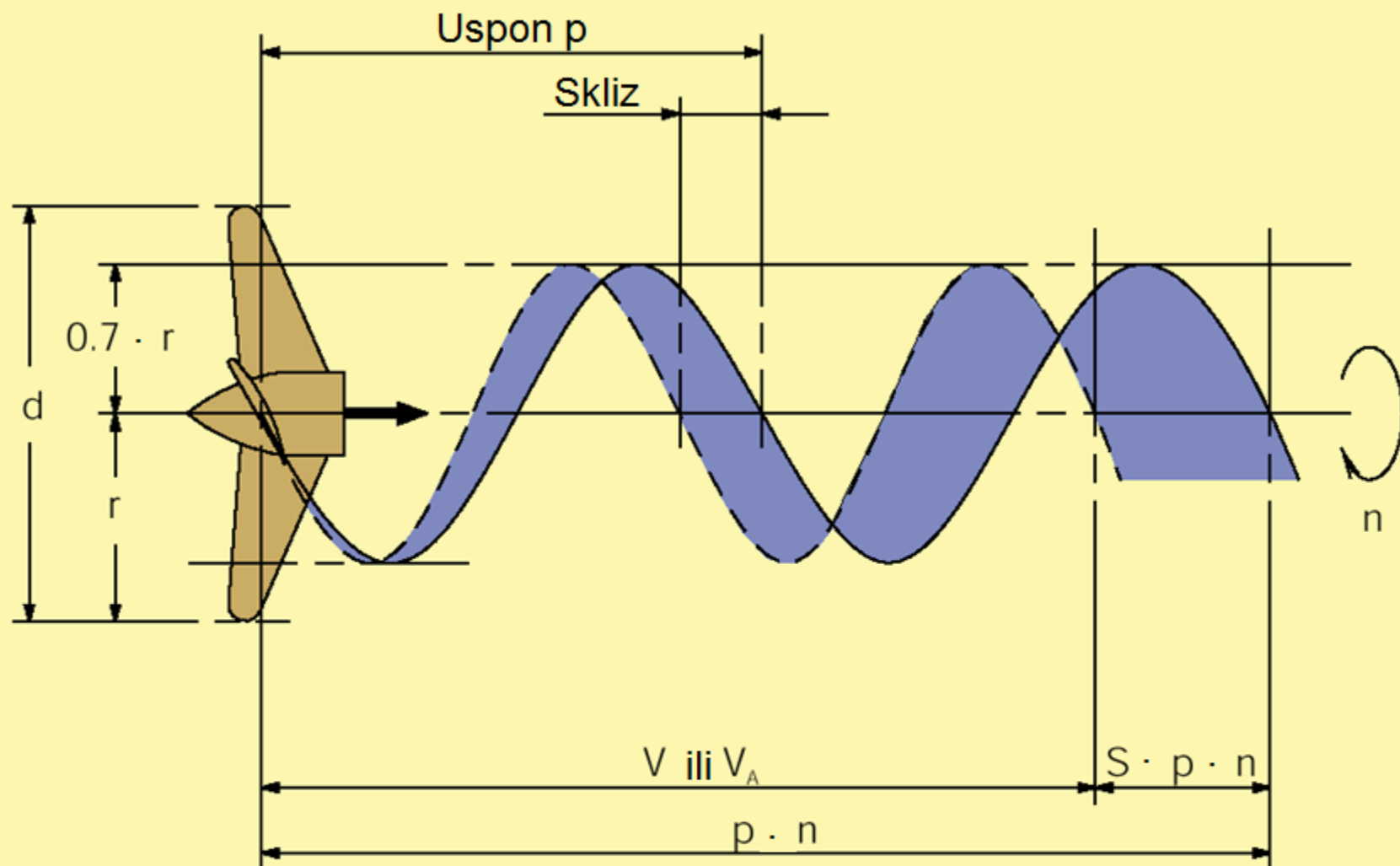
tada možemo koeficijent prividnog skliza prikazati kao:

$$S_A = \frac{\Delta v}{p \cdot n} = \frac{p \cdot n - v}{p \cdot n} = 1 - \frac{v}{p \cdot n}$$

- *Koeficijent prividnog skliza S_A* indicira nam opterećenja brodskog vijka u različitim uvjetima rada. S_A se povećava s opterećenjem brodskog vijka, npr. pri plovidbi uz vjetar ili valove, što znači da je tada potrebno povećati brzinu vrtnje brodskog vijka da bi održali jednaku brzinu broda.

- *Koeficijent stvarnog skliza* S_R je veći od koeficijenta prividnog skliza S_A jer je stvarna brzina napredovanja brodskog vijka v_A manja od brzine broda v . Koeficijent stvarnog skliza daje nam točniju sliku o radu brodskog vijka. On se definira kao:

$$S_R = \frac{p \cdot n - v_A}{p \cdot n} = 1 - \frac{v_A}{p \cdot n}$$



Koeficijent prividnog skliza : $S_A = \frac{p \cdot n - V}{p \cdot n} = 1 - \frac{V}{p \cdot n}$

Koeficijent stvarnog skliza : $S_R = \frac{p \cdot n - V_A}{p \cdot n} = 1 - \frac{V_A}{p \cdot n}$

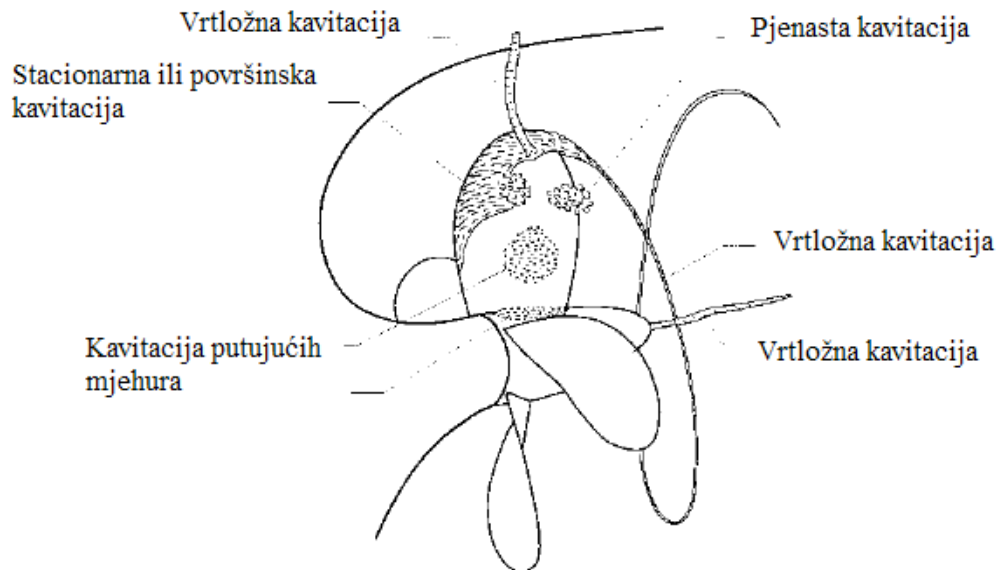
Gibanje brodskog vijka i prikaz skliza

- Da bi postigli što višu korisnost propulzije za zadani promjer brodskog vijka potrebno je naći najpogodniji omjer uspona i promjera obzirom na brzinu vrtnje brodskog vijka. Kod manje brzine vrtnje potrebno je povećati omjer uspona i promjera i obrnuto.
- Ako želimo održati nisku brzinu vrtnje i ako to gaz omogućava, odabire se čim veći promjer brodskog vijka. Istovremeno nam se povećava i korisnost propulzije.

Kavitacija

- Kod hidrodinamičkog strujanja realnih tekućina pojam *kavitacija* se može općenito shvatiti kao dinamički proces stvaranja i implozije šupljina unutar strujnog toka koje su ispunjene parama kapljevine, a koje nastaje u područjima niskog tlaka.
- Uslijed pada tlaka vode oko krila vijka na vrijednost tlaka isparavanja vode pojavljuju se mjehurići pare, tj. kavitacija.
- Mjehurići pare bivaju nošeni u područje višeg tlaka, gdje implodiraju (ponovo se pretvaraju u kapljevitu fazu) pri čemu ako implodiraju u blizini krila vijka dolazi i do oštećenja stjenke vijka.
- Pri tome, kavitacija se prvo javlja na vrhovima krila gdje je najveća brzina strujanja.
- Kavitacija je općenito štetna pojava koja uzrokuje tlačne udare u strujom toku kapljevine, a što dovodi do stvaranja mehaničkih vibracija, buke, erozije materijala te smanjenje hidrodinamičkog stupnja djelovanja.
- **Posljedice kavitacije:**
 - 1) Pad učinkovitosti propelera
 - 2) Oštećenja vijka i trupa broda
 - 3) Vibracije
 - 4) Buka

Vrste kavitacije



Primjer vrtloga s efektom piruete između broskog trupa i broskog vijka na podtrupnoj propulzijskoj jedinici



Fotografija vrtložne kavitacije vrha lopatica i glavčine broskog vijka

