

Naziv kolegija :

# **PORIVNI SUSTAVI MALIH BRODOVA (S)**

## **PROPULSION SYSTEMS OF SMALL SHIPS**

Zagreb, 2010. god.

Prof.dr. sc. Ante Šestan

# **BROD - OSNOVNI POJMOVI**

- **BROD**

SLOŽENI TEHNIČKI PLOVNI OBJEKT KOJEMU NJEGOVA **SVOJSTVA, OBLIK I VELIČINA** OMOGUĆAVAJU SIGURNU PLOVIDBU U ZADANOM SMJERU RADI OBAVLJANJA POSTAVLJENOG ZADATKA.

- **PODJELA BRODOVA PREMA VELIČINI (DULJINI)**

- *Mali brodovi*  $L \leq 50$  (75m)
- *Srednji brodovi*  $L = 75 - 100$  m
- *Veliki brodovi*  $L = 100 - 250$  m
- *Vrlo veliki brodovi ("mamut brodovi")*  $L > 250$  m

# SVOJSTVA BRODA

## *NAVIGACIJSKA SVOJSTVA*

- **Plovnost broda:** Sposobnost broda da plovi (pluta) na određenoj VL kod zadanog opterećenja
- **Stabilitet broda:** Sposobnost broda da se odupire djelovanju vanjskih sila koje ga nastoje izbaciti iz položaja ravnoteže.
- **Nepotonivost broda:** Sposobnost broda da ostane na površini (sačuva plovnost i stabilitet) pri naplavljivanju jednog ili više nepropusnih prostora.
- **Usmjerenost njihanja:** Sposobnost broda da se suprotstavi velikim i naglim amplitudama na valovima.
- **Upravlјivost broda:** Sposobnost broda da održava ili mijenja pravac kretanja djelovanjem kormila ili drugih uređaja za upravljanje.
- **Gibanje broda:** Sposobnost broda da plovi zadanom brzinom pod djelovanjem sile poriva.

## EKSPLOATACIJSKA SVOJSTVA

- **Nosivost:** Sposobnost broda da primi određenu masu tereta pri određenom gasu. (T).
- **Zapremina:** Obujam brodskog prostora koji je namjenjen za smještaj tereta. Mjeri se u  $m^3$  ili u RT. (1 RT = 2,83  $m^3$ ).
- **Brzina:** Sposobnost broda da za određeno vrijeme prevali neki put. Mjeri se u  $\check{c}v$  ili km/h (brodovi unutrašnje plovidbe).

$$1 \check{c}v = 1 \text{ n.m./h} = 1852 \text{ m/h}$$

- **Autonomnost plovidbe:** Vrijeme u kojem brod može sigurno ploviti, a da na dopunjava zalihe goriva, maziva, vode i ostalu opskrbu.
- **Čvrstoća trupa:** Sposobnost konstrukcije broda da se pod djelovanjem vanjskih sila ne deformira više od dozvoljene granice.

- Eksploatacijske značajke suvremenih malih brodova :
  - relativno velika brzina plovidbe u otplovu i doplovu
  - relativno velike sile tegljenja u režimu radnih operacija,
  - povećana autonomija plovidbe,
  - fleksibilnost porivnog i energetskeg sustava,
  - dobra upravljivost kod malih brzina plovidbe,
  - povećana sigurnost i pouzdanost,
  - smanjeni operativni troškovi, troškovi održavanja i amortizacije,
  - energetska učinkovitost i ekološka prihvatljivost.

## *TEHNIČKO-EKONOMSKA SVOJSTVA*

- **Cijena gradnje**
- **Cijena eksploatacije**
- **Cijena prijevoza tereta i putnika**

# ***FUNKCIONALNE CJELINE BRODA***

- + BRODSKI TRUP SA BRODSKIM PROSTORIMA I OPREMOM BRODA**
- + NAVIGACIJSKI SUSTAV**
- + ENERGETSKI SUSTAV**
- + PORIVNI (POGONSKI) SUSTAV**

# ***BRODSKA FORMA***

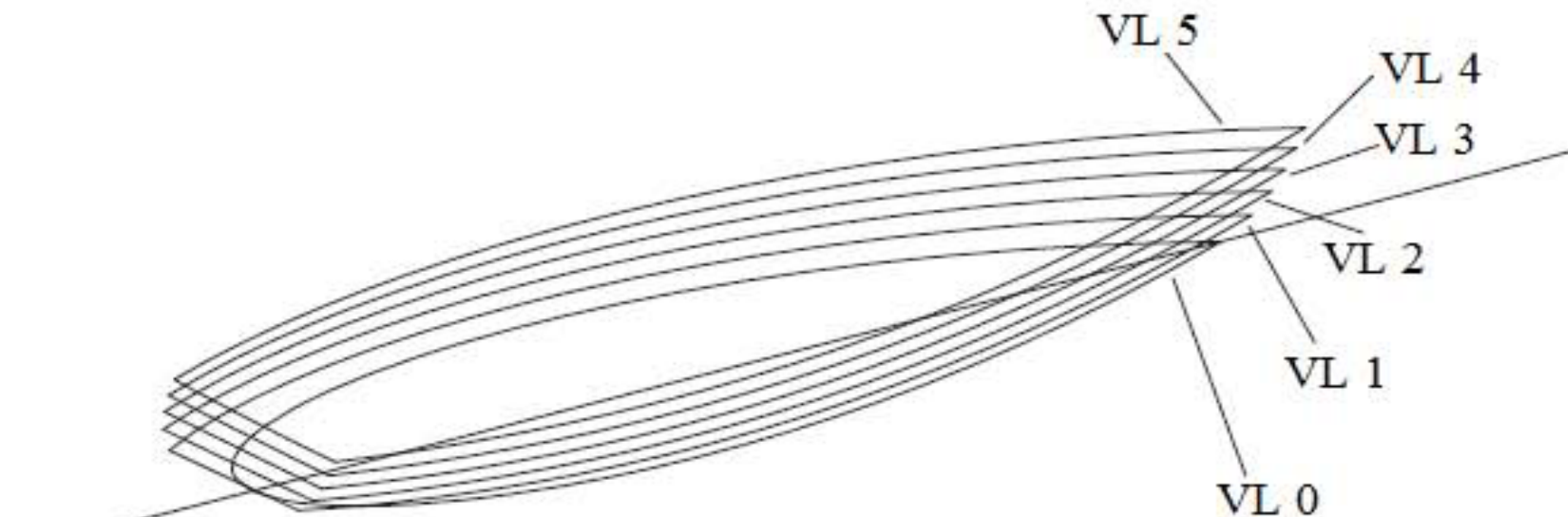
- SKUP KARAKTERISTIČNIH PARAMETARA (ZNAČAJKI) KOJI(E) OPISUJU I DEFINIRAJU OBLIK BRODA I NJEGOVA SVOJSTVA.
- OBLIK BRODA (OBLIK FORME TRUPA) ODREĐEN JE SA OBLIKOM REBARA, PRAMCA I KRME.
- ***BRODSKE LINIJE***  
BRODSKE LINIJE SLUŽE ZA PREDOČAVANJE BRODSKE FORME.  
BRODSKE LINIJE PREDSTAVLJAJU TRAGOVE KARAKTERISTIČNIH PRESJEKA BRODSKE FORME SA SUSTAVOM PARALELNIH RAVNINA.



# VODNE LINIJE

- TRAGOVI PRESJEKA BRODSKE FORME SERIJOM PARALELNIH VODORAVNIH RAVNINA PROJICIRANI U TLOCRT.

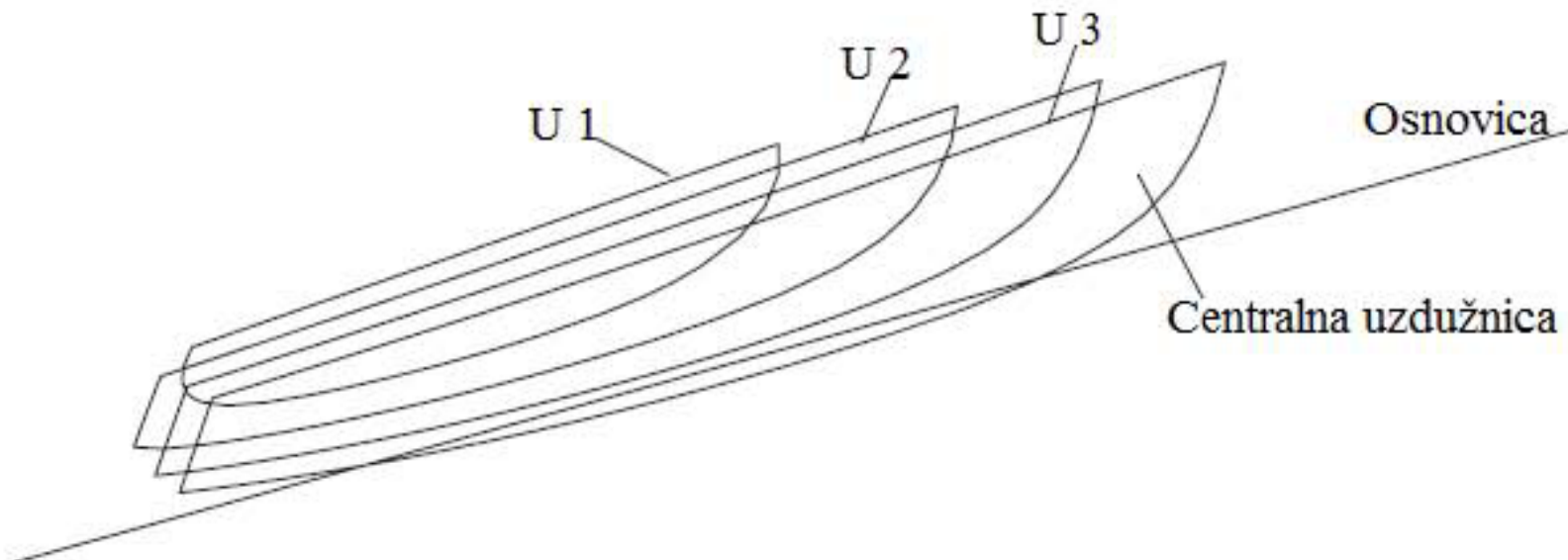
VODNE LINIJE - tragovi presjeka trupa broda s ravninama koje su paralelne s osnovicom



# UZDUŽNICE

- TRAGOVI PRESJEKA BRODSKE FORME SA SERIJOM OKOMITIH RAVNINA PARALELNIH SA RAVNINOM SIMETRIJE BRODA PROJICIRANI U NACRT.

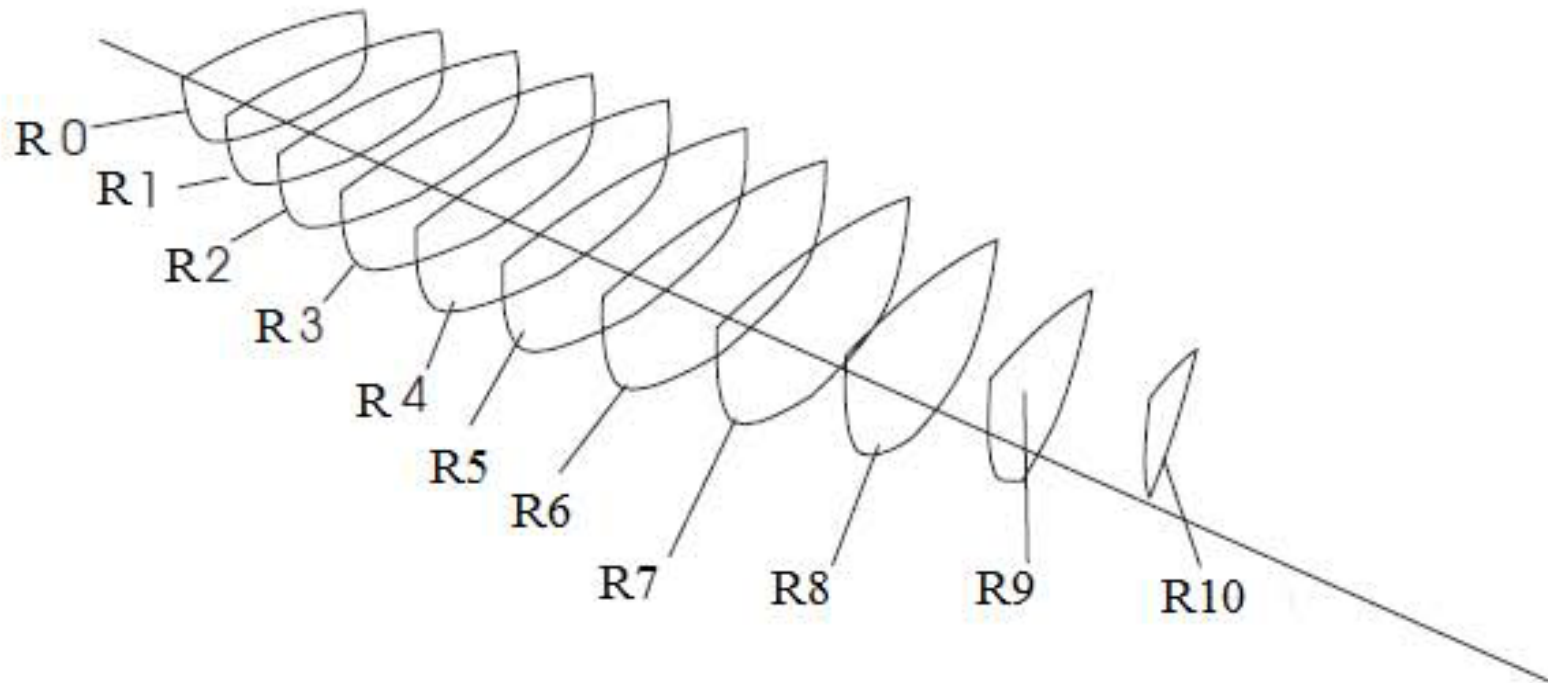
UZDUŽNICE - presjeci forme trupa broda s ravninama paralelnim s centralnom uzdužnom ravninom



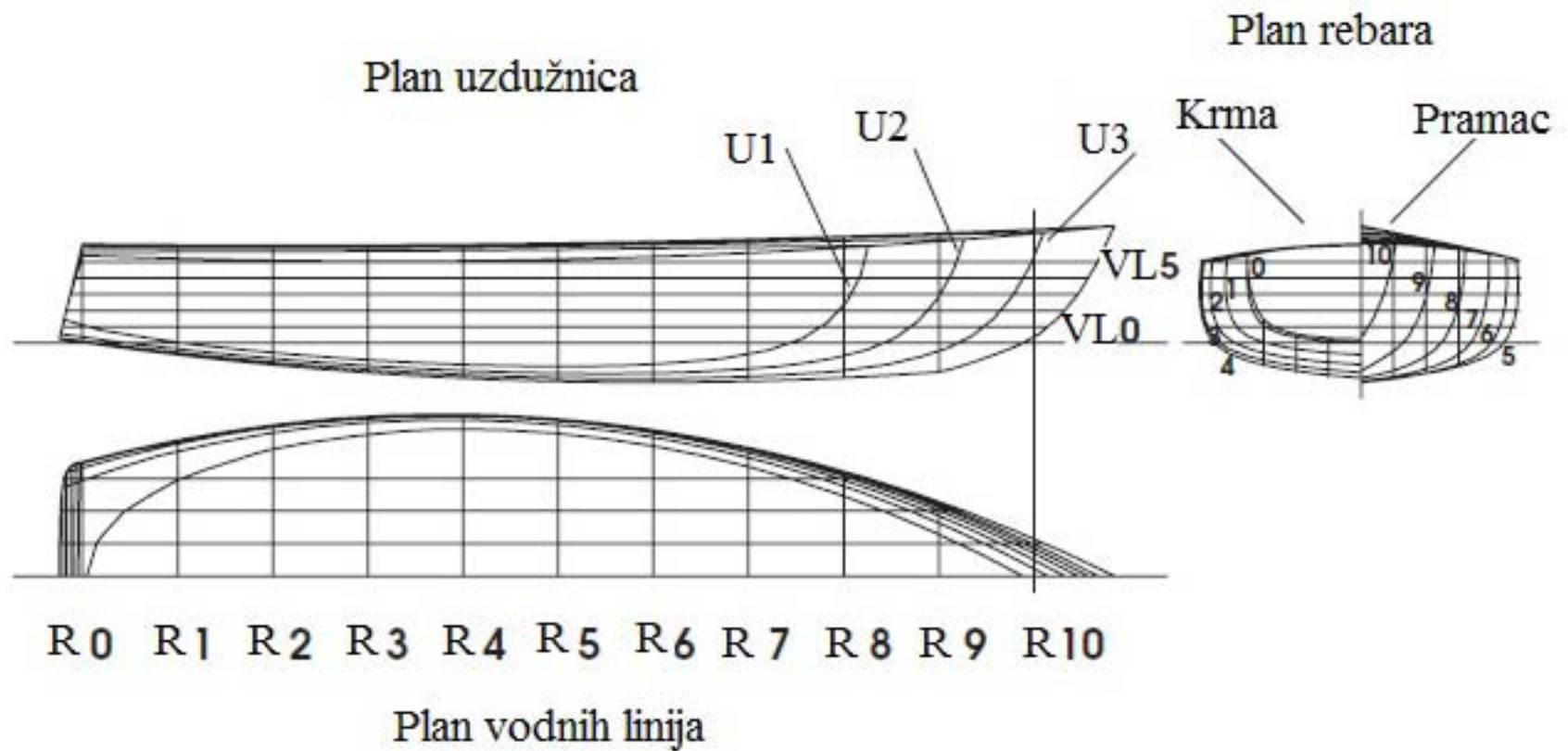
# REBRA

- TRAGOVI PRESJEKA BRODSKE FORME (OPLATE BRODA) SA RAVNINAMA KOJE SU OKOMITE NA OSNOVICU BRODA I PARALELNE SA GLAVNIM REBROM.

REBRA - tragovi presjeka trupa broda s ravninama okomitim na osnovicu broda



# NACRT BRODSKIH LINIJA



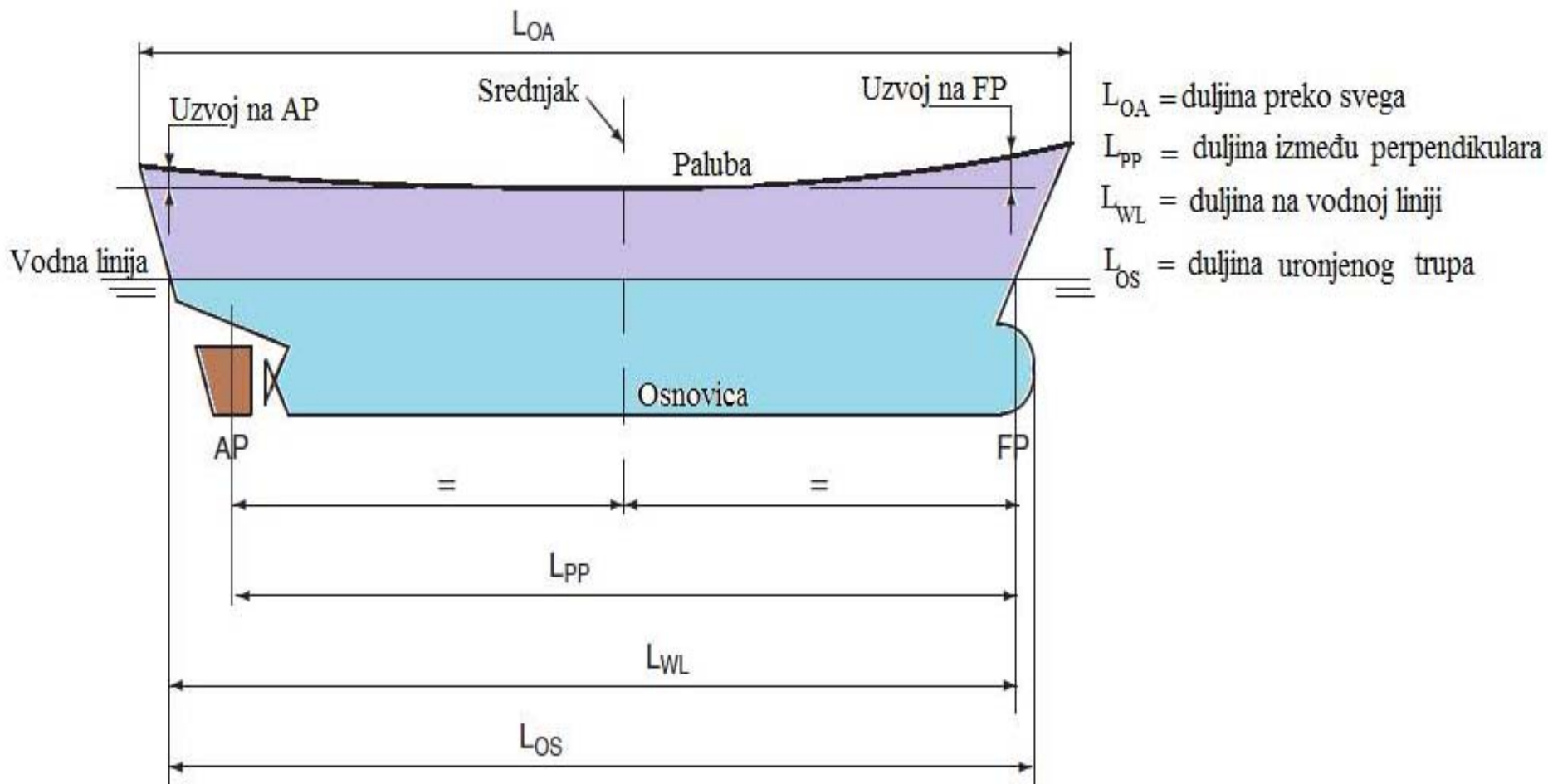
## ● **PARAMETRI TRUPA BRODA**

- GLAVNE DIMENZIJE I NJIHOVI MEĐUSOBNI ODNOSI
- KOEFICIJENTI BRODSKE FORME
- ISTISNINA BRODA I NJEZINO TEŽIŠTE
- KRIVULJA POVRŠINE REBARA
- POLOŽAJ TEŽIŠTA BRODA

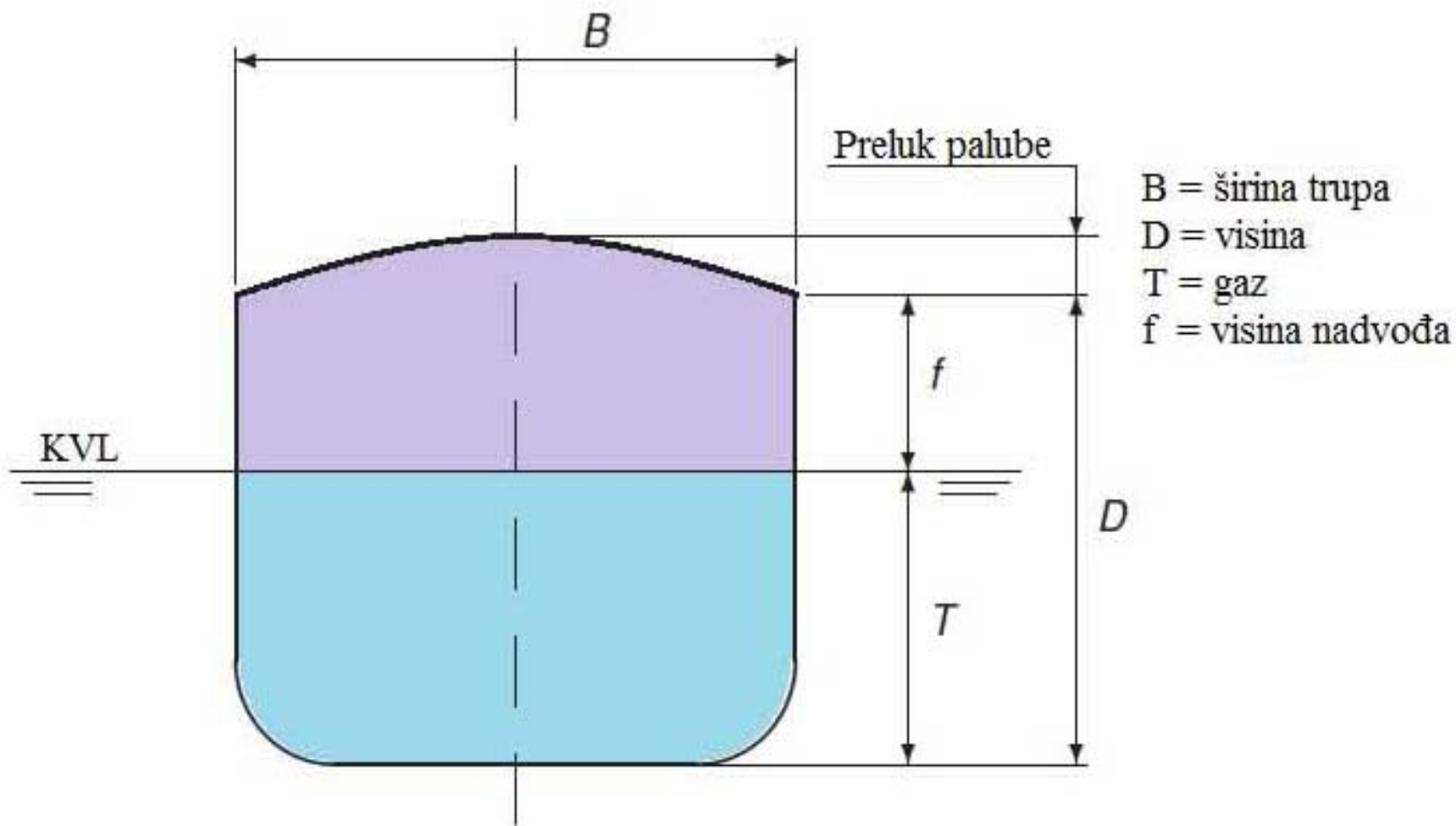
## ● **GLAVNE DIMENZIJE TRUPA**

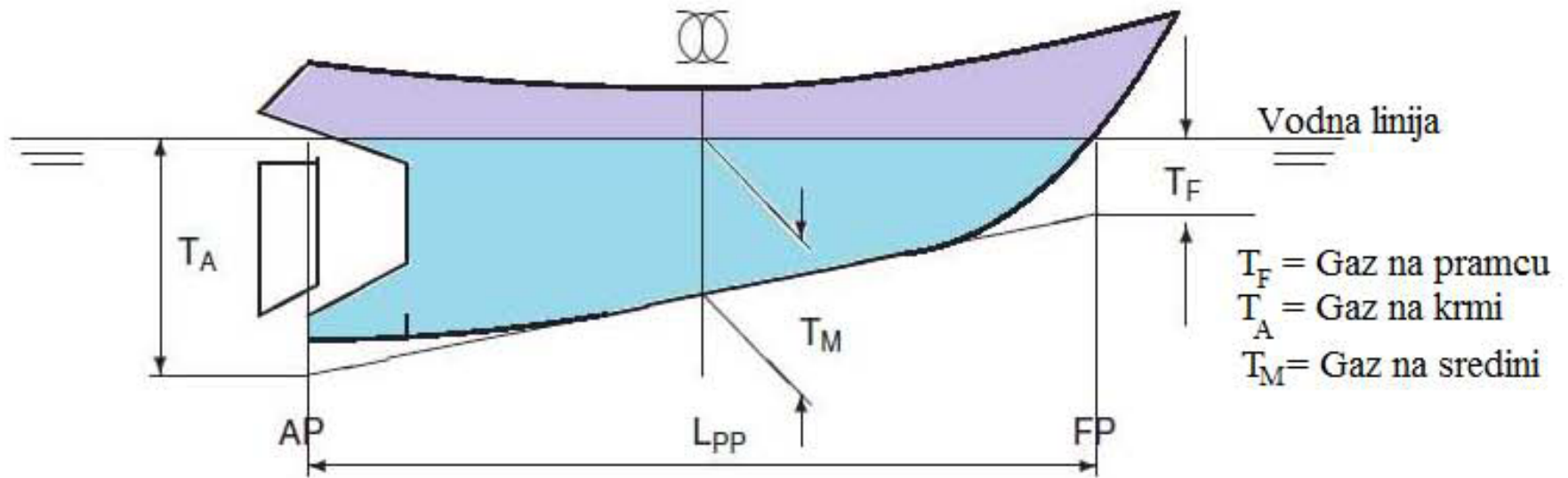
- DIMENZIJA DULJINE :  $L_{OA}$  ,  $L_{PP}$  ,  $L_{KVL}$  ,
- DIMENZIJA ŠIRINE :  $B_{KVL}$  ,  $B_{MAX}$  ,  $B$  ,
- DIMENZIJE VISINE :  $H$  ,  $T$  ,  $(T_P , T_K)$

# DIMENZIJE TRUPA BRODA- DULJINE



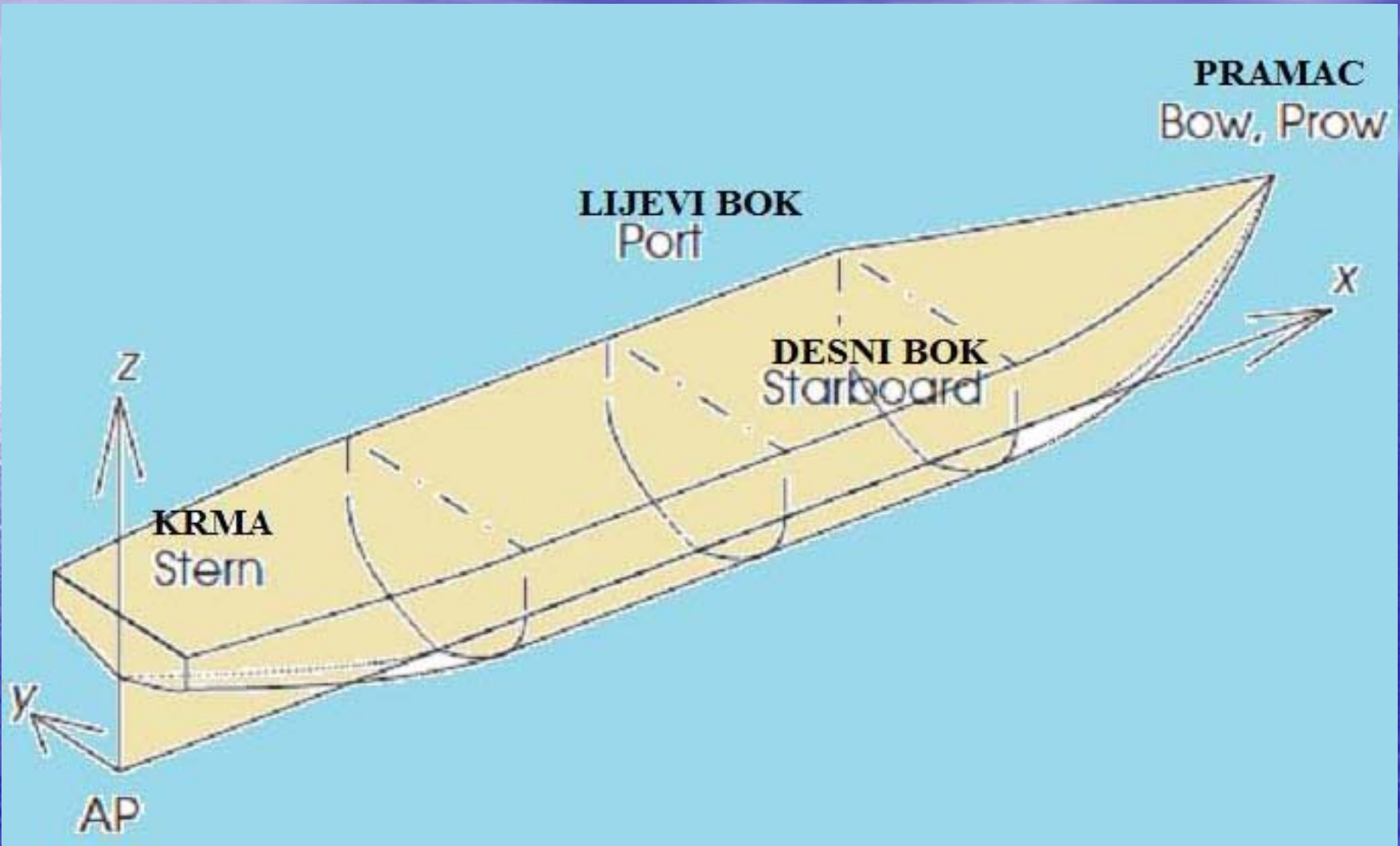
# DIMENZIJE TRUPA BRODA- VISINA, ŠIRINA, GAZ







# STANDARD OZNAČAVANJA, KOORDINATNI SUSTAV

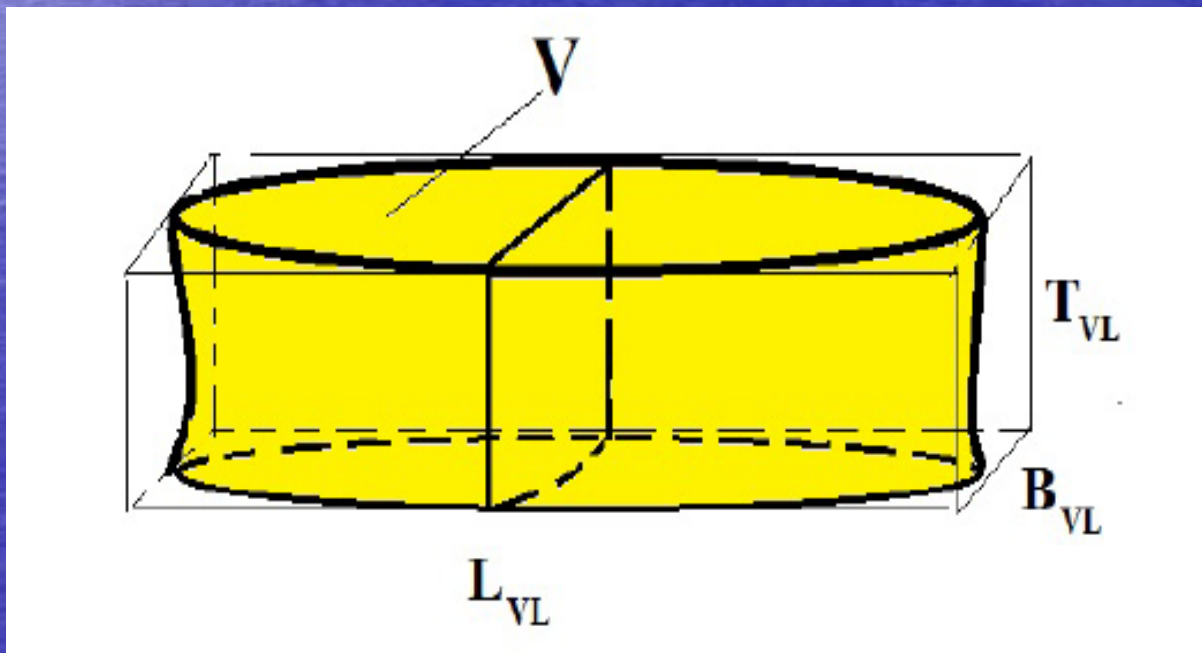


# KOEFICIJENTI BRODSKE FORME

KOEFICIJENTI BRODSKE FORME SU OMJERI POVRŠINA PRESJEKA ILI VOLUMENA TRUPA BRODA PREMA POVRŠINAMA ILI VOLUMENIMA GEOMETRIJSKIH LIKOVA ILI TIJELA.

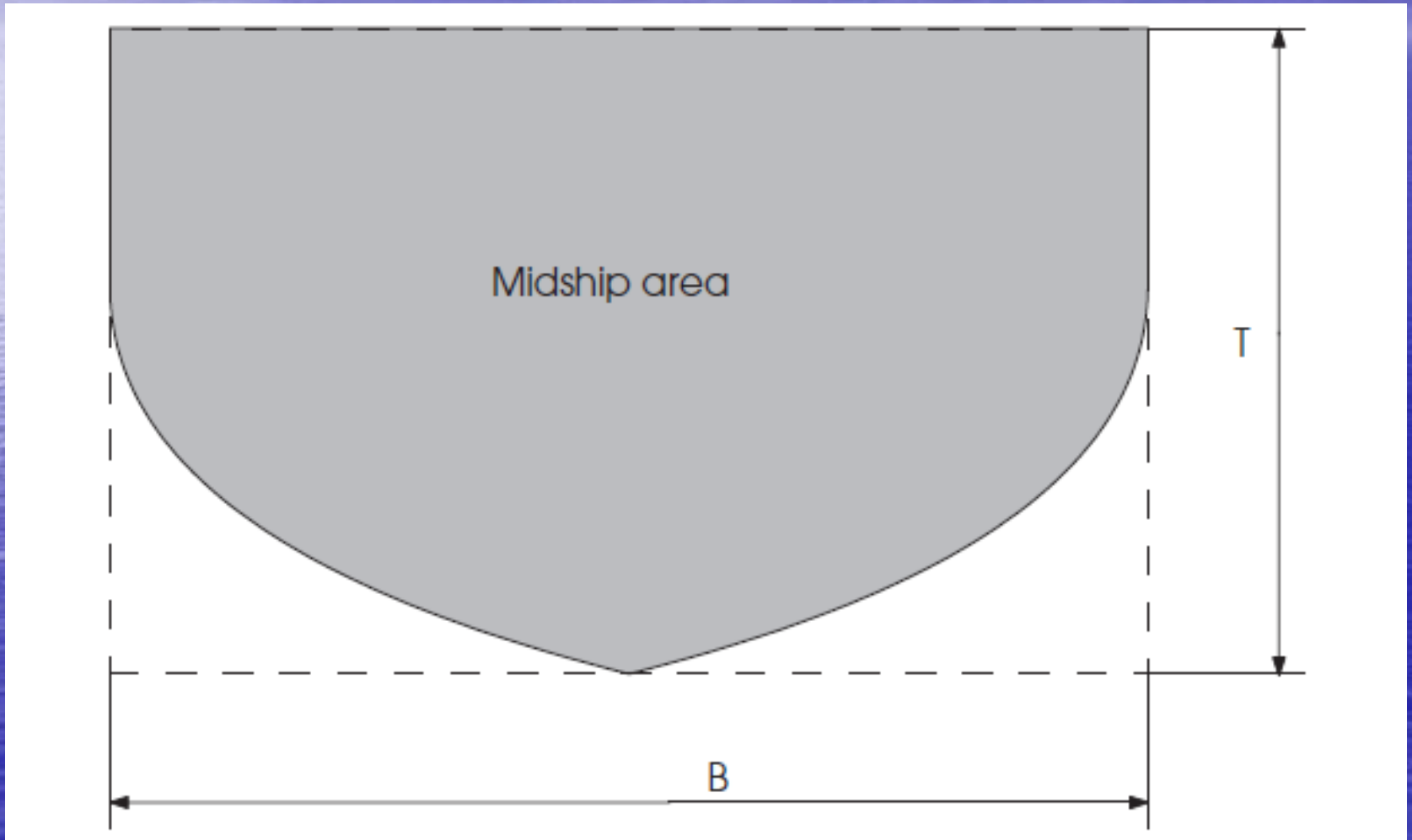
- KOEFICIJENT ISTISNINE

$$C_B = \frac{\nabla}{LBT}$$



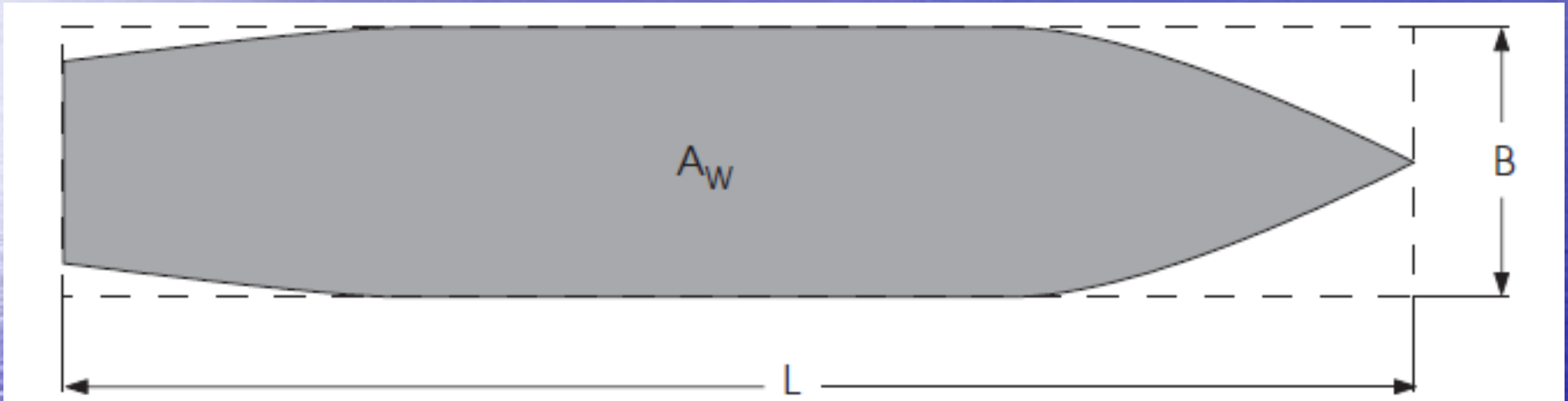
- KOEFICIJENT GLAVNOG REBRA

$$C_M = \frac{A_M}{BT}$$



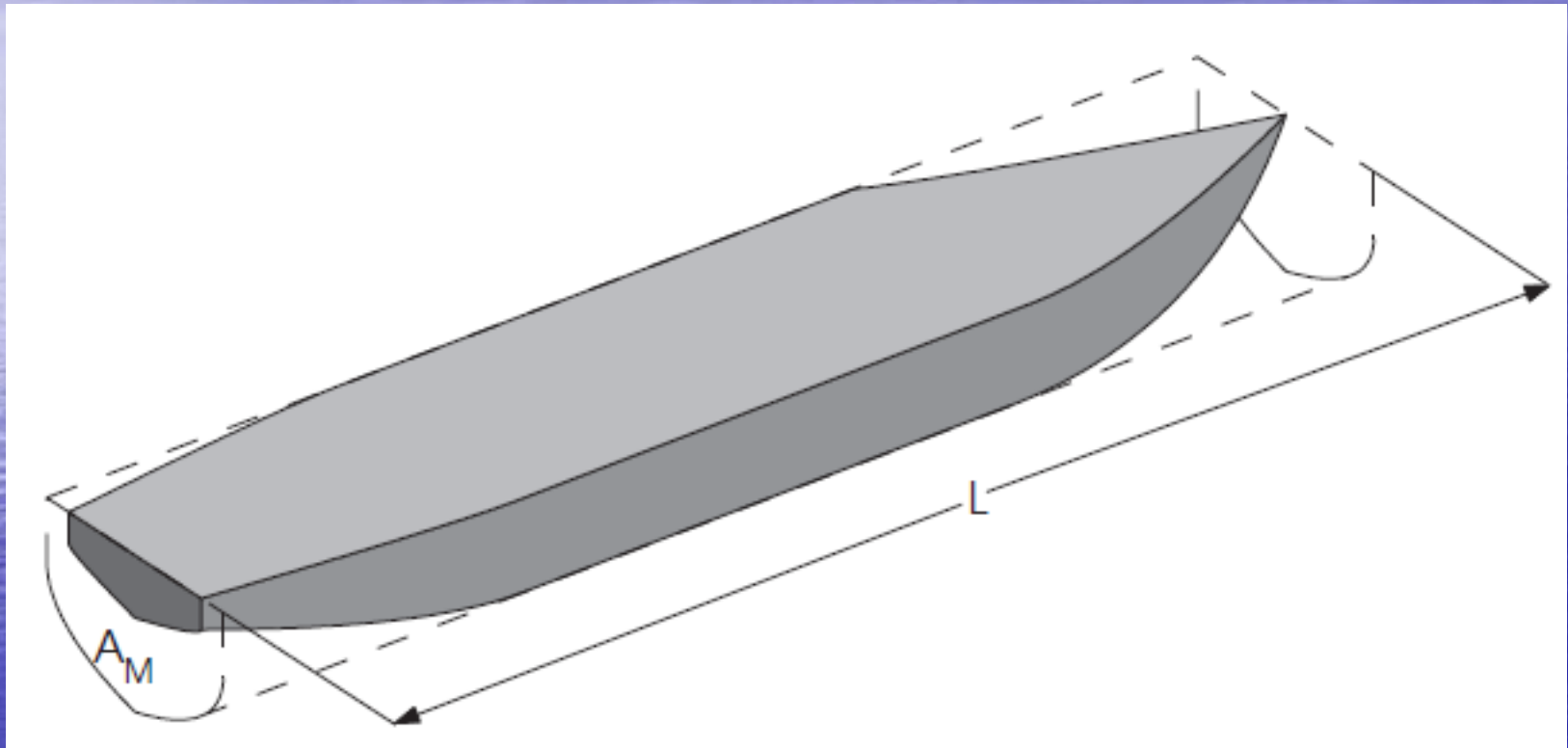
- KOEFICIJENT VODNE LINIJE

$$C_{WL} = \frac{A_W}{LB}$$

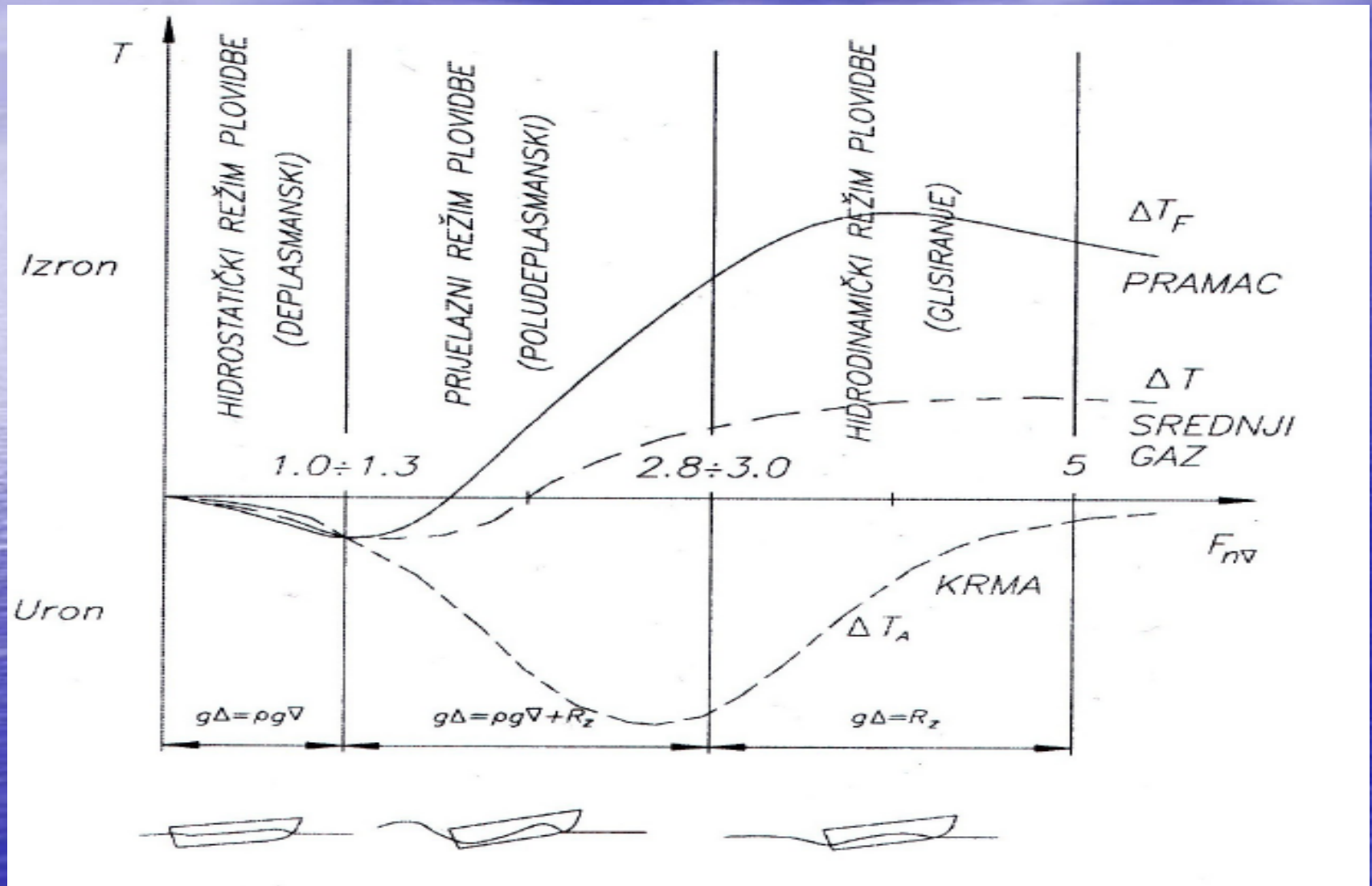


- PRIZMATIČKI KOEFICIJENT

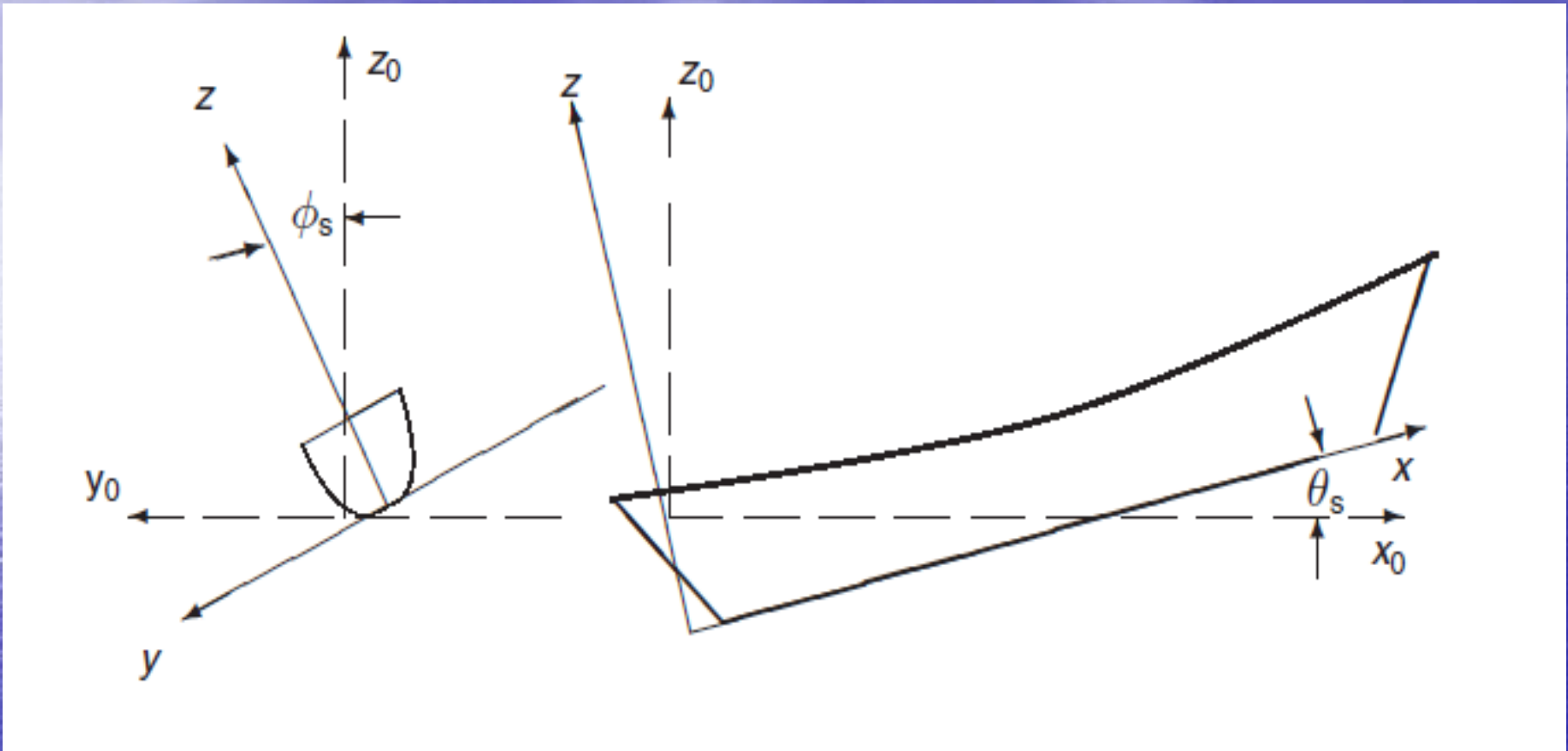
$$C_P = \frac{\nabla}{A_M L} = \frac{C_B L B T}{C_M B T L} = \frac{C_B}{C_M}$$



# NAČINI PLOVIDBE I VRSTE FORME



# NAGIB I TRIM BRODA



Nagib broda

Trim broda (pramčani)

# PRIMJER : PRORAČUN KOEFICIJENATA BRODSKE FORME RIBARSKOG BRODA

## ZADATAK - VJEŽBA

Odrediti koeficijente forme ribarskog broda ako je zadano:

$L_{WL}$	14.251 m
$B$	4.52 m
$T_M$	1.908 m
$\nabla$	58.536 m <sup>3</sup>
$A_M$	6.855 m <sup>2</sup>
$A_W$	47.595 m <sup>2</sup>

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{pp}BT_M} = \frac{58.536}{14.251 \times 4.52 \times 1.908} = 0.476$$

$$C_{WL} = \frac{A_W}{L_{WL}B} = \frac{47.595}{14.251 \times 4.52} = 0.739$$

$$C_M = \frac{A_M}{BT} = \frac{6.855}{4.52 \times 1.908} = 0.795$$

$$C_P = \frac{\nabla}{A_M L_{WL}} = \frac{58.536}{6.855 \times 14.251} = 0.599$$

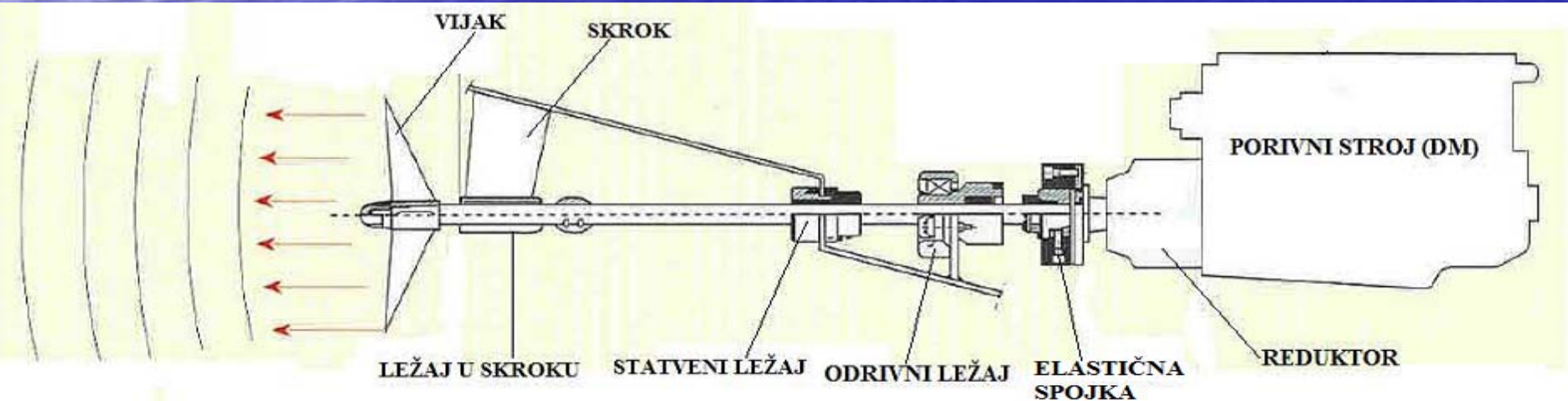
Provjera rezultata:

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} = \frac{0.476}{0.795} = 0.599$$

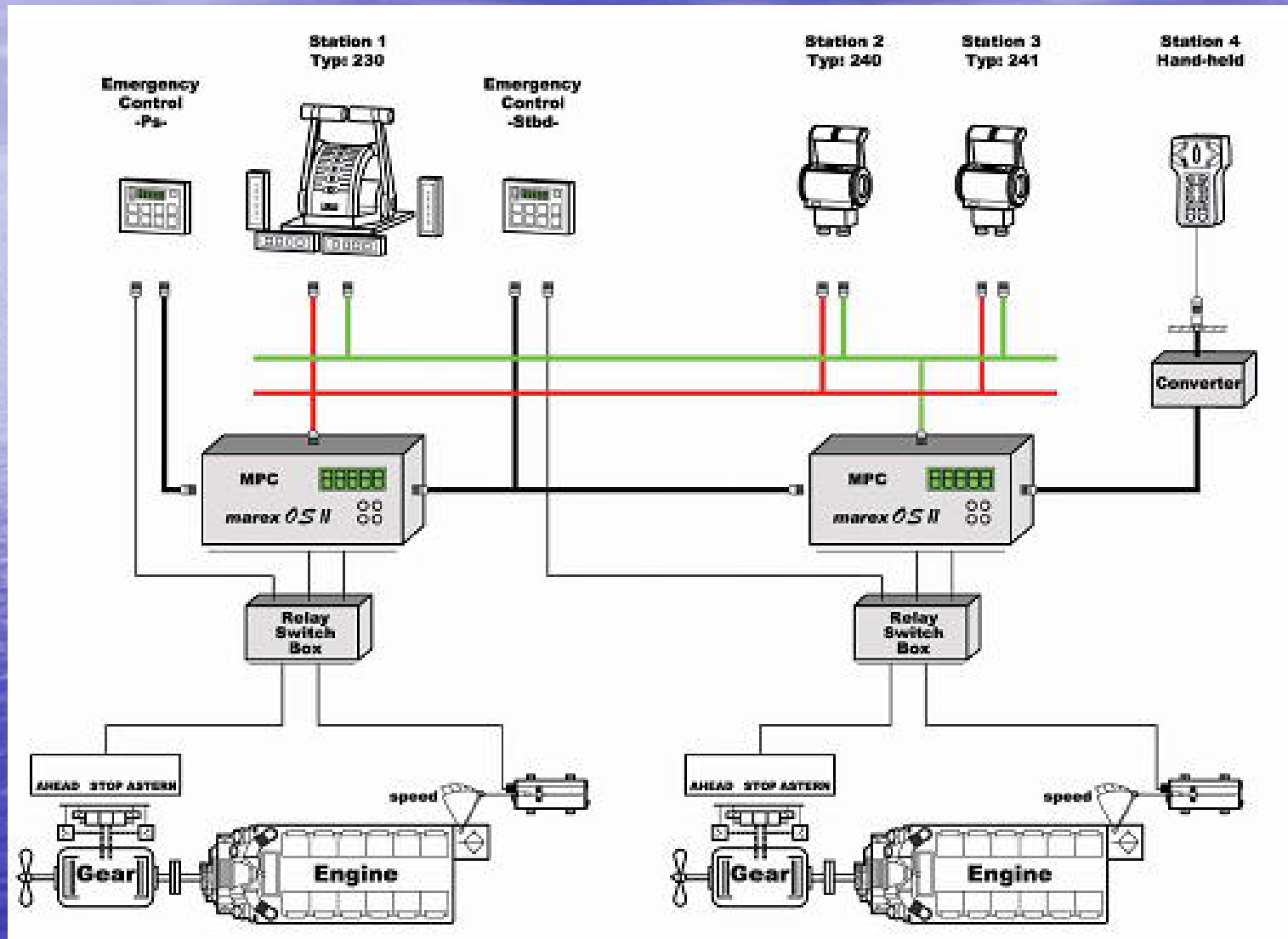


# SASTAV PORIVNOG SUSTAVA MALOG BRODA

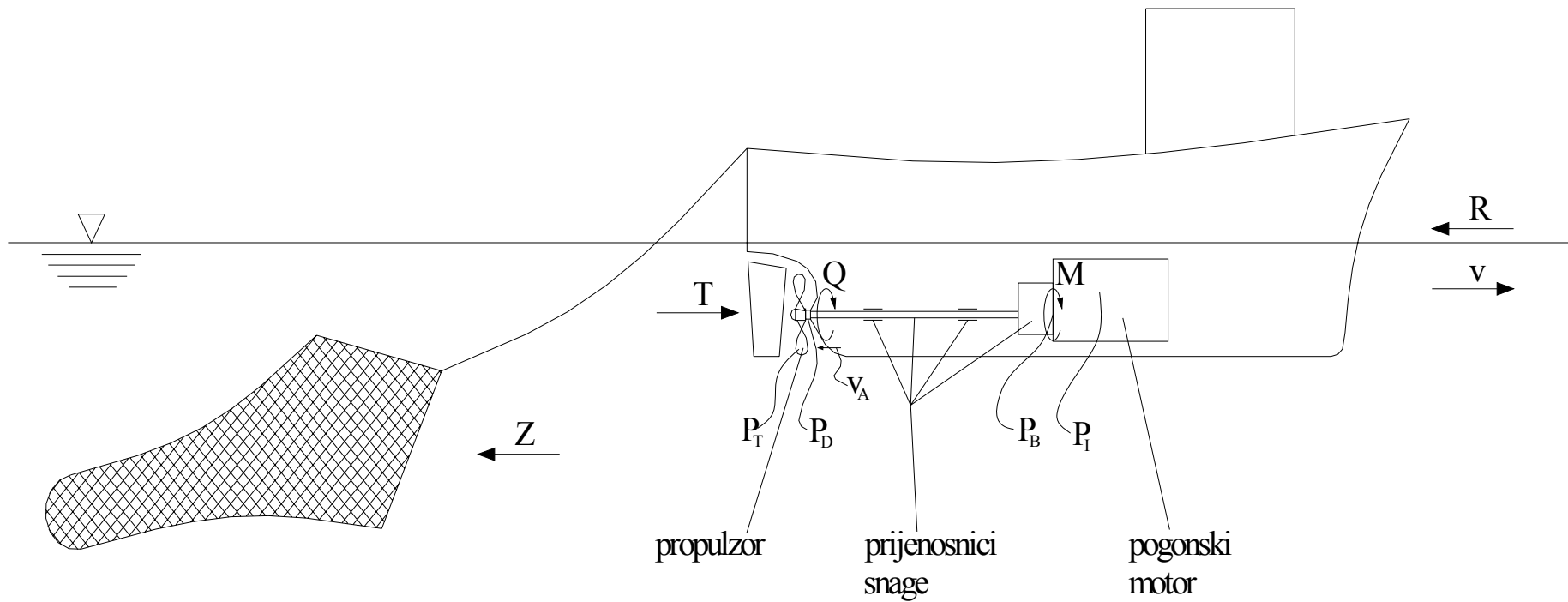
- Porivni stroj (dizelski ili Ottov motor, elektromotor )
- Elastična spojka
- Prijenosnik snage (reduktor, uključno-isključna spojka, odrivni ležaj)
- Vratilo
- Radijalni ležajevi vratilnog voda
- Sustav za hlađenje i podmazivanje
- Statvena cijev sa statvenim ležajem ( + skrok sa rad. Ležajem)
- Propulzor (vijak, vijak u sapnici, vodomlazni propulzor...)
- Sustav za upravljanje i nadzor



# SUSTAV DALJINSKOG UPRAVLJANJA PORIVNIM SUSTAVOM



# DEFINIRANJE SNAGE OTPORA $P_R$ I SNAGE PORIVA $P_T$



- Ukupna snaga otpora  $P_R$  ribarskog broda koji tegli mrežu brzinom  $v$  definirana je izrazom:

$$P_R = (R + Z) \cdot v,$$

$R$  – otpor tegljenja broda, N

$Z$  – otpor tegljenja mreže, N

$V$  – brzina broda, m/s

- Snaga poriva  $P_T$  koja je potrebna za poriv broda brzinom  $v$  definirana je izrazom:

$$P_T = T \cdot v_A,$$

gdje je:

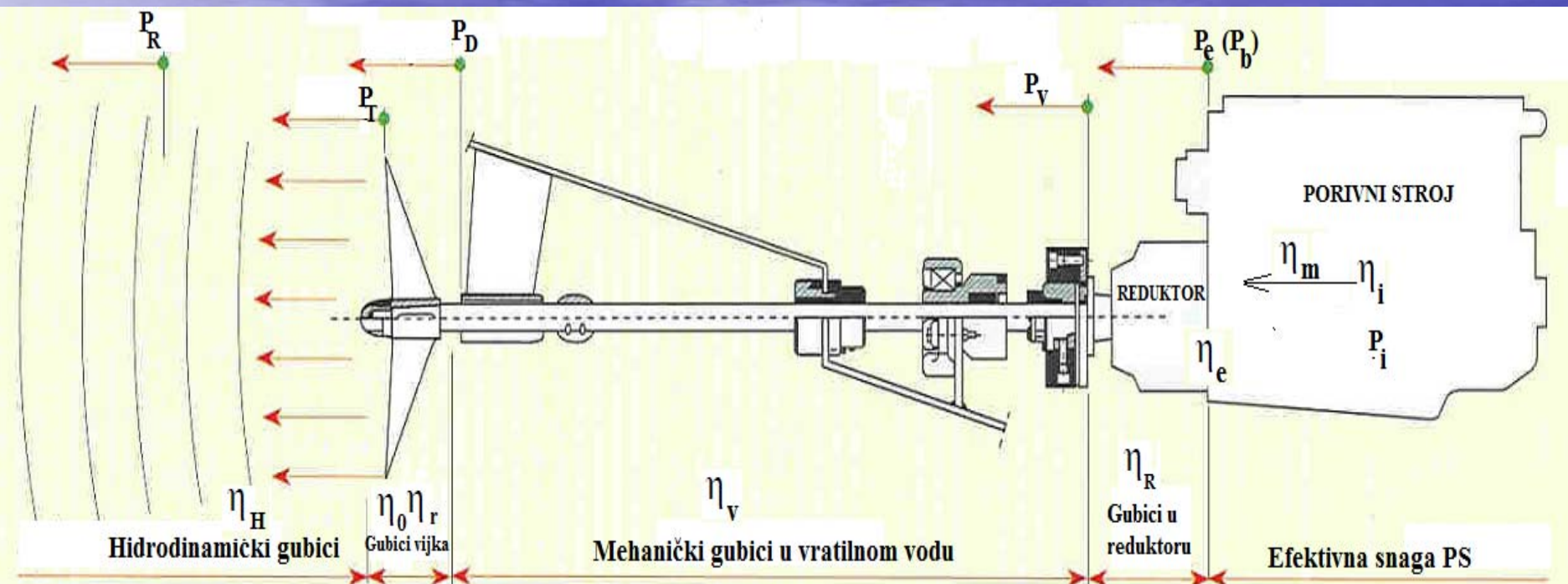
$T$  - sila poriva koju proizvodi propulzor,

$V_A$  - brzina napredovanja vijka

## PRIJENOS SNAGE OD PORIVNOG STROJA DO PROPULZORA

- Mehaničku energiju potrebnu za poriv broda proizvodi pogonski motor iz kemijske energije sadržane u gorivu. Ukupnu snagu koju dobijemo izgaranjem određene količine goriva u jedinici vremena nazivamo dovedena snaga i označavamo je sa  $P_{dov}$ . Dovedenu snagu motor ne može iskoristiti u cjelosti već se dio nje gubi odvođenjem topline u okolinu, hlađenjem motora i ispušnim plinovima. Snagu umanjenu za iznos tih gubitaka zovemo indicirana snaga dizelskog motora i označavamo je sa  $P_I$ . Zbog mehaničkih gubitaka u dizelskom motoru, snaga mjerena na prirubnici koljenastog vratila manja je od  $P_I$  i naziva se kočena snaga motora  $P_B$ . Motor snagu predaje prijenosnicima snage, tj. reduktoru broja okretaja i vratilu koje snagu predaje propulzoru.

# PRIJENOS SNAGE I VRSTE GUBITAKA U PORIVNOM SUSTAVU



## Ukupni stupanj korisnosti porivnog sustava

Ukupni stupanj korisnosti porivnog sustava ovisi o nizu faktora: formi broda, stanju trupa, uvjetima plovidbe, režimima plovidbe, vrsti propulzora, izvedbi propulzora, vrsti i izvedbi pogonskog stroja, vrstama i izvedbama prijenosnika snage, te o njihovoj interakciji. Značajna poboljšanja ukupnog stupnja korisnosti, u okvirima standardnih izvedbi porivnih sustava na modernim brodovima, postižu se uglavnom pravilnim odabirom propulzora. Zajednički rad propulzora i pogonskog stroja treba biti takav, da se radna točka dizelskog motora uvijek nalazi unutar područja rada za koje je taj motor predviđen, kako bi se pored povećanja ukupnog stupnja korisnosti porivnog sustava, povećala i pouzdanost porivnog sustava, tj. smanjili troškovi amortizacije i održavanja.

Snaga koju vratilo predaje propulzoru označava se sa  $P_D$  i manja je od snage  $P_B$  za iznos mehaničkih gubitaka u reduktoru i u ležajevima vratila. Snagu  $P_D$  propulzor zbog vlastitih gubitaka nije u stanju u potpunosti iskoristiti za poriv. Snagu koju propulzor iskorištava označavamo sa  $P_o$ . Pretvorba energije i ukupni prijenos snage u porivnom sustavu definirani su sa sljedećim izrazima:

Ukupno dovedena energija (snaga)  $P_{dov}$  pogonskom dizelskom motoru definirana je sa izrazom :

$$P_{dov} = B \cdot H_d,$$



Indicirana snaga dizelskog motora definirana je sa izrazom :

$$P_I = P_{dov} \cdot \eta_i$$

gdje su:

$B$  – potrošnja goriva, kg/s,

$H_D$  – donja ogrijevna moć goriva, kJ/kg

$P_I$  - indicirana snaga dizelskog motora, kW

$\eta_I$  - indicirana korisnost dizelskog motora.

$$\eta_I = \frac{P_I}{P_{dov}},$$

Kočena snaga dizelskog motora  $P_B$ , definirana je sa izrazom:

$$P_B = 2\pi M n,$$

gdje su :

$M$  – moment na prirubnici koljениčastog vratila dizelskog motora , Nm

$n$  – broj okretaja koljениčastog vratila pogonskog motora, okr./s

Kočena snaga (snaga na kočnici) može se izraziti i pomoću indicirane snage i mehaničkih gubitaka iskazanih pomoću mehaničkog stupnja korisnosti  $\eta_M$  :

$$P_B = \eta_M \cdot P_I$$

Predana snaga  $P_D$  predstavlja snagu koju vratilni vod predaje propulzoru.

Sastav vratilnog voda:

- reduktor broja okretaja sa uključno-isključnom i prekretnom spojkom,
- vratilo (i međuvratilo),
- elastična spojka,
- klizni ležajevi.

Gubici snage u vratilnom vodu imaju karakter mehaničkih gubitaka. Koeficijent korisnosti vratilnog voda  $\eta_{VV}$  jednak je umnošku  $\eta_R \eta_V$ .

$$P_D = P_B \cdot \eta_{VV}$$

Snaga predana propulzoru može se izraziti i sa sljedećim izrazom:

$$P_D = 2\pi Qn,$$

gdje su :

Q – moment vrtnje propulzora, Nm

n - broj okretaja propulzora (vijka), okr./s

- Snaga poriva u “slobodnoj vožnji”,  $P_0$  definirana je sa izrazom:

$$P_0 = T_0 \cdot v_A$$

gdje su:

$T_0$  – sila poriva koju ostvaruje propulzor (vijak) u slobodnoj vožnji, N

$v_A$  - brzina napredovanja “slobodnog vijka” (“otvoreni vijak”), m/s

Odnos između predane snage,  $P_D$  i snage poriva u “slobodnoj vožnji”,  $P_0$ , definiran je sa izrazom:

$$P_0 = P_D \cdot \eta_0$$

$\eta_0$  – stupanj korisnosti propulzora u “slobodnoj vožnji”

Kada propulzor radi na krmi broda, uvjeti rada se mijenjaju u odnosu na uvjete “slobodne vožnje”. Usljed strujanja mora oko brodskog trupa dolazi do promjene polja tlaka i polja brzina na krmi broda, a posljedica toga je utjecaj na veličinu ukupnog koeficijenta korisnosti propulzije  $\eta_D$  :

$$\eta_D = \eta_0 \eta_r \eta_H = \frac{P_R}{P_D}$$

gdje su:

$\eta_h$  – koeficijent utjecaja forme broda:

$$\eta_H = \frac{P_R}{P_T} = \frac{(R+Z)v}{T v_A} = \frac{(R+Z)/T}{v_A/v} = \frac{1-t}{1-w},$$

t – koeficijent smanjenog poriva:

$$t = 1 - \frac{R+Z}{T},$$

w – koeficijent sustrujanja:

$$w = 1 - \frac{v_A}{v}$$

$\eta_r$  – koeficijent prijelaza (korelacija “otvoreni vijak”- vijak na krmi broda)

- Snaga poriva propulzora (vijka) ugrađenog na krmi broda definirana je sa sljedećim izrazom:

$$P_T = P_D \cdot \eta_0 \cdot \eta_r$$

- Odnos između snage otpora  $P_R$  i snage poriva propulzora  $P_T$  definiran je sa sljedećim izrazom :

$$P_T = \frac{P_R}{\eta_H}$$

- Odnos između snage otpora broda i snage predane propulzoru definiran je sa sljedećim izrazom :

$$P_R = P_D \cdot \eta_D = P_D \cdot \eta_0 \eta_r \eta_H$$

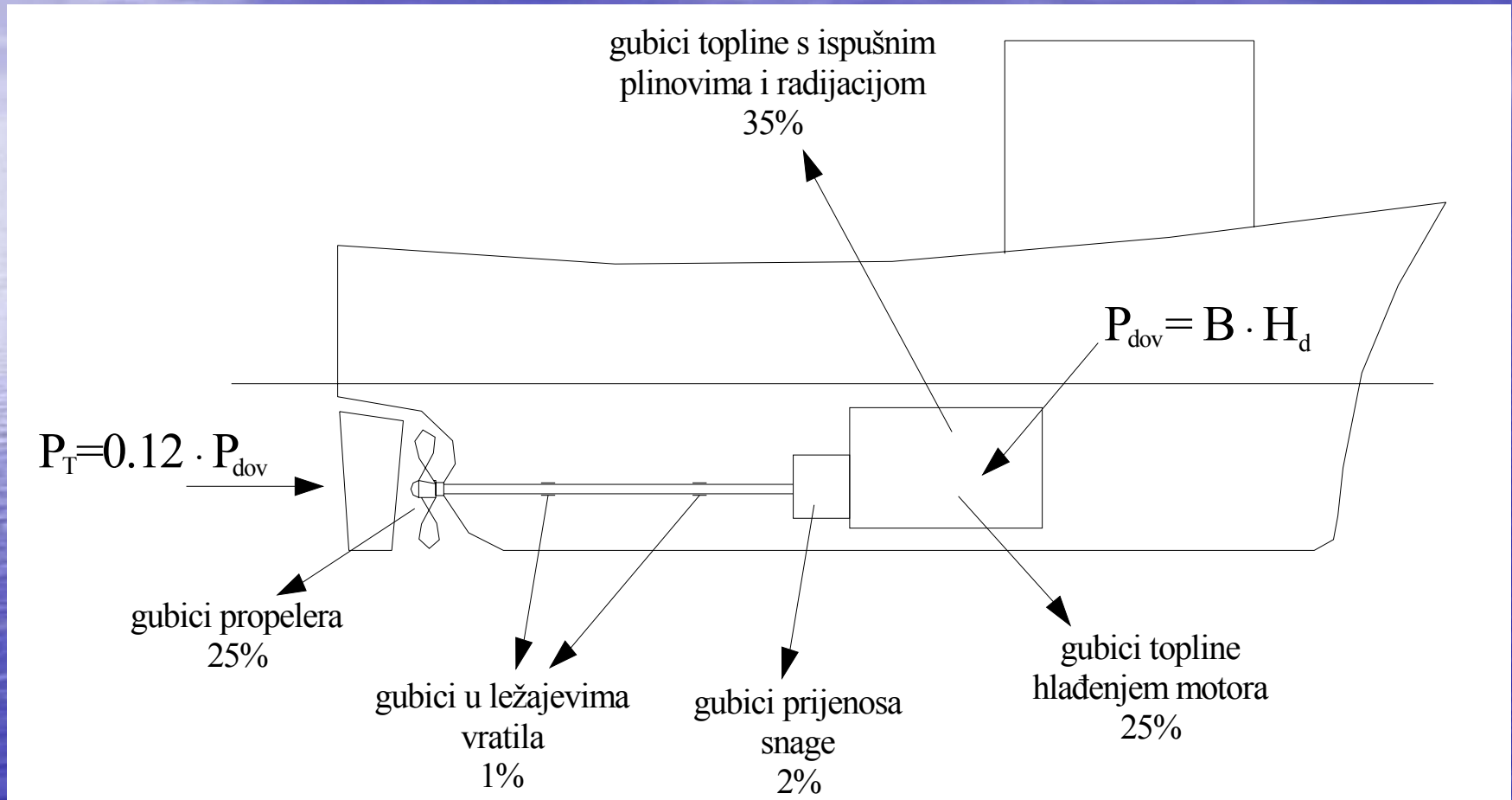
- Ukupni stupanj korisnog djelovanja  $\eta_T$  porivnog sustava definiran je sa sljedećim izrazom:

$$\eta_T = \eta_I \eta_M \eta_{VV} \eta_0 \eta_r \eta_H$$

- Ukupni stupanj korisnog djelovanja može se izraziti i sljedećim odnosima snaga u porivnom sustavu :

$$\frac{P_R}{P_{dov}} = \frac{P_I}{P_{dov}} \frac{P_B}{P_I} \frac{P_D}{P_B} \frac{P_T}{P_D} \frac{P_R}{P_T}$$

# UDJELI POJEDINIH VRSTA GUBITAKA U PORIVNOM SUSTAVU





# VRSTE PROPULZORA MALIH BRODOVA

- VIJAK S KONSTANTNIM USPONOM
- VIJAK S PROMJENJIVIM USPONOM
- VIJAK U SAPNICI
- USMJERIVI PROPULZOR (AZIMUT PORIVNIK)
- CIKLOIDNI (VOITH-SCHNEIDER) PROPULZOR
- VODOMLAZNI PROPULZOR

## Vijak s konstantnim usponom

- Osnovne geometrijske značajke brodskog vijka sa konstantnim usponom su:

$D$  - promjer vijka,

$P$  - uspon krila vijka,

$P/D$  - omjer uspona,

$z$  - broj krila vijka,

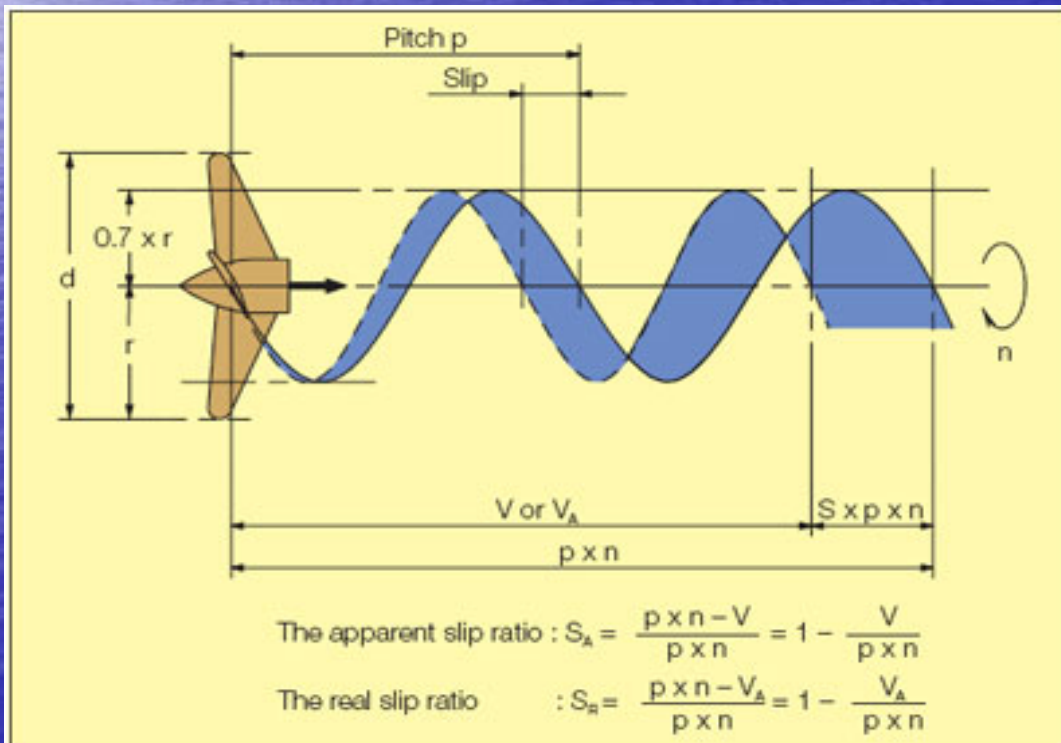
$A_E$  - razvijena površina krila,

$A_0 = (D^2 \pi)/4$  - površina diska vijka,

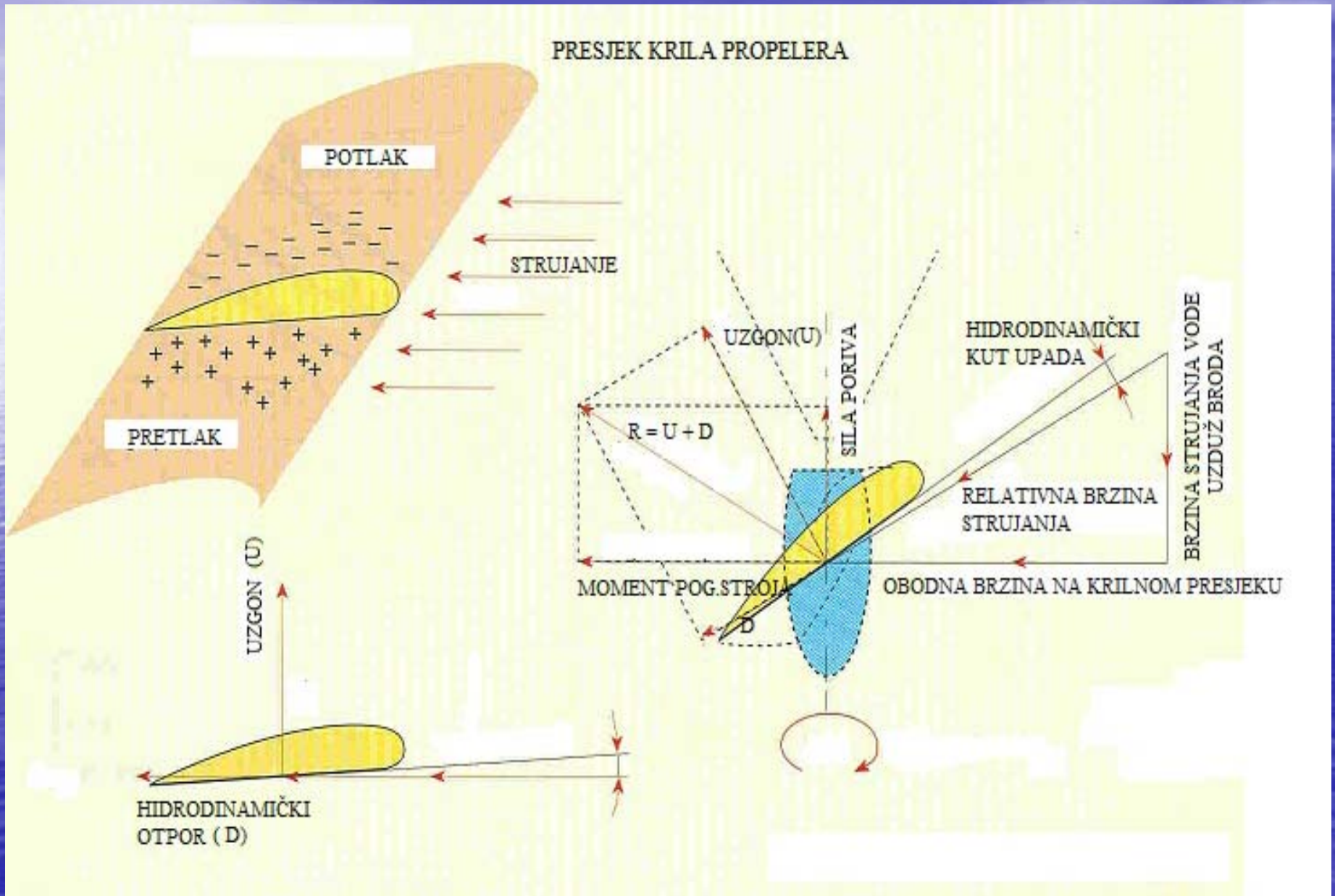
$A_E/A_0$  - omjer površina vijka,

$d$  - promjer glavine vijka.

- **3-KRILNI VIJAK S KONSTANTNIM USPONOM**



# BRZINE I SILE NA KRILNOM ELEMENTU BRODSKOG VIJKA



## PRORAČUN BRODSKOG VIJKA

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot D^4 \cdot n^2}$$

$$T = K_T \cdot \rho \cdot D^4 \cdot n^2$$

$$\eta_0 = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{J}{2 \cdot \pi}$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot D^5 \cdot n^2}$$

$$Q = K_Q \cdot \rho \cdot D^5 \cdot n^2$$

$$J = \frac{V_A}{n \cdot D}$$

$K_T$  – koeficijent poriva

$\rho$  – gustoća vode, t/m<sup>3</sup>

$K_Q$  – koeficijent momenta

$D$  – promjer vijka, m

$J$  – koeficijent napredovanja

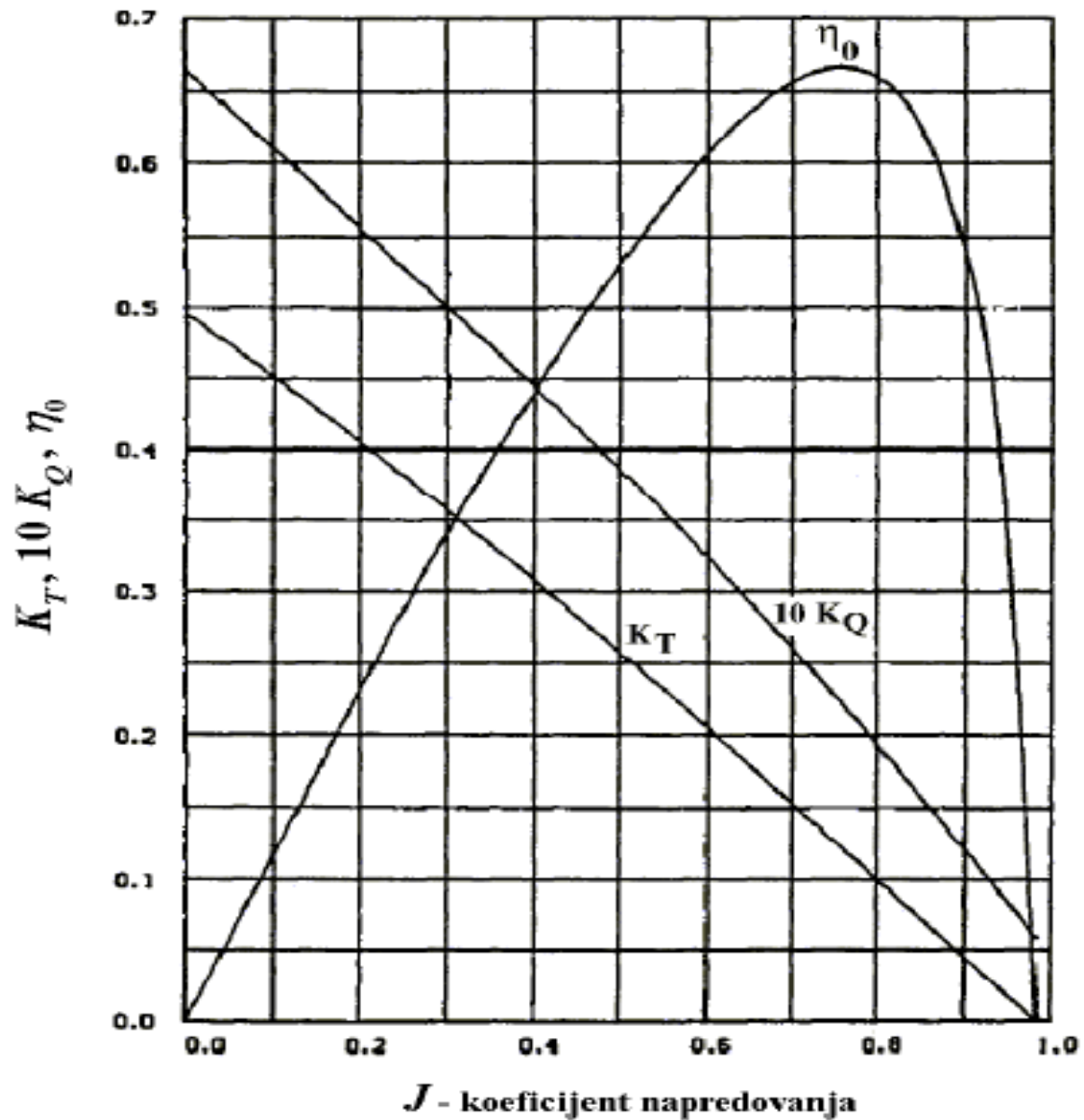
$n$  – brzina vrtnje, 1/s

$T$  – poriv, kN

$V_A$  – brzina napredovanja vijka

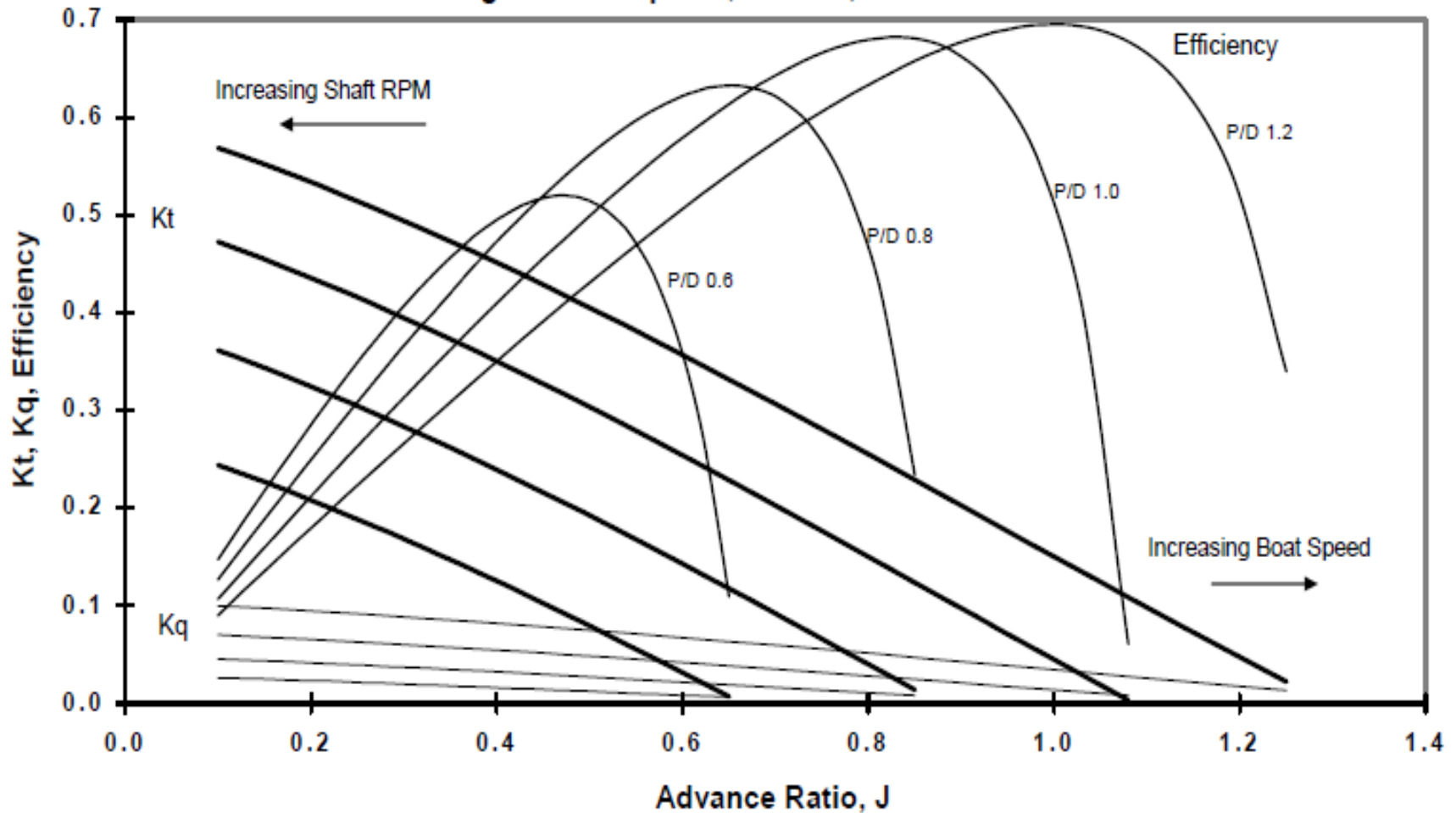
$Q$  – moment, kNm

# DIJAGRAM VIJKA U SLOBODNOJ VOŽNJI



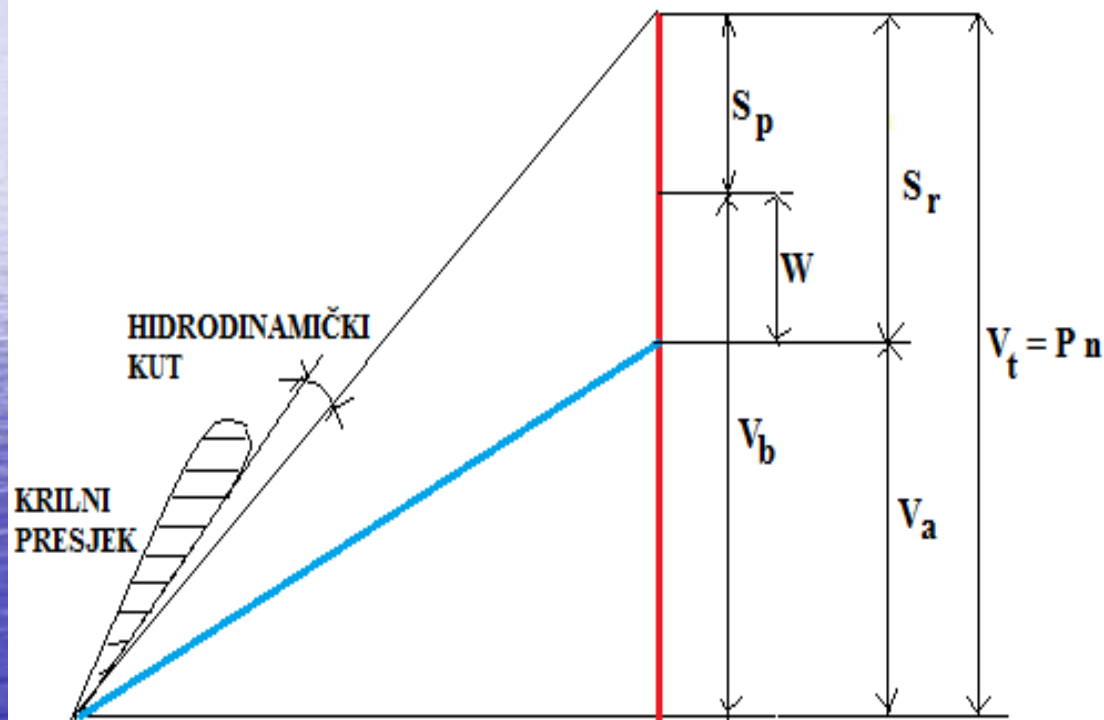
# J-Kt-Kq Diagram

Segmental Propeller, 4 Blade, 0.75 EAR



# REALNI I PRIVIDNI SKLIZ

## BRZINA BRODA-SKLIZ-USPON PROPELERA



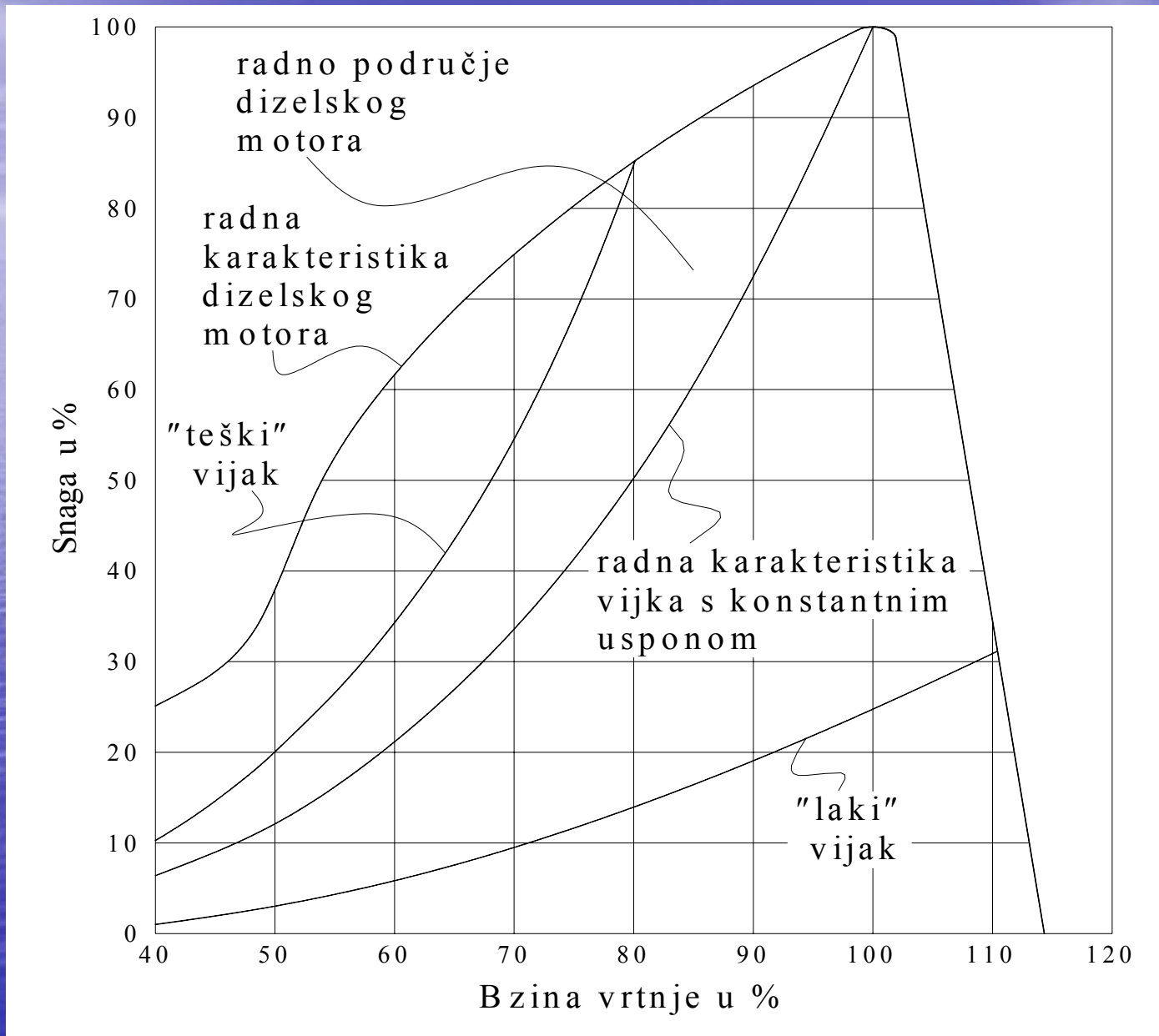
- $V_t$  = teoretska brzina napredovanja vijka
- $V_a$  = stvarna brzina napredovanja vijka
- $V_b$  = brzina broda
- $W$  = sustrujanje
- $S_r$  = realni skliz
- $S_p$  = prividni skliz



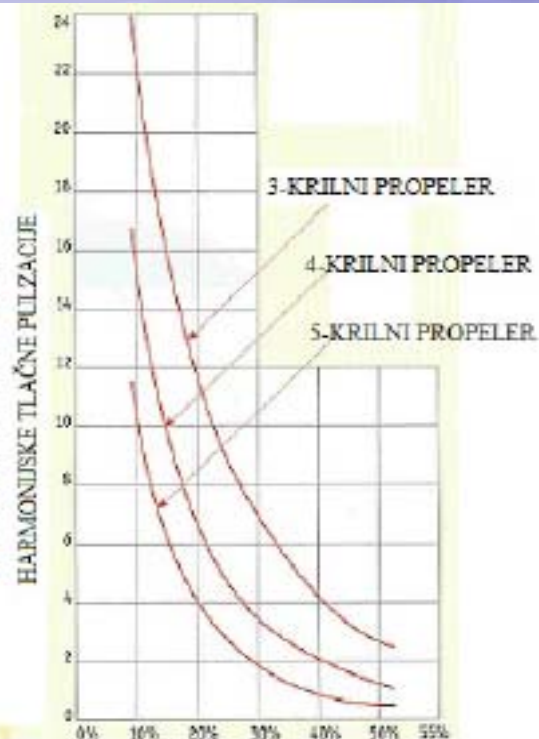
## POJMOVI "TEŠKOG" I "LAKOG" VIJKA

"Teški" vijak je slučaj u kojem je uspon vijka prevelik tako da vijak ne može razviti maksimalnu snagu pri maksimalnoj brzini vrtnje. "Laki" vijak je slučaj u kojem je uspon vijka premalen, a to rezultira smanjenom snagom poriva pri maksimalnoj brzini vrtnje dizelskog motora. Karakteristika vijka se mijenja ukoliko dođe do promjena značajki vijka, npr. oštećenjem vijka. Također, do promjene karakteristike vijka može doći i usljed promjena uvjeta plovidbe. Tako npr., u slučaju plovidbe s povećanim gazom, s povećanom pretegom, kod valovitog mora, u plitkoj vodi, pri zakretanju broda, pri plovidbi u ledu, pri tegljenju, pri plovidbi protiv vjetra ili struje, kada je brodski trup obrastao itd., karakteristika vijka se pomiče ulijevo i odgovara karakteristici "teškog" vijka. Taj slučaj nazivamo "plovidba prema teškoj propelerskoj karakteristici". Rezultati analiza pokazuju da na proces "otežavanja" vijka najviše utječe obraštanje trupa i krila vijaka za vrijeme stajanja broda u toplim morima. U slučaju plovidbe u balastu, u smjeru vjetra ili struje itd., karakteristika vijka se pomiče udesno i odgovara karakteristici "lakog" vijka. Taj slučaj nazivamo "plovidba prema lakoj propelerskoj karakteristici".

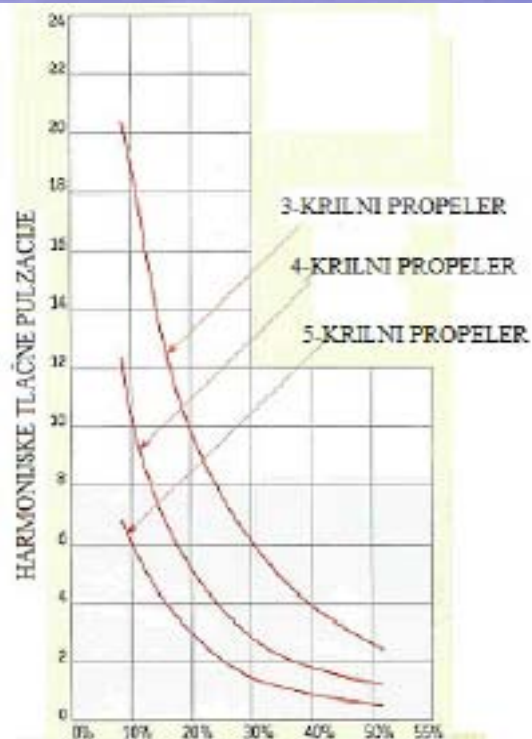
# RADNA KARAKTERISTIKA VIJKA - "LAKI" I "TEŠKI" VIJAK



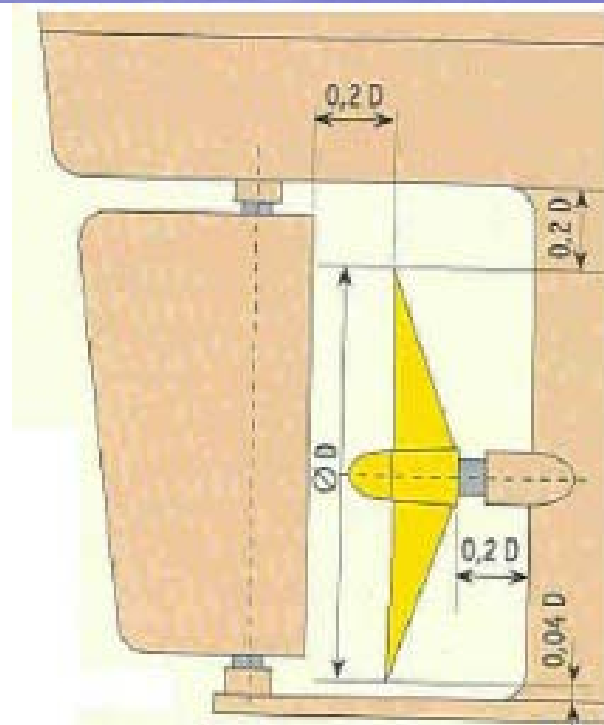
# PRAVILA UGRADNJE VIJKA U PROSTOR KRMENE STATVE



ZRAČNOST PROPELERA U ODNOSU NA TRUP  
U % PROMJERA PROPELERA

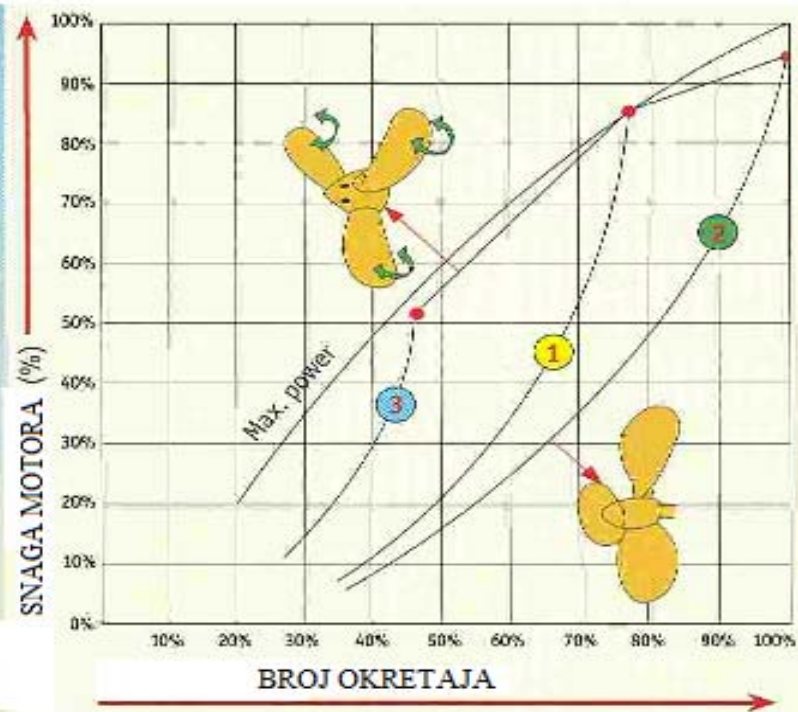
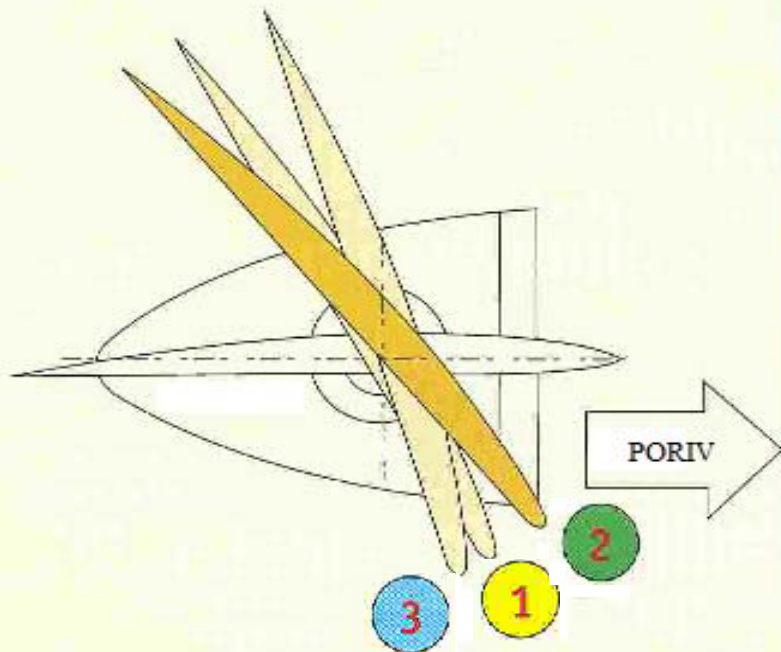


ZRAČNOST PROPELERA U ODNOSU NA KORMILO  
U % PROMJERA PROPELERA



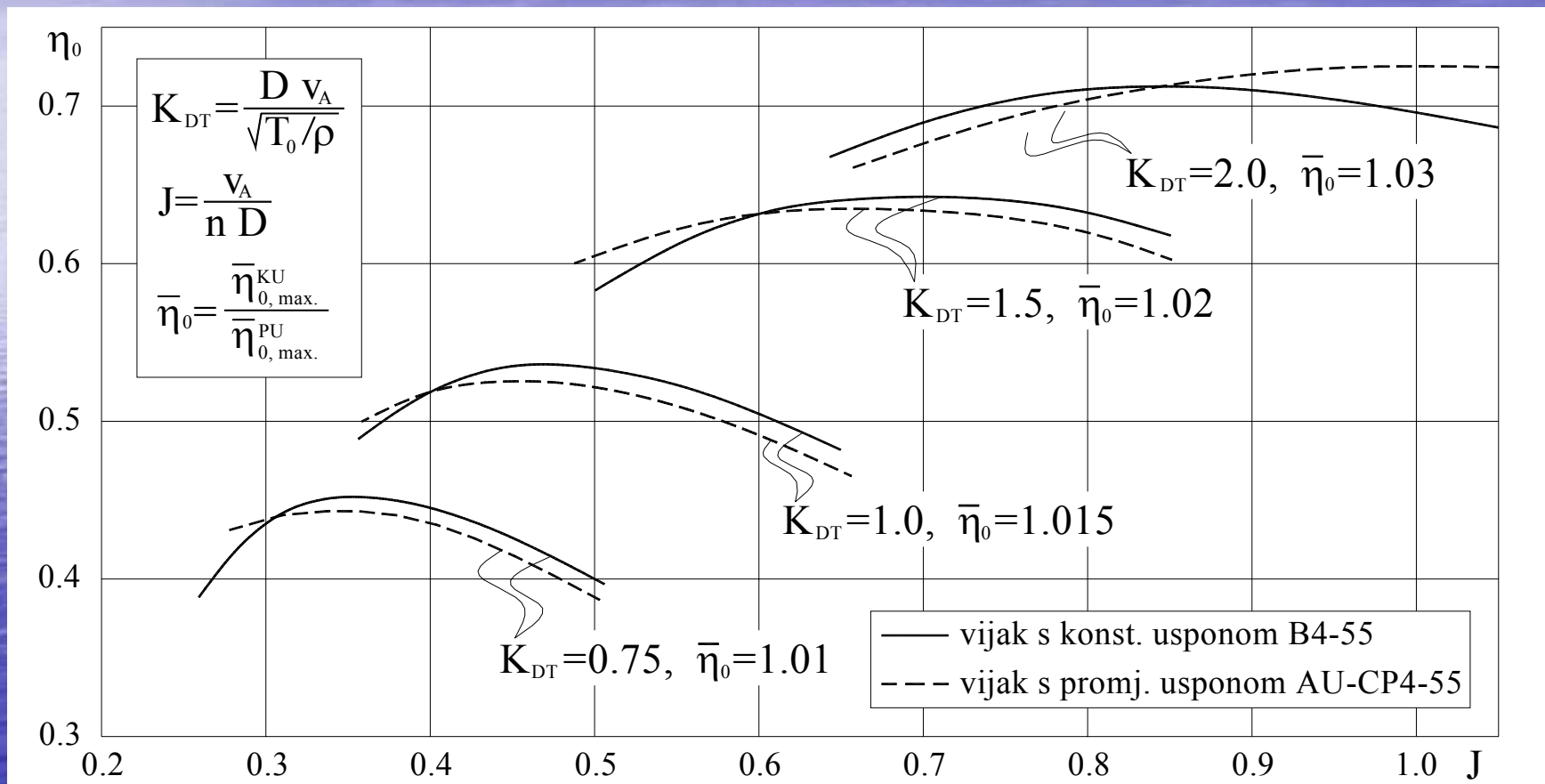
MINIMALNE UGRADBENE ZRAČNOSTI PROPELERA U  
PROSTORU KRMENE STATVE

# VIJAK S PROMJENJIVIM USPONOM



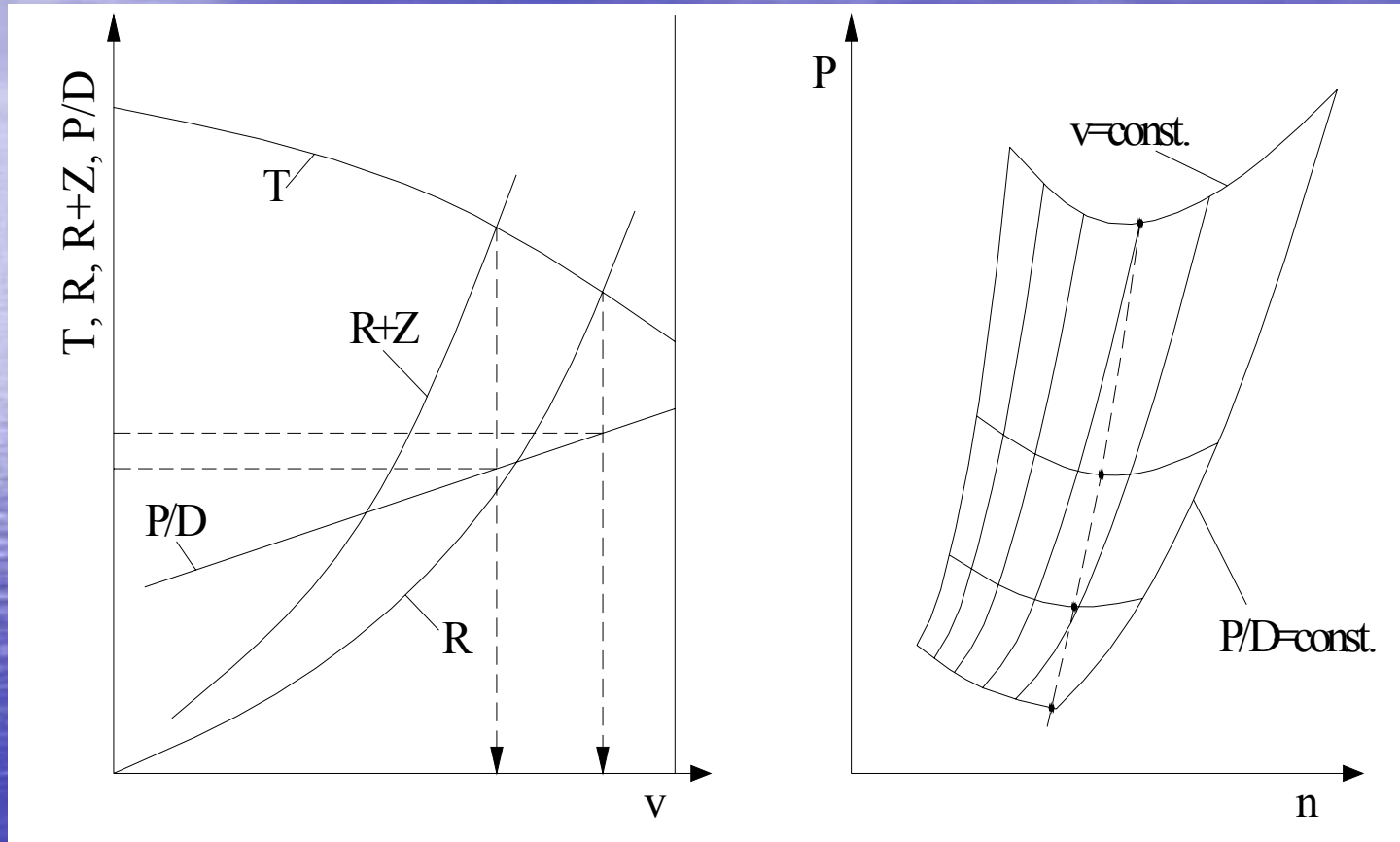
## Vijak sa promjenjivim usponom

- Vijak s konstantnim usponom ima veći stupanj korisnosti od vijaka s promjenjivim usponom istog oblika krila, istog promjera i istog uspona

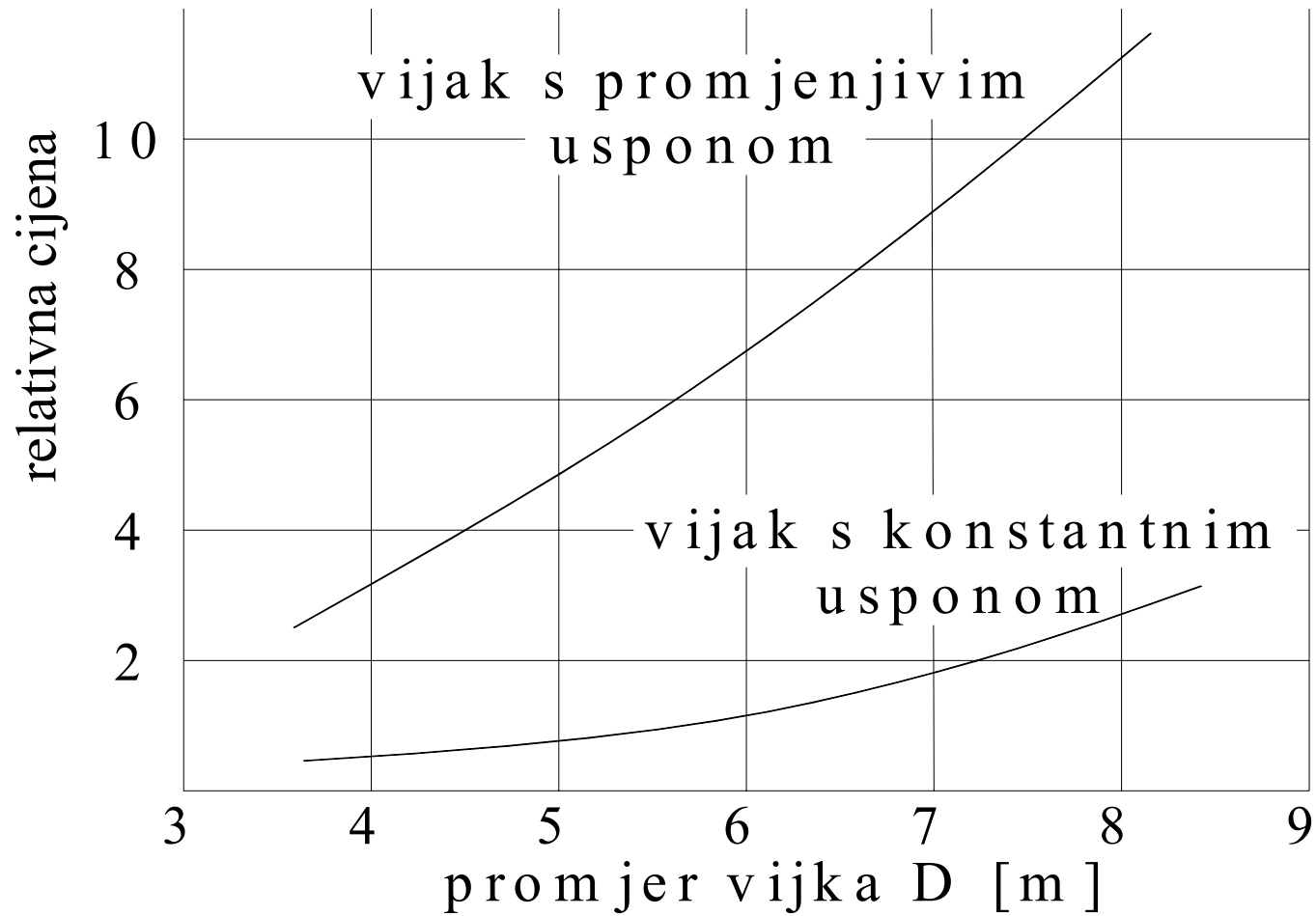


Usporedba stupnjeva korisnosti otvorenog vijaka sa konstantnim usponom i vijaka sa promjenjivim usponom

# Karakteristike sile poriva vijka sa promjenjivim usponom



## Usporedba relativnih cijena vijaka



- PREDNOSTI VIJKA S PROMJENJIVIM USPONOM:

Unatoč nižim vrijednostima stupnja korisnosti, upotreba vijka s promjenjivim usponom ima sljedeće prednosti:

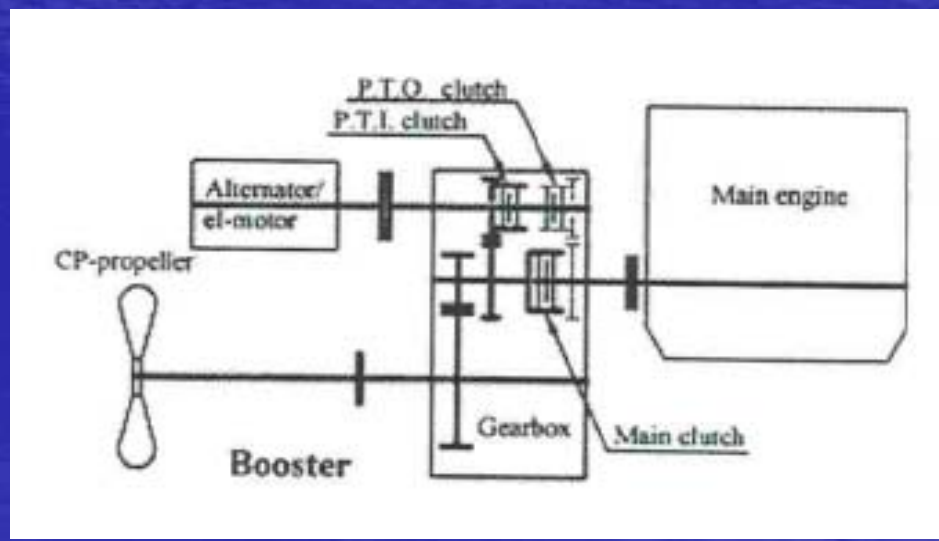
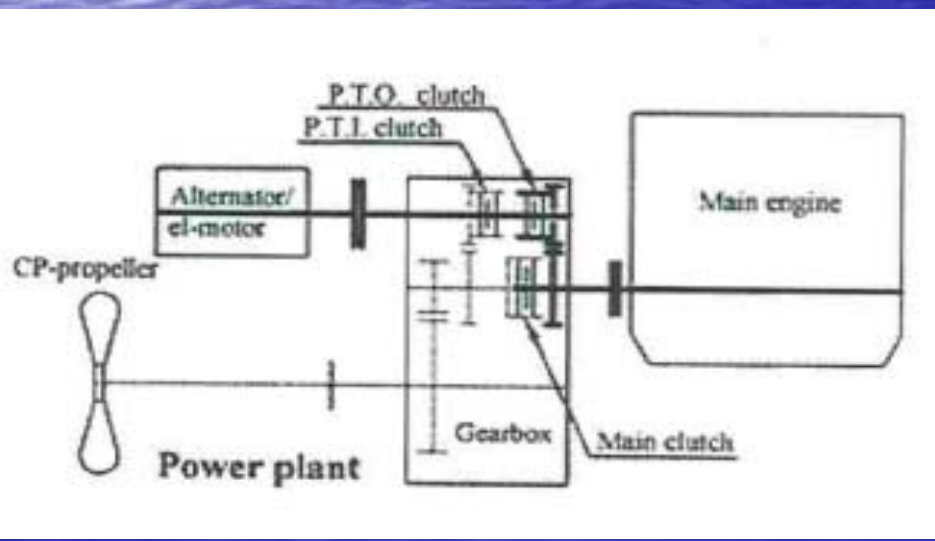
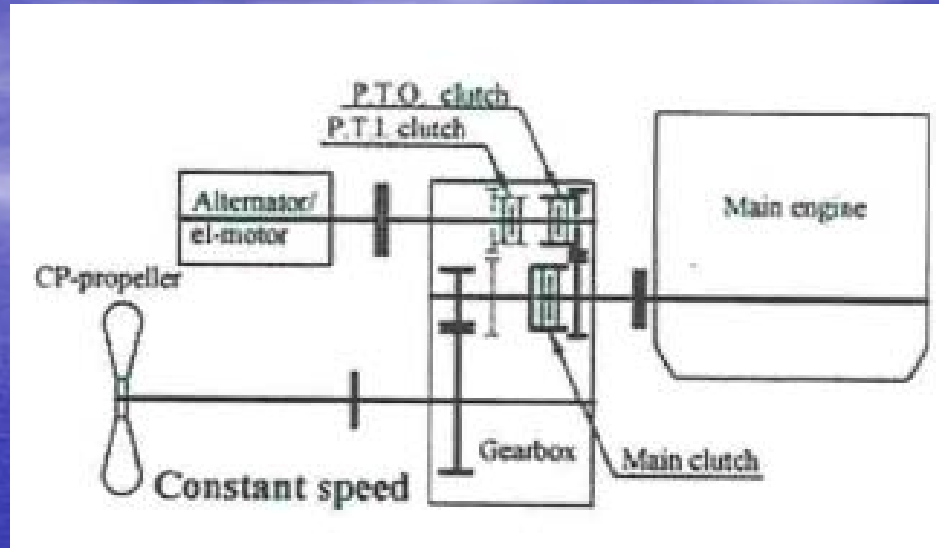
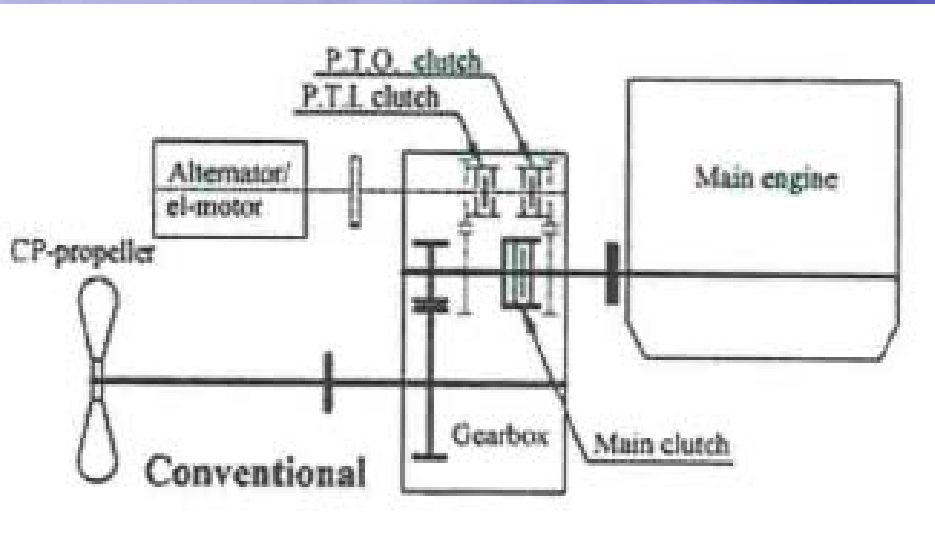
- omogućava da se u svakom režimu plovidbe maksimalno iskoristi snaga pogonskog dizelskog motora,
- izvrsna mogućnost ubrzavanja i brzog zaustavljanja broda,
- izvrsna mogućnost manevriranja, vožnja krmom moguća je bez prekretnog uređaja,
- mijenjanjem uspona krila vijka, moguće je mijenjanje brzine broda bez promjene brzine vrtnje motora, što omogućuje spajanje generatora na pogonski motor ( PTO)

- NEDOSTACI VIJKA S PROMJENJIVIM USPONOM:

- složena konstrukcija,
- učestaliji kvarovi u odnosu na vijak s konstantnim usponom,
- veća cijena u odnosu na vijak s konstantnim usponom.



# Primjeri različitih tipova propulzijskih sustava sa vijkom promjenjivog uspona



## Sustav vijka i sapnice

- Smještanje vijka u sapnicu, bilo da se radi o vijku s konstantnim usponom ili vijku s promjenjivim usponom, danas je gotovo uobičajena praksa na suvremenim ribarskim brodovima. Razlog tome je povećani stupanj korisnosti propulzora pri velikim opterećenjima broskog vijka prilikom koćarenja.
- Vrste sapnica:
  - ubrzavajuće,
  - usporavajuće,
  - neutralne.

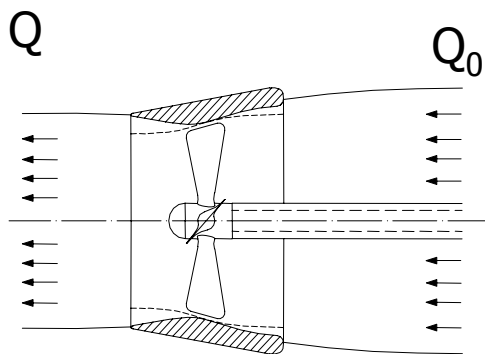
Profil (oblik) *ubrzavajuće* sapnice je takav da povećava protok kroz sapnicu.

Profil *usporavajuće* sapnice smanjuje protok kroz sapnicu.

Profil *neutralne* sapnice ne mijenja veličinu protoka kroz sapnicu.

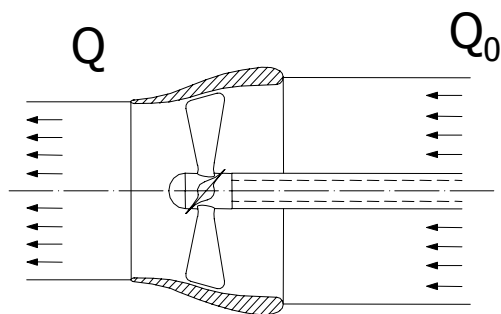
Ubrzavajuće sapnice koriste se za povećanje stupnja korisnost vijka pri velikim opterećenjima vijka broda, dok se usporavajuće sapnice koriste u slučajevima kada je od primarne važnosti izbjegavanje pojave kavitacije.

# Vrste sapnica



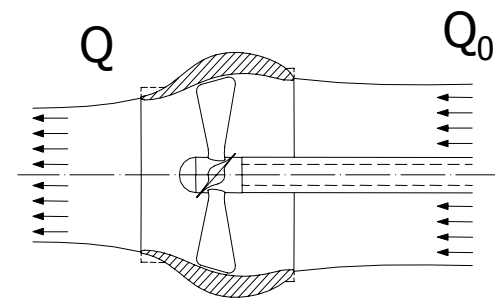
$$Q > Q_0$$

Ubrzavajuća sapnica



$$Q_0 = Q$$

Neutralna sapnica



$$Q < Q_0$$

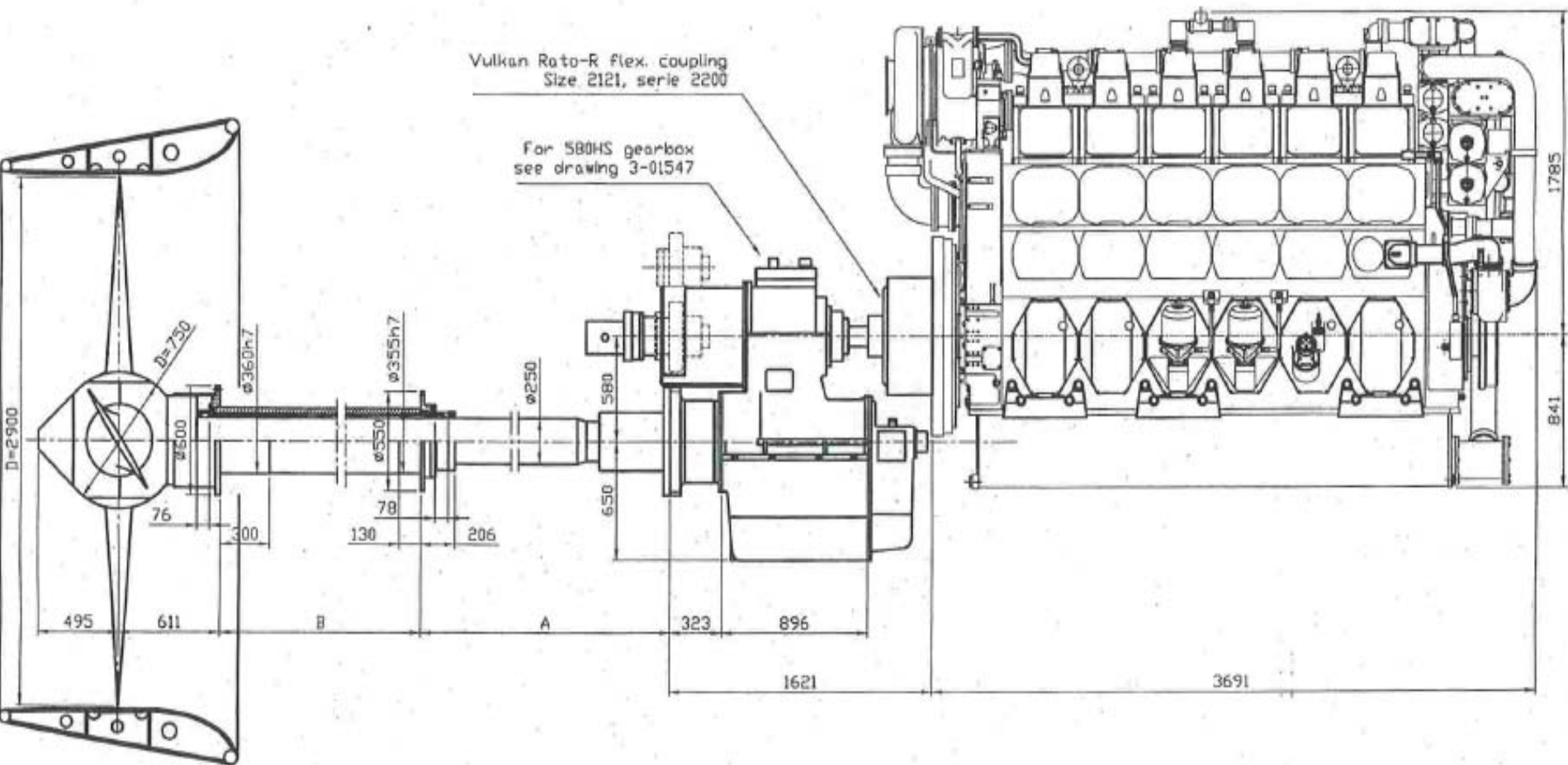
Usporavajuća sapnica

# Vučne sile vijka sa konstantnim usponom, bez sapnice i sa sapnicom

OPTIMALNI VIJAK PROJEKTIRAN ZA:		VUČNA SILA				BRZINA U SLOBODNOJ VOŽNJI	
		NA STUPU		KOD 4 ČV			
		[ kN]	%	[ kN]	%	[ čv]	%
SLOBODNU VOŽNJU	BEZ SAPNICE	50,0	64,1	46,0	72,3	13,4	100
	U SAPNICI	71,0	91,2	60	93,8	13,3	99,3
TEGLJENJE 4 ČVORA	BEZ SAPNICE	57,0	72,9	53,0	83,1	12,2	91,0
	U SAPNICI	77,0	98,7	64,0	100	12,4	92,5
VUČA NA STUPU	BEZ SAPNICE	59,0	75,5	45,0	70,7	11,0	82,1
	U SAPNICI	78,0	100	59,0	92,3	11,8	88,0

- Prednosti sustava "vijak u sapnici":
  - povećanje sile poriva i stupnja korisnosti,
  - tiši rad vijka,
  - smanjenje vibracija krmenog dijela broda,
  - zaštita vijka od mehaničkih oštećenja.
- Nedostatak sustava "vijak u sapnici":
  - povećanje otpora broda kod plovidbe sa većim brzinama.

# Sastav porivnog sustava : vijak promjenjivog uspona u sapnici



# USMJERIVI PROPULZOR (AZIMUT PORIVNIK)

## SCHOTTEL 4000 Series



STP 4000

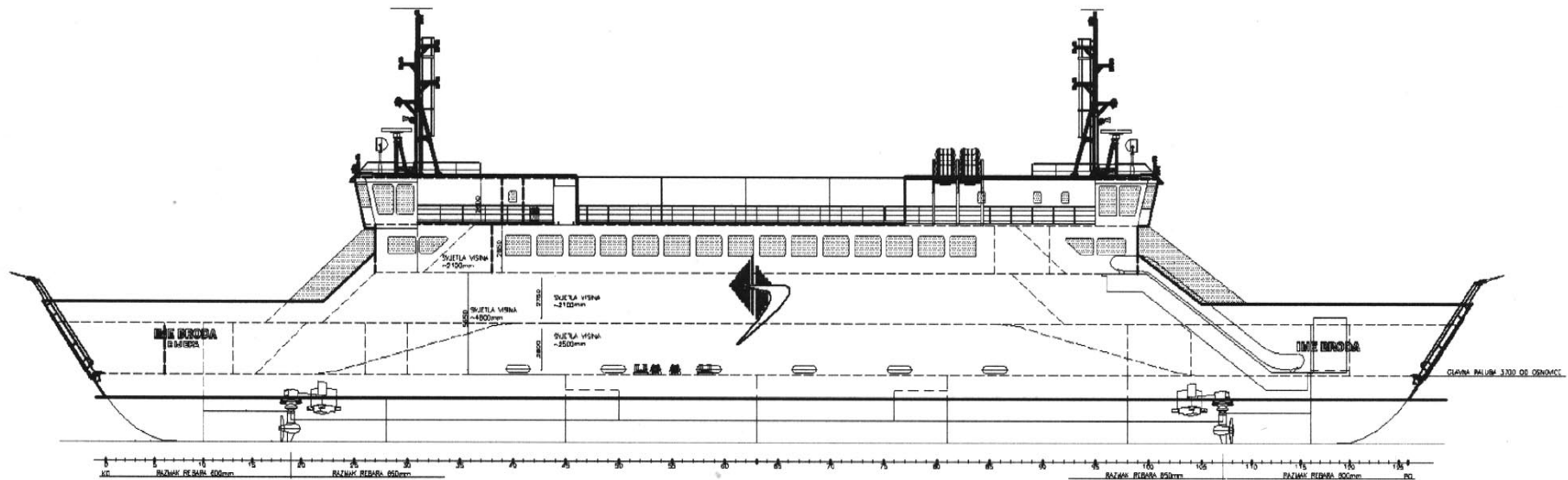


SRP 4000 T CP Nozzle



SRP 4000 Nozzle

# SCHOTTTEL – PRIMJENA : M/T JURAJ DALMATINAC



SNAGA POGONSKIH MOTORA : 4 x 500 Kw

PROPULZIJA : 4 x SCHOTTEL UPRAVLJIVI PROPELER

BRZINA : 12,5 čv

DULJINA PREKO SVEGA :  $L_{OA} = 87,6$  m

DULJINA IZMEĐU PP:  $L_{PP} = 87,6$  m

ŠIRINA.:  $B = 17,5$  m

GAZ : 2,4 m

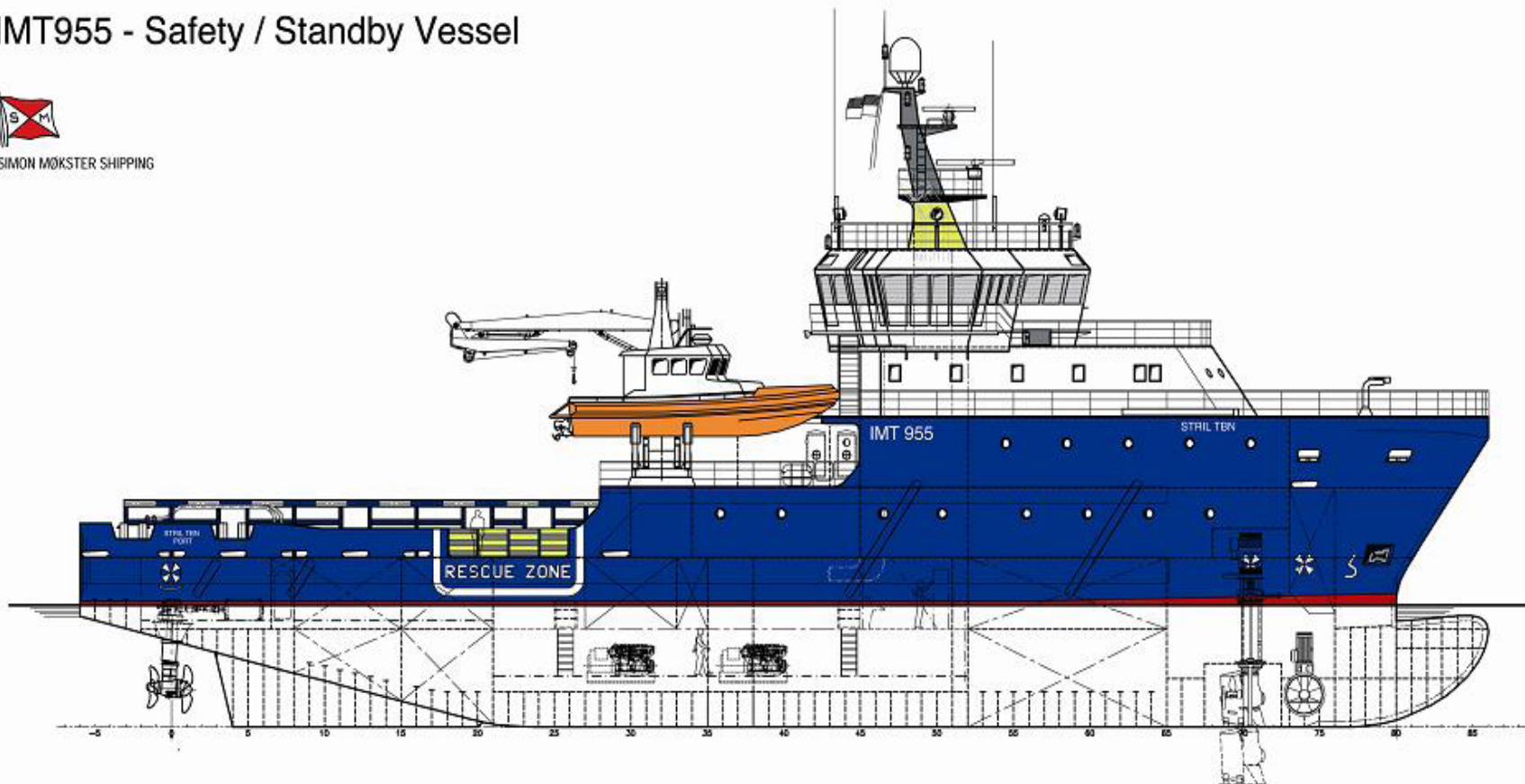


# SCHOTTEL-PRIMJENA

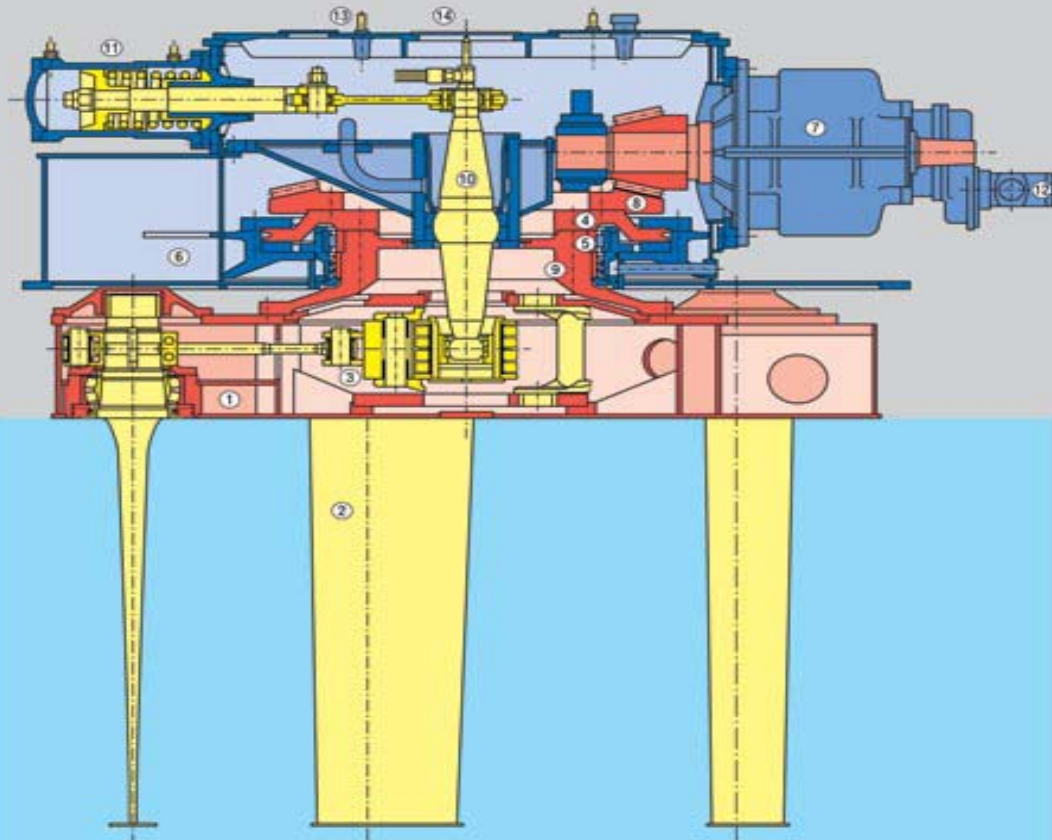
IMT955 - Safety / Standby Vessel



SIMON MØKSTER SHIPPING



# VOITH SCHNEIDER-ov PROPULZOR-SASTAV



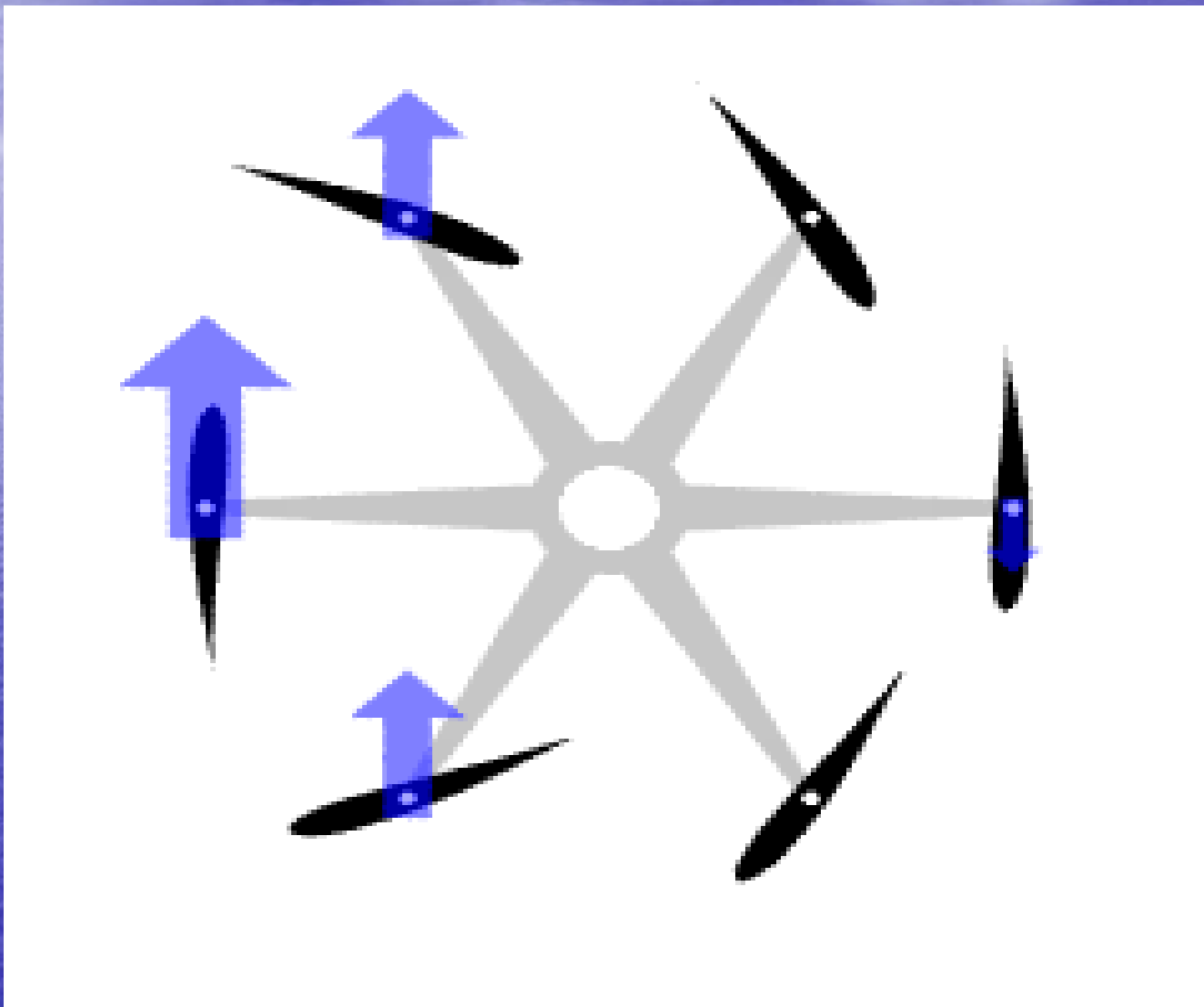
- |                              |                   |
|------------------------------|-------------------|
| 01. Rotor casing;            | 02. Blade;        |
| 03. Kinematics;              | 04. Control rod;  |
| 05. Hydraulic actuating ram; | 06. Bevel gears;  |
| 07. Spur reduction gears;    | 08. Drive drum;   |
| 09. Propeller housing;       | 10. Plain thrust; |
| 11. Roller bearing;          | 12. Oil pump;     |

# VOITH –SCHNEIDER PROPULZOR- PRIMJENA



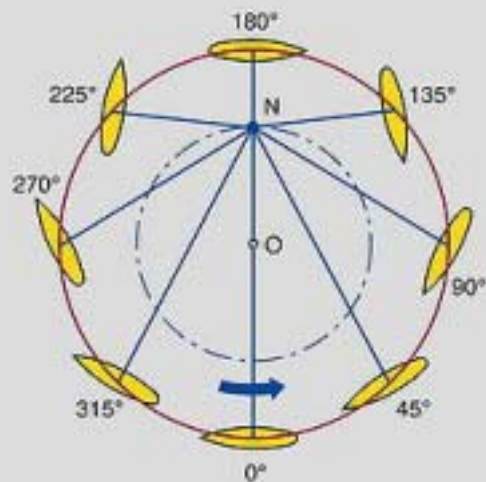
- PRIMJENA CIKLOIDNIH PORIVNIKA U PROPULZIJSKOM SUSTAVU REMORKERA

# VOITH SCHNEIDER PROPULZOR- ANIMACIJA RADA

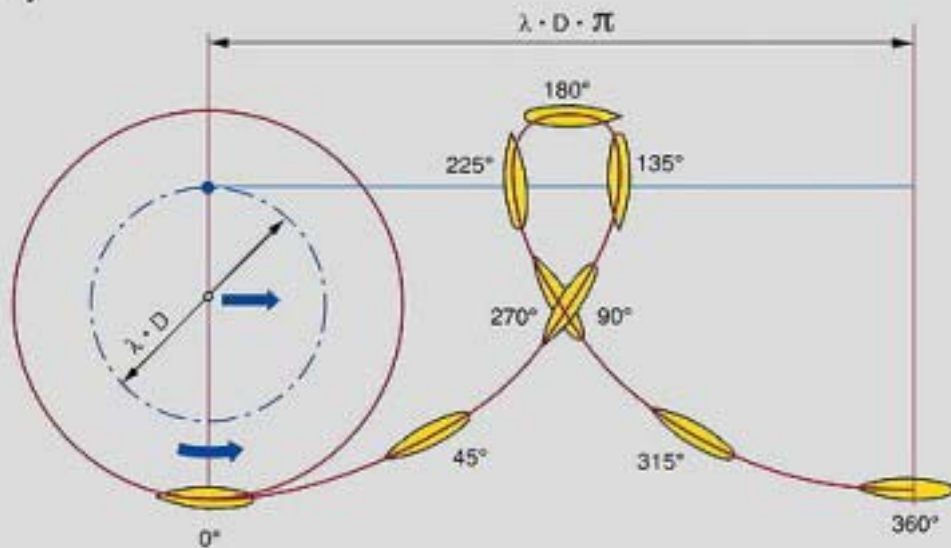


# VOIT SCHNEIDER PRINCIP RADA - KINEMATIKA

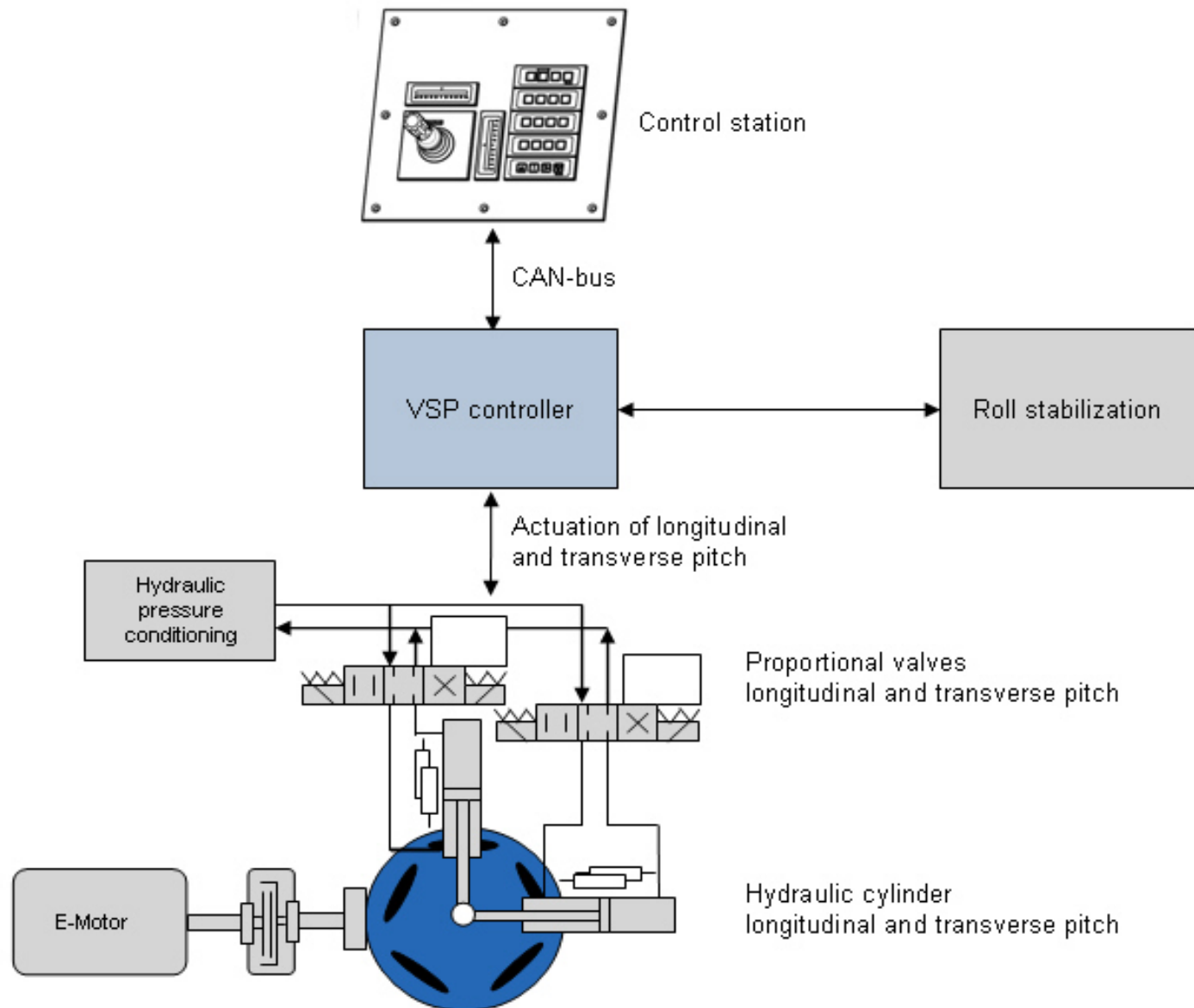
a)



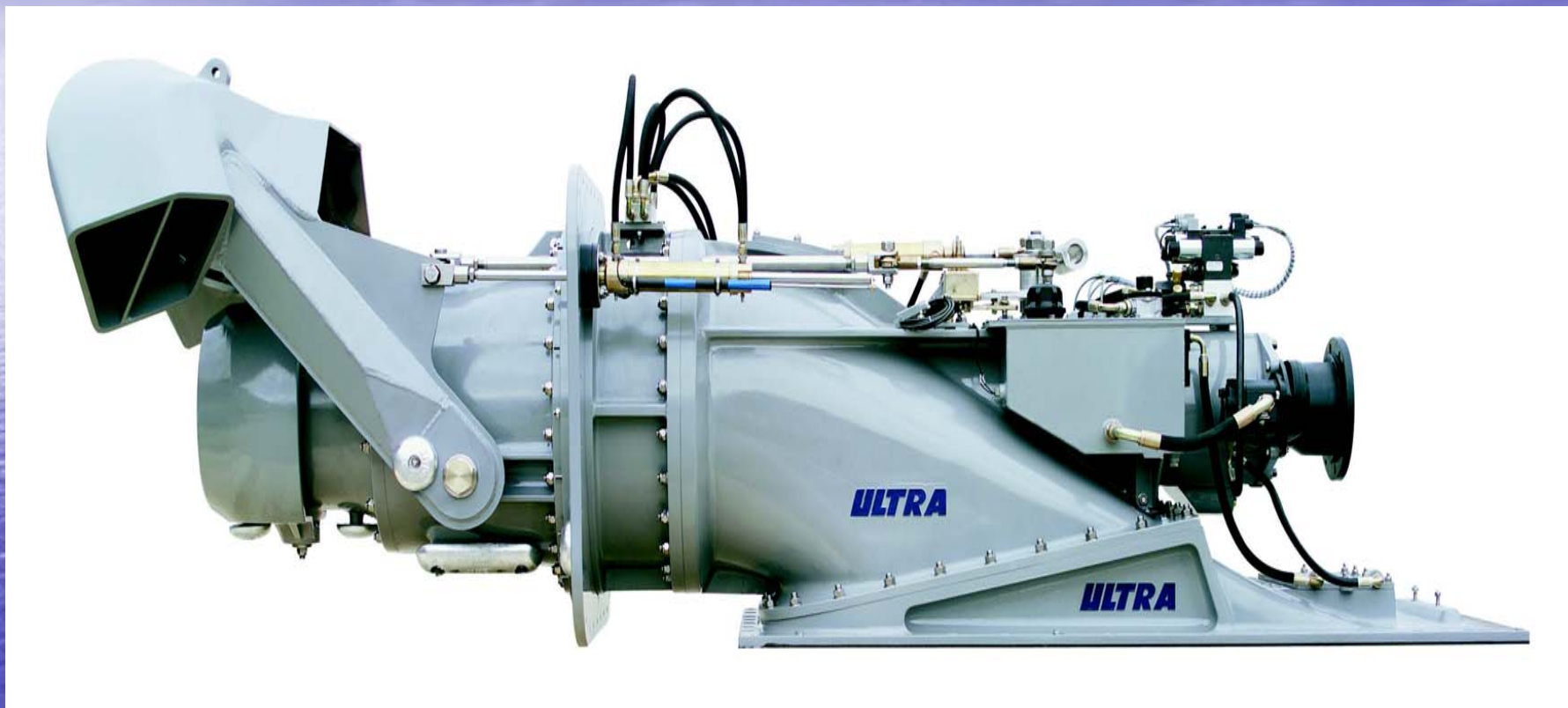
b)



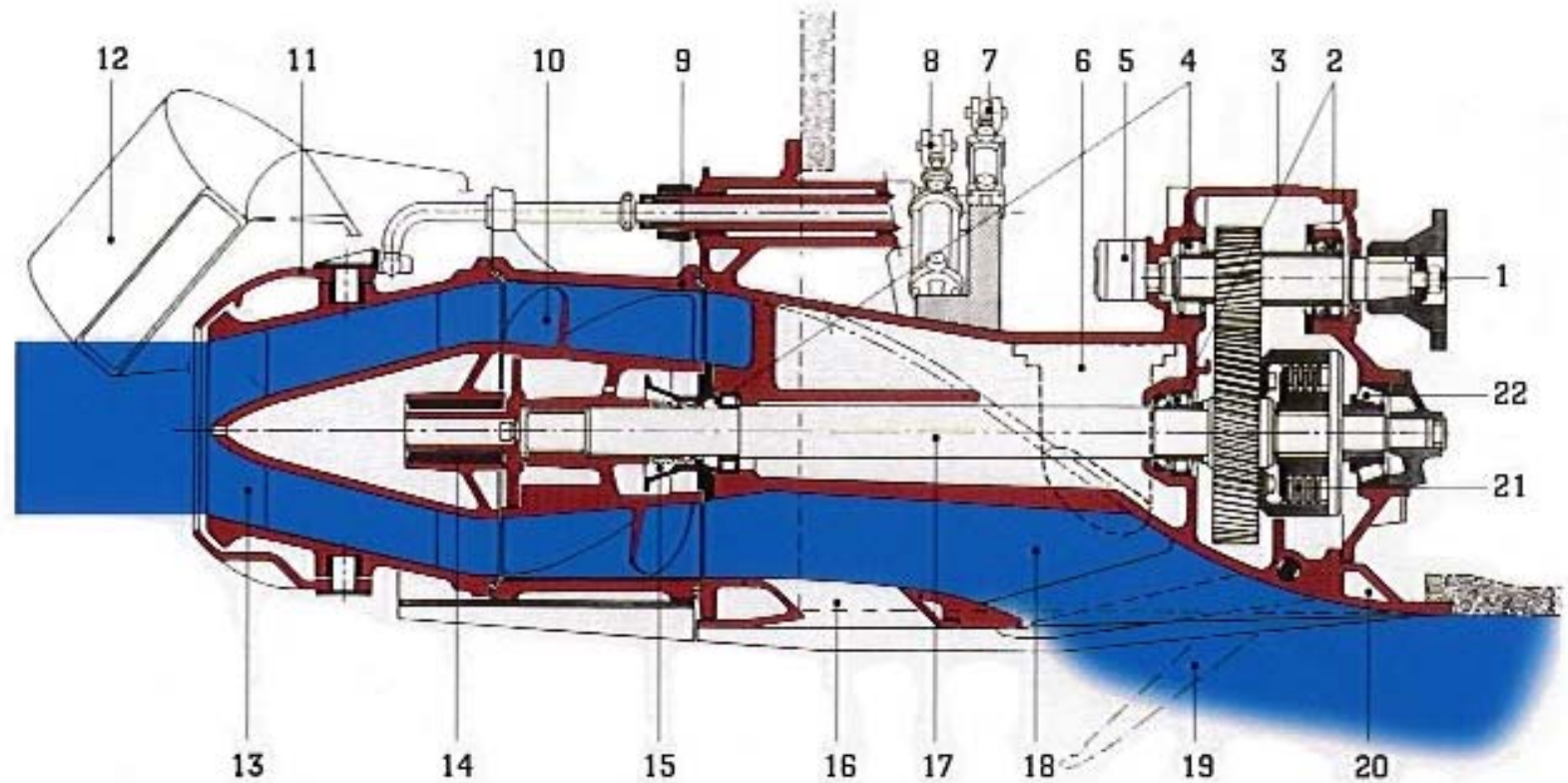
# VOITH SCHNEIDER-UPRAVLJANJE



# VODOMLAZNI PROPULZOR

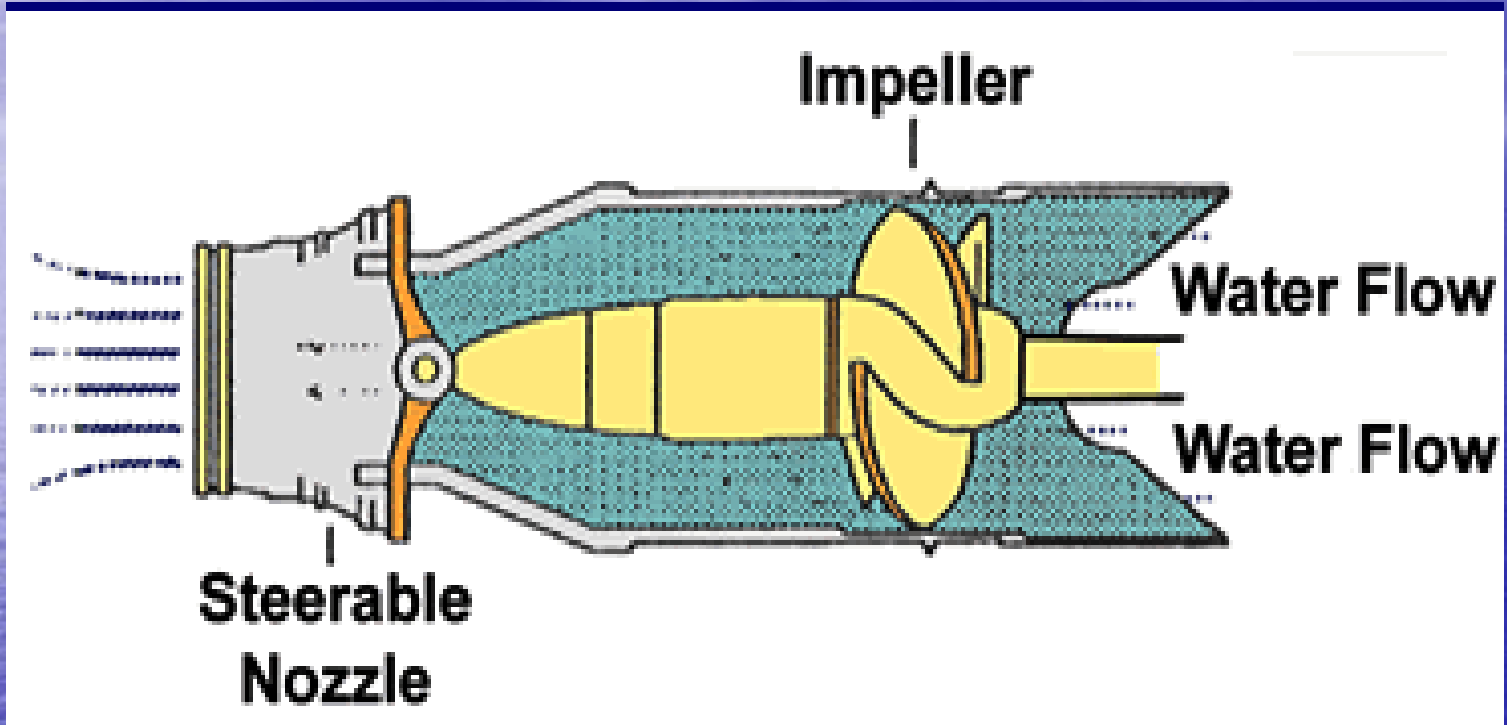


# VODOMLAZNI PROPULZOR - SASTAV



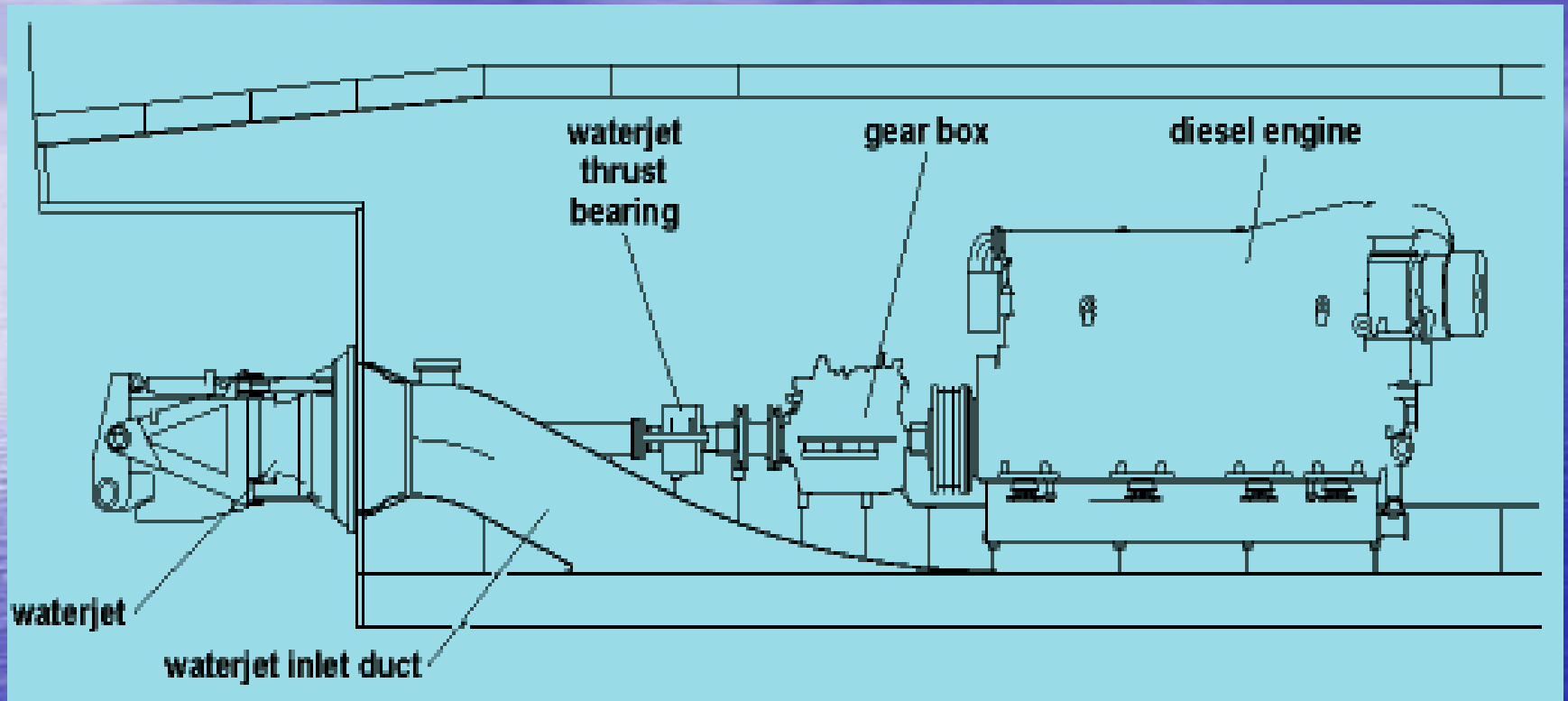


## VODOMLAZNI PROPULZOR - PRINCIP RADA

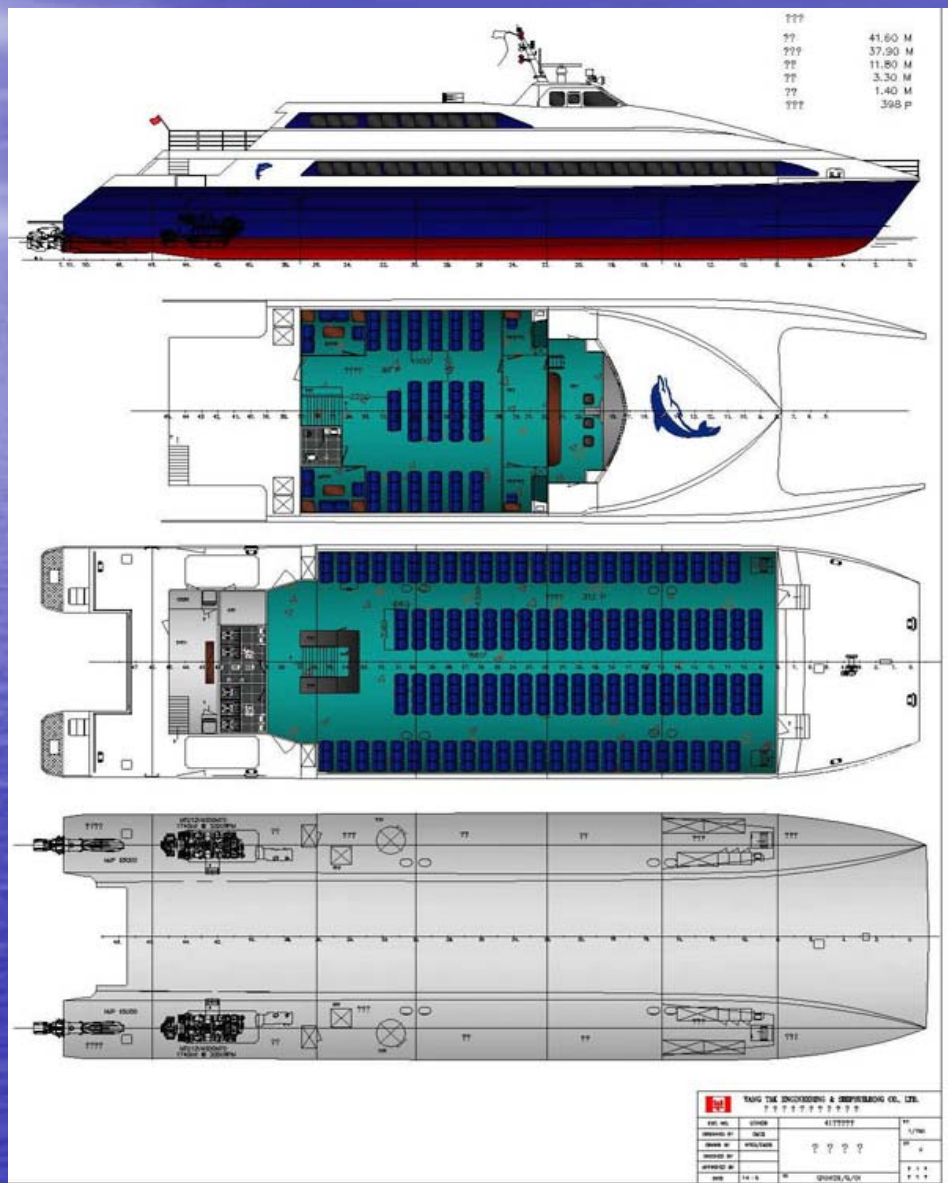


$$T = m \cdot a = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{m}{\Delta t} \cdot \Delta v = \rho \cdot Q \cdot (v_2 - v_1)$$

# PROPULZIJSKI SUSTAV SA VODOMLAZNYM PROPULZOROM



# PRIMJENA VODOMLAZNOG PROPULORA - PUTNIČKI BROD



## Osnovne značajke suvremenih dizelskih motora za pogon malih brodova

- Vrsta pogonskog stroja :
  - Brzohodni, četverotaktni dizelski motor sa turbonabijanjem
- Vrsta goriva : lako dizelsko gorivo ( "marine diesel oil" )
- Broj okretaja : 1800-2100 o/min
- Specifična potrošnja goriva : 205 - 230 g/kWh
- Broj cilindara : 6-12
- Konfiguracija motora : linijski raspored cilindara (6-8 cilindara), V-raspored (10-12 cilindara)
- Prednabijanje zraka za izgaranje i međuhladjak zraka
- Elektronsko upravljanje sa radnim ciklusom, "common rail" sustav
- Kontrolirana emisija NO<sub>x</sub> spojeva u ispušnim plinovima
- Masa motora ("suhi motor"): 1000-2100 kg
- Vrsta pogona : teški uvjeti rada ( "heavy duty" ) – neograničen godišnji broj radnih sati, sa prosječnom snagom do 90%, sa punom snagom do 80% ukupnog godišnjeg fonda radnih sati, tipični prijenosni odnosi u prijenosniku snage(reduktoru)  $i = 2,5 - 6$ .

## BRODSKI BRZOHODNI DIZELSKI MOTOR

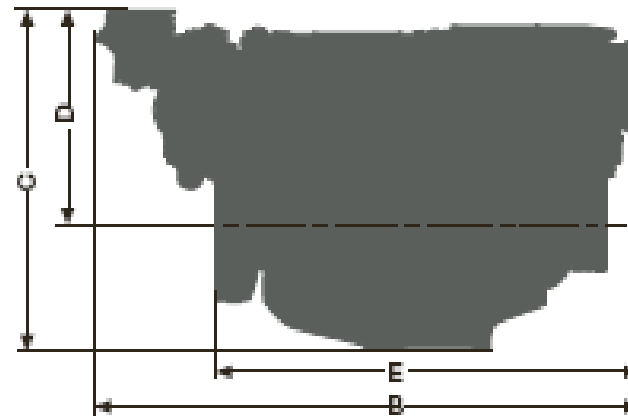
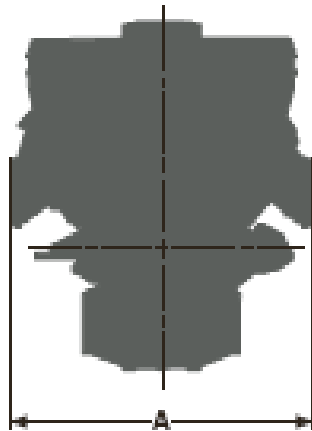


**$P = 882 \text{ KW}$ ;  $n = 2100 \text{ o/min}$ ;  $g_{sp} = 208 \text{ g/kWh}$**

## TEHNIČKI PODACI MOTORA MAN- D2862

- Broj i raspored cilindara: 12, V-izvedba
- Promjer cilindra/hod klipa (mm): 129/157
- Ukupni volumen cilindara (l) : 24,24
- Kompresijski omjer: 17:1
- Maksimalna snaga (kW) / broj okretaja (o/min): 882/2100
- Moment kod nom. broja okretaja (Nm): 4010 kod 2100/min ( $\leq 3000$ h/god)
- Maksimalni moment (Nm) : 4433 kod 1300-1900 0/min
- Specifična potrošnja goriva (g/kWh): 208
- Princip rada: paljenje kompresijom, 4-taktni, vodeno hlađenje, turbonabijanje, međuhladnjak
- Broj ventila po cil. : 4
- Ubrizgavanje goriva: direktno, elektronsko upravljanje ubrizgavanja
- Sustav dobave goriva : common rail

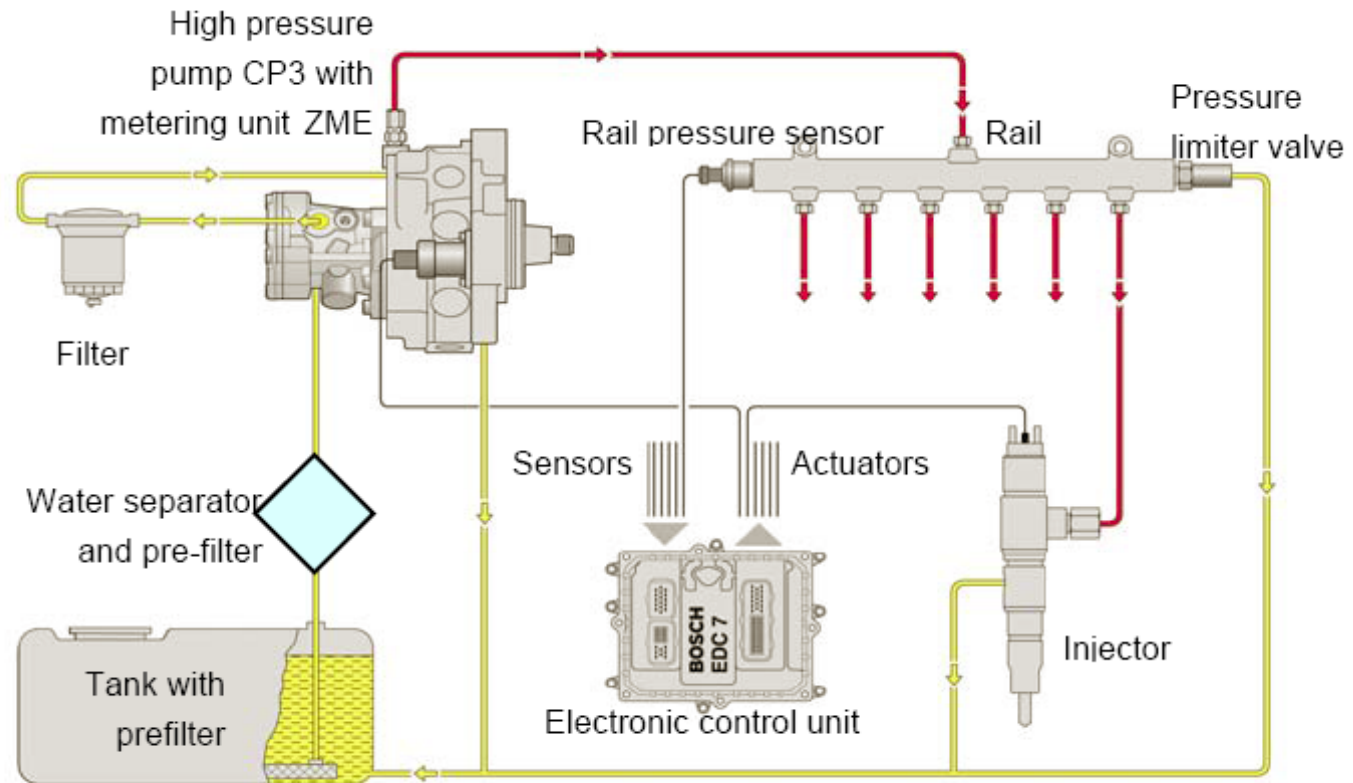
## DIMENZIJSKA SKICA MOTORA MAN - D2862



- $A \text{ (mm)} = 1153$
- $B \text{ (mm)} = 2124$
- $C \text{ (mm)} = 1289$

- $D \text{ (mm)} = 825$
- $E \text{ (mm)} = 1631$
- $M \text{ (kg)} = 2270$

# "COMMON RAIL" TEHNOLOGIJA



PRINCIPIJELNA SHEMA "COMMON RAIL" SUSTAVA DIZELSKOG MOTORA



# EFEKTIVNI PARAMETRI MOTORA

Efektivna snaga motora:

$$P_{ef} = \frac{W_{ef}}{t} = p_{sr,ef} V_s z \frac{2n}{\tau} = \boxed{K_1 p_{sr,ef} n}$$

Srednji efektivni tlak:

$$p_{sr,ef} = \frac{P_{ef} \tau}{2 z n V_s}$$

Efektivni moment motora:

$$M_{ef} = \frac{P_{ef}}{\omega} = p_{sr,ef} V_s z \frac{2n}{\tau 2\pi n} = p_{sr,ef} V_s \frac{z}{\tau \pi} = \boxed{K_2 p_{sr,ef}}$$

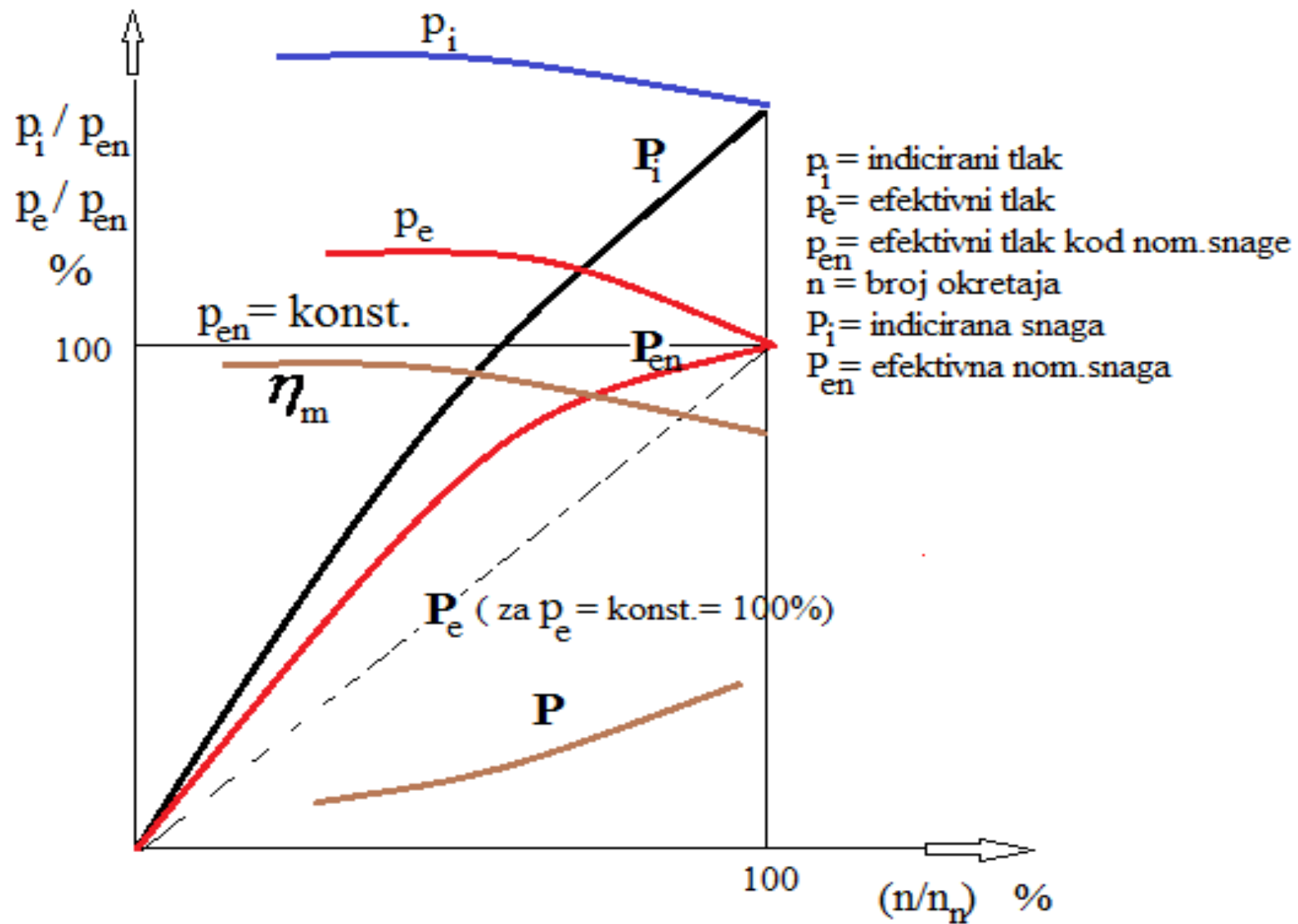
Specifična efektivna potrošnja goriva:

$$b_e = \frac{\dot{m}_g}{P_{ef}} \quad P_{ef} = \eta_{ef} \dot{m}_g H_d$$

$$b_e = \frac{\dot{m}_g}{P_{ef}} = \frac{\dot{m}_g}{\eta_{ef} \dot{m}_g H_d} = \frac{1}{\eta_{ef} H_d}$$

$$b_e = \frac{3,6}{\eta_e \cdot H_D}$$

# KARAKTERISTIKE DIZELSKOG MOTORA



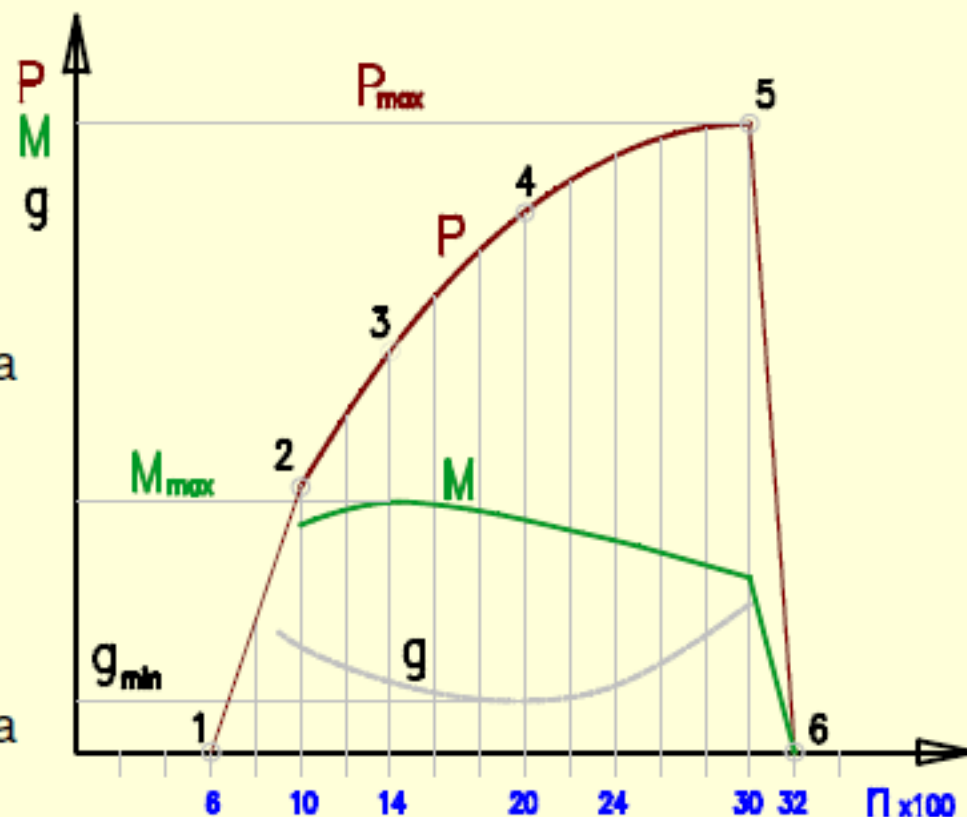
# Snaga motora



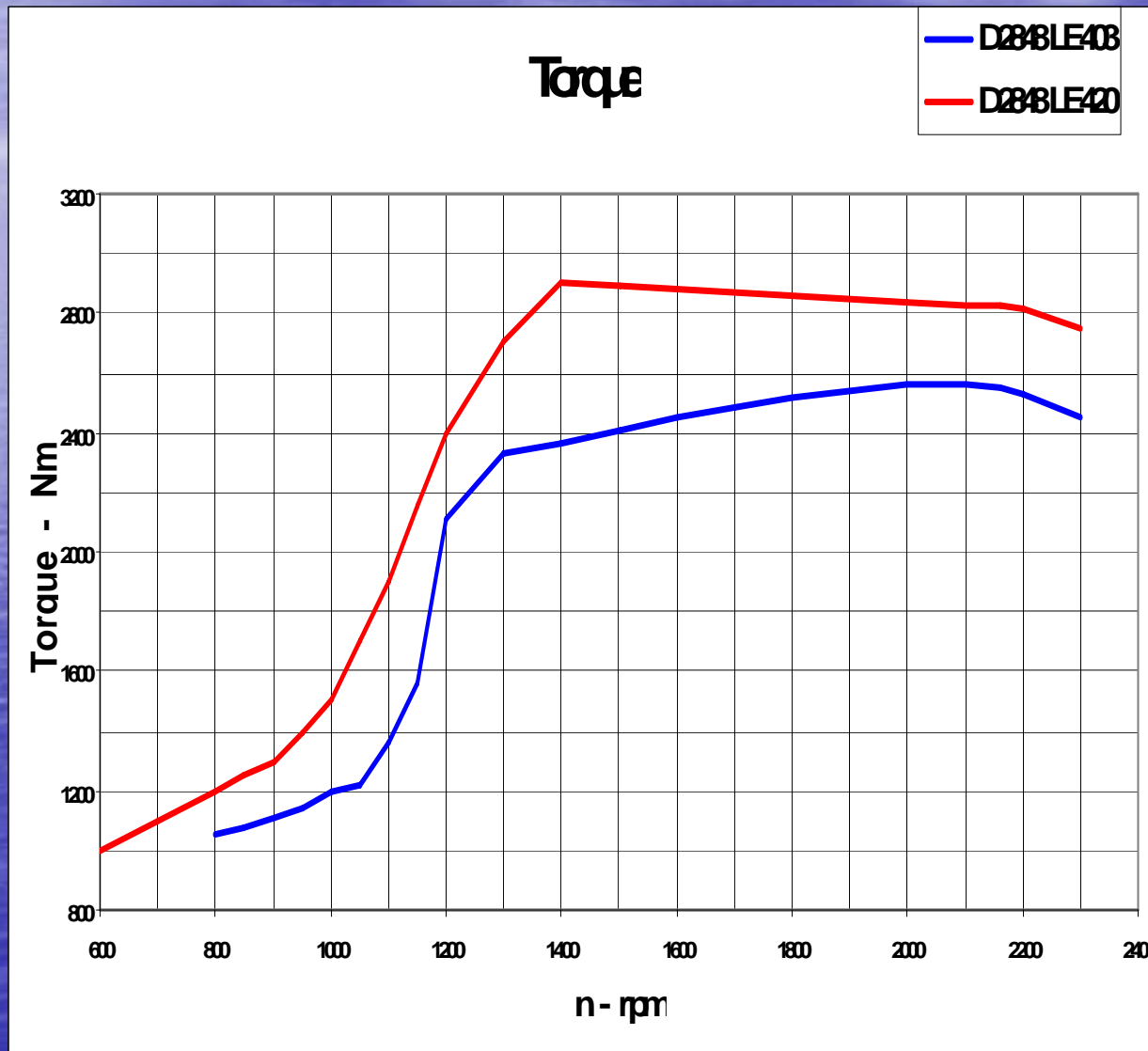
Mjerenjem pri raznim režimima rada dobiju se različiti dijagrami snage i momenta.

a) **Vanjska karakteristika motora** - mjerenje pri **pri punoj dobavi goriva** ("puni gas") – mijenja se opterećenje motora momentom na kočnici

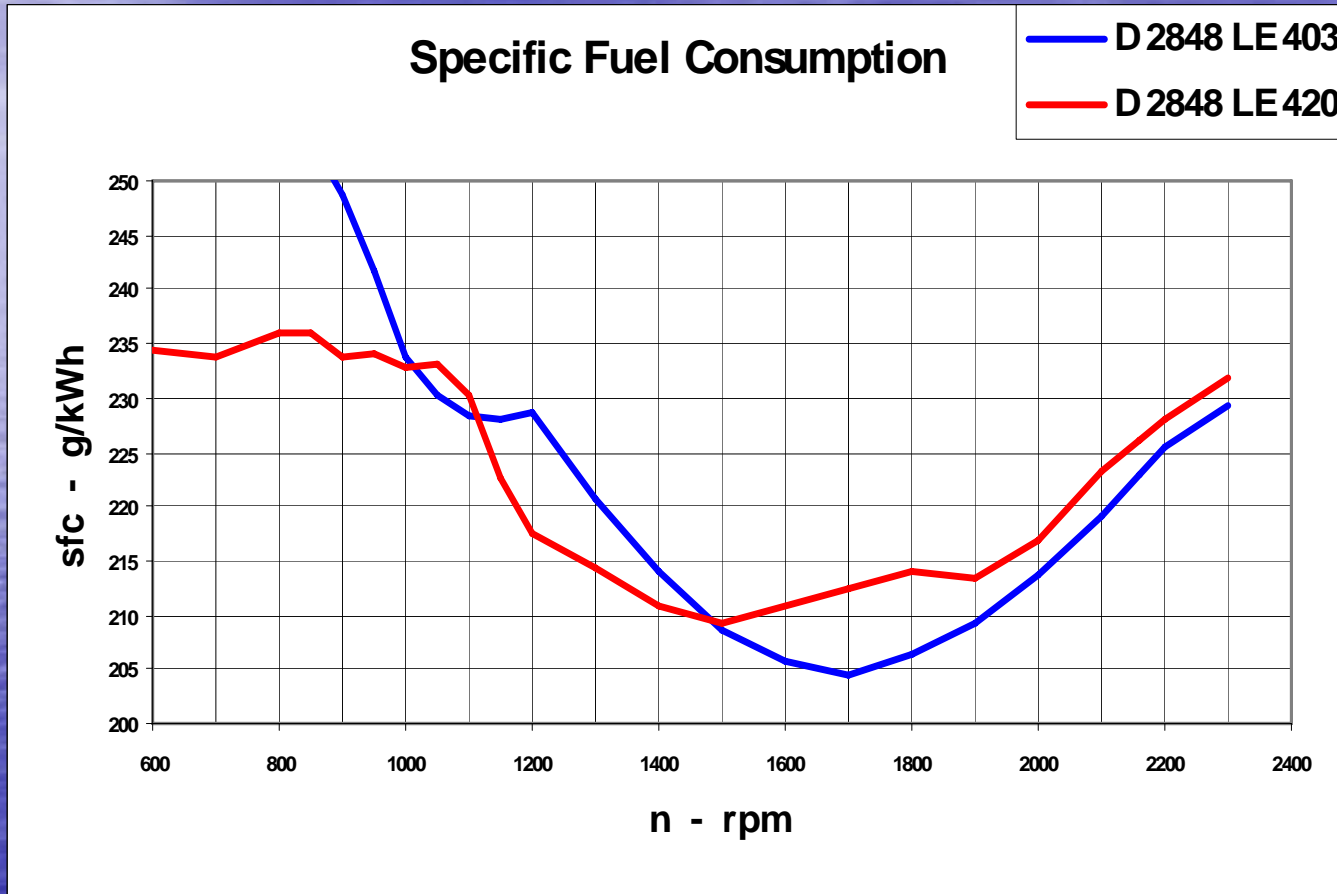
- 1 – min. brzina vrtnje – **prazni hod** u kojem motor radi mirno bez opterećenja
- 2 – brzina vrtnje pri kojoj je motor spreman podnijeti opterećenje
- 3 - brzina vrtnje pri kojoj motor razvija **maks. moment**
- 4 - brzina vrtnje pri **najnižoj specifičnoj potrošnji goriva** (g/kWh)
- 5 - brzina vrtnje pri kojoj motor razvija **najveću snagu**
- 6 – **maks. brzina** vrtnje pri kojoj regulator prekida dovod goriva



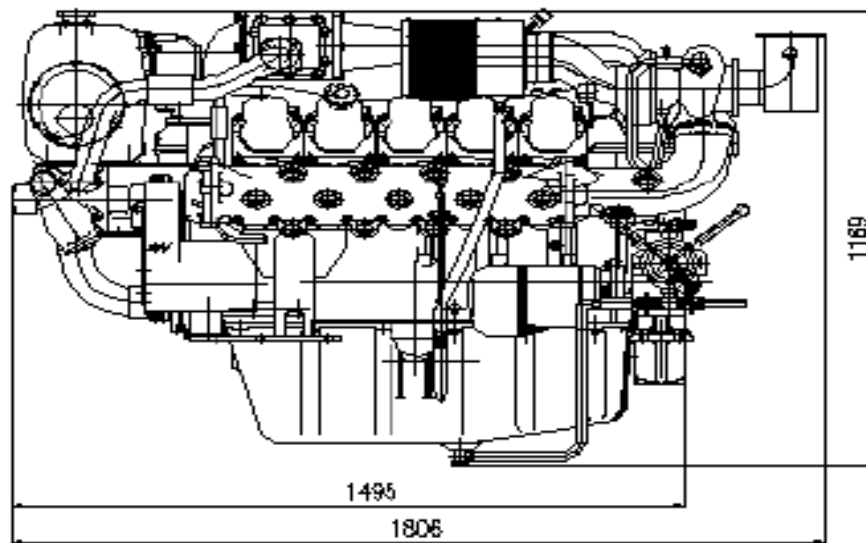
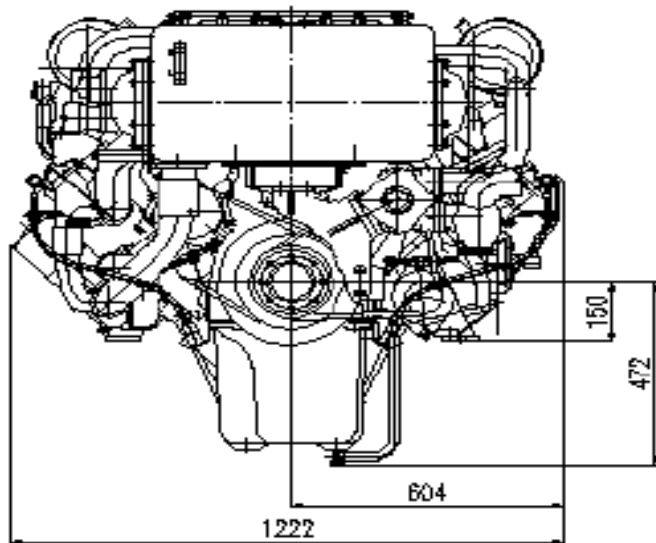
# Sl.19 Dijagram momenta brzohodnog broskog dizelskog motora "MAN"



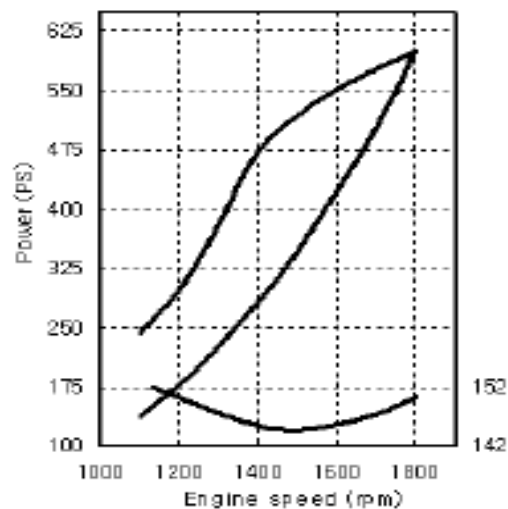
## Sl.20 Prikaz zavisnosti specifične potrošnje goriva brzhodnog dizelskog motora o broju okretaja



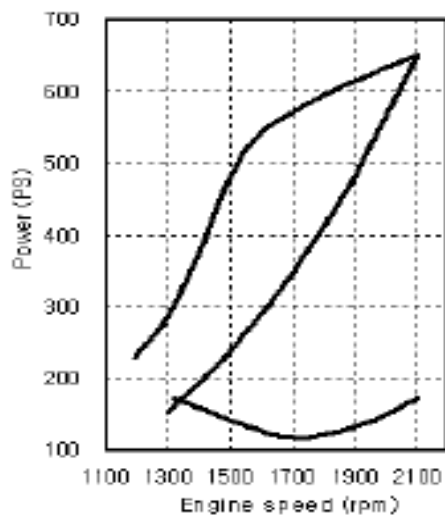
# Sl.18 Mjerna skica brodskog brzohodnog dizelskog motora sa dijagramima snage i specifične potrošnje goriva



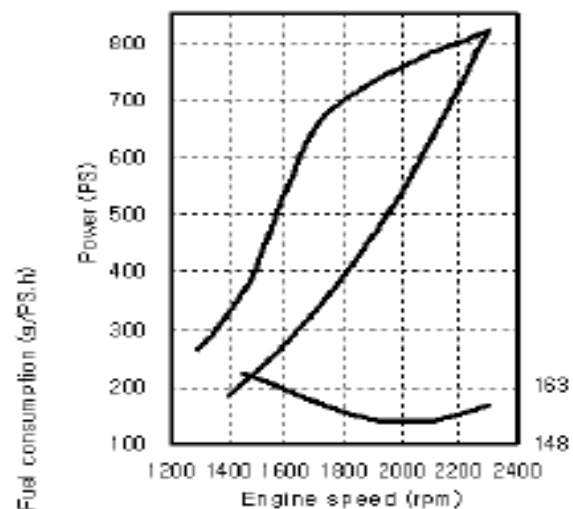
Heavy Duty



Medium Duty

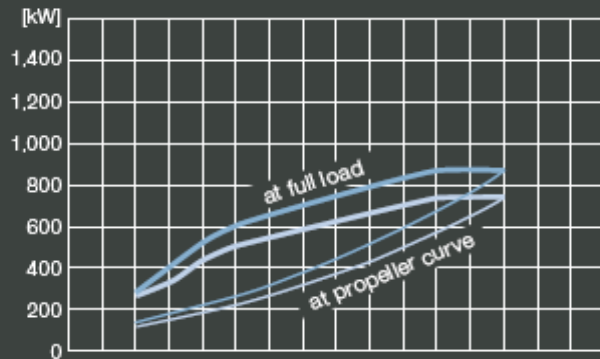


Light Duty

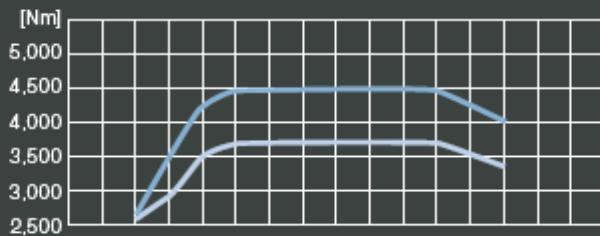


# RADNE ZNAČAJKE BRODSKOG DIZELSKOG MOTORA

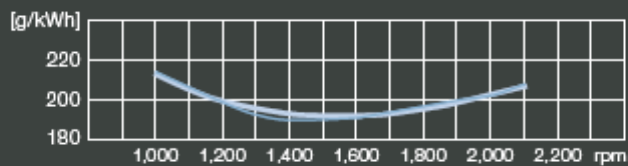
Power



Torque

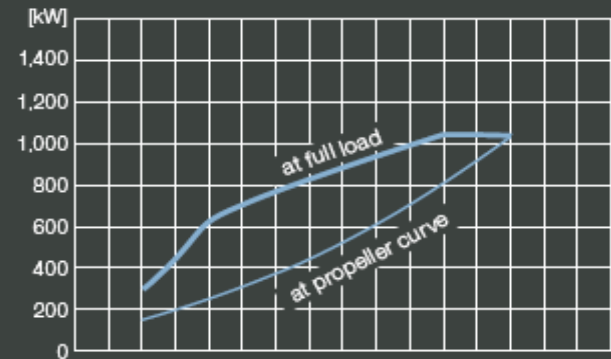


Specific fuel consumption (full load)

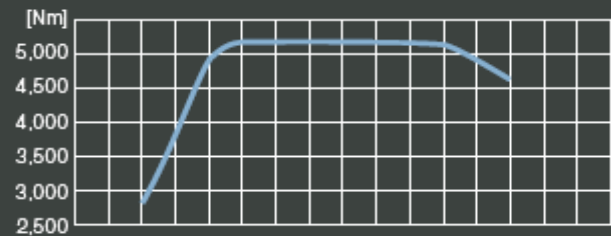


- D2862 LE432 (882 kW, 2,100 rpm)
- D2862 LE422 (735 kW, 2,100 rpm)

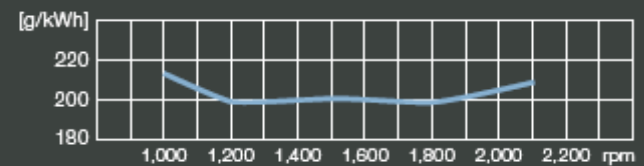
Power



Torque



Specific fuel consumption (full load)



- D2862 LE463 (1,029 kW, 2,100 rpm)

Tablica 2 Prikaz tehničkih podataka brodskog brzohodnog dizelskog motora



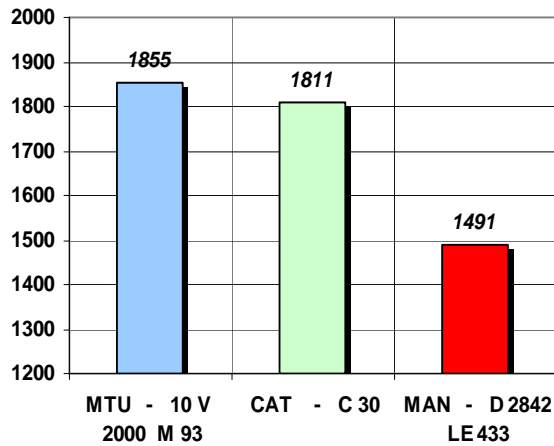
Technical Data of main propulsion engines

		D 2842 LE409	D 2842 LE410	D 2842 LE411	D 2842 LE412	D 2842 LE413	D 2842 LE416
Power ISO 3046 / 1	kW / PS	1103 / 1500	809 / 1100	735 / 1000	588 / 800	735 / 1000	809 / 1100
Engine speed	1 / min	2300	2100	2300	1800	2100	2300
Fuel consumption	g / kWh	238	210	222	208	227	218
Combustion air	m <sup>3</sup> / h	5160	3740	3360	2880	3490	4030
Amount of heat to be dissipated from engine cooling circuit	kW	860	450	500	390	515	500
Coolant circulation, min.	m <sup>3</sup> / h	55	50	55	43,2	50,4	55
Amount of heat to be dissipated from inter-cooler	kW	Stufe 1 / 2 225 / 95	163	155	100	160	175
Delivery rate, sea water pump	m <sup>3</sup> / h	37,5	34	37,5	29	34	37,5
Exhaust gas mass flow	kg / h	5980	4510	4050	3460	4220	4850
Exhaust gas temperature	°C	520	430	390	360	460	420
Exhaust gas volume flow	m <sup>3</sup> / h	11950	9230	7710	6300	8930	9650
Radiation, convection	kW	160	50	110	55	90	50
Delivery rate, fuel supply pump	l / h	750	700	750	600	500	750
Engine weight, dry	kg	2160	1860	1790	1790	1790	1860

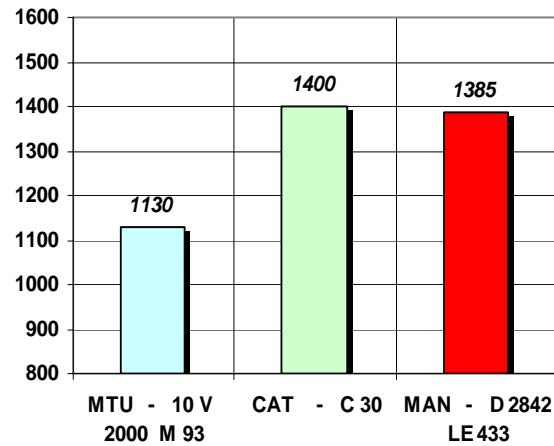


# Sl.21 Usporedni prikaz nekih tehničkih značajki brodskih brzohodnih dizelskih motora različitih proizvođača

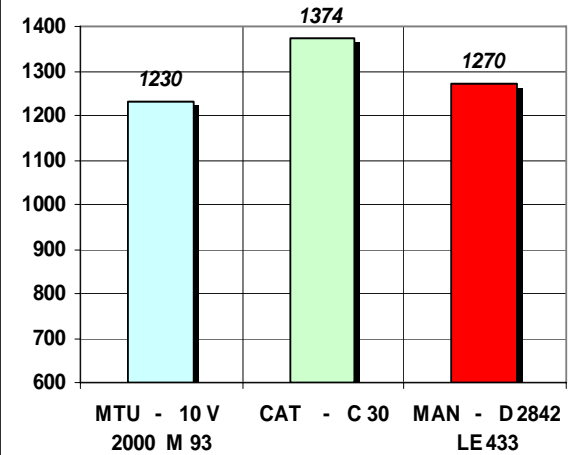
### Length - mm



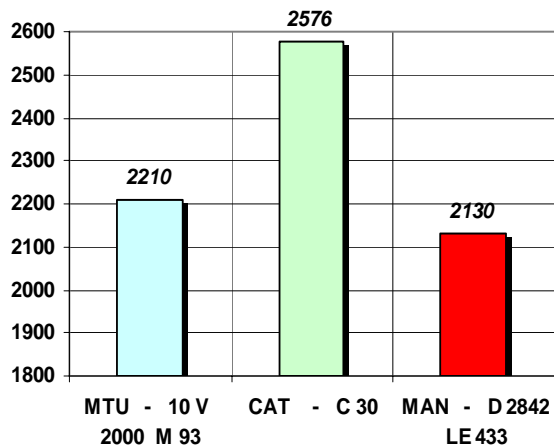
### Width - mm



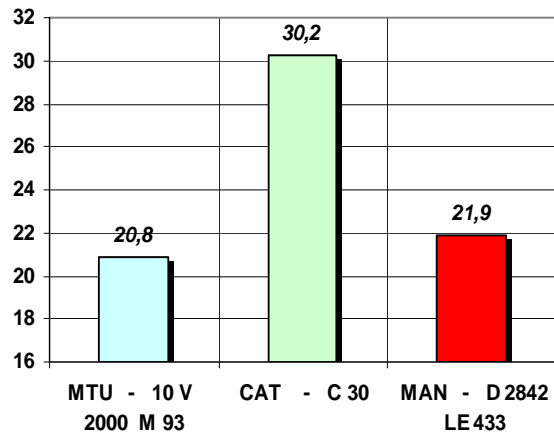
### Height - mm



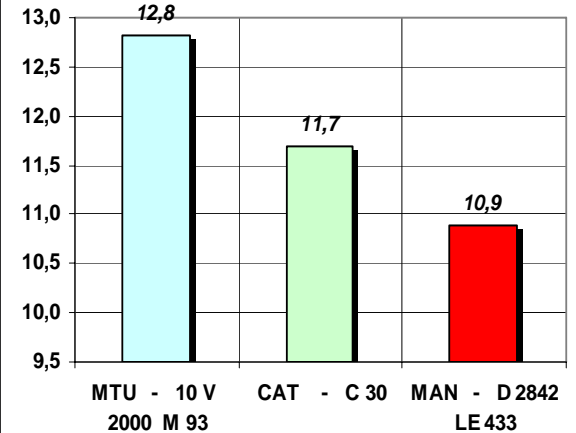
### Weight - kg



### Displacement - dm<sup>3</sup>



### Velocity of the Piston - m/s



## RADNO PODRUČJE BRODSKOG POGONSKOG DIZELSKOG MOTORA

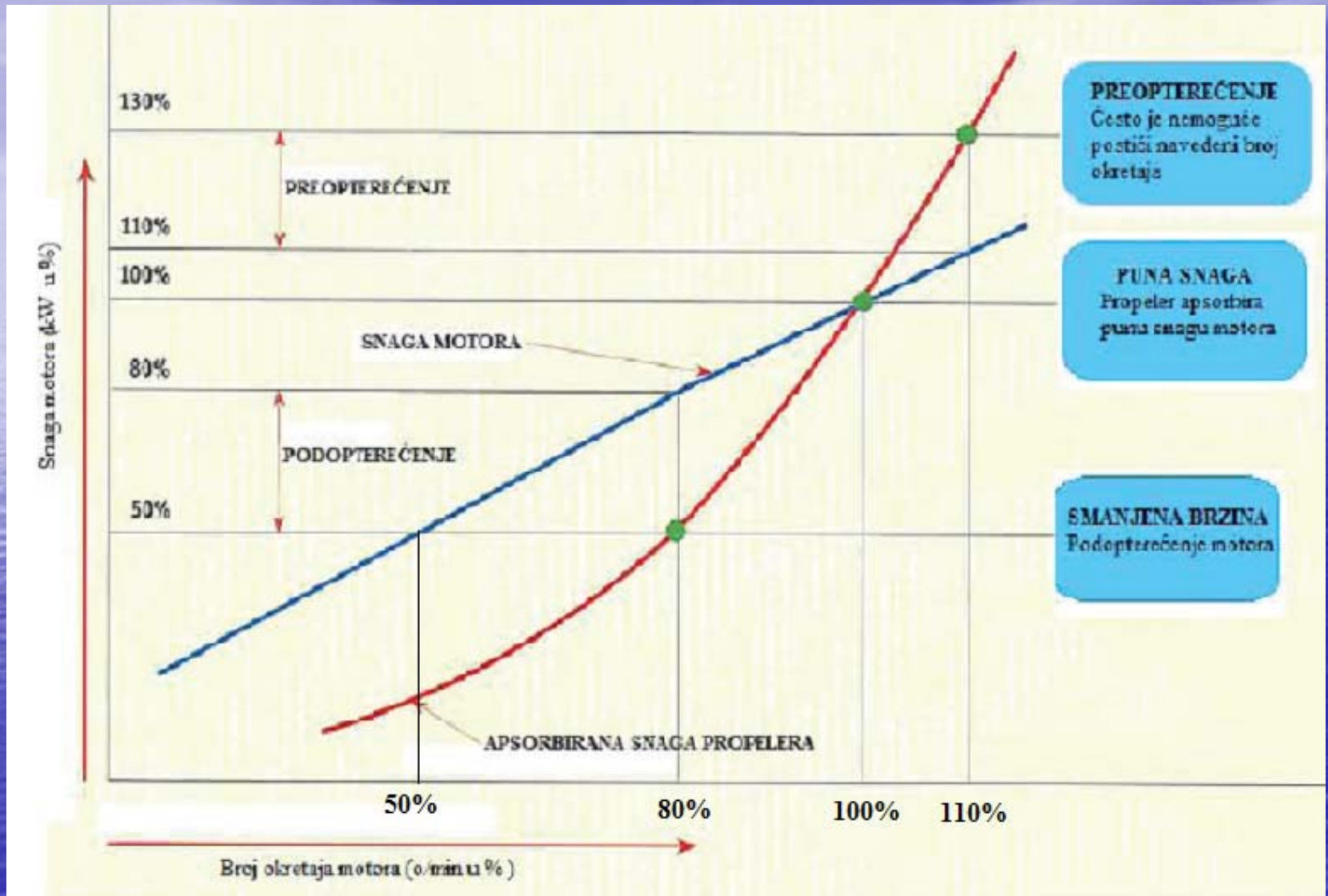
- Kod većine trgovačkih brodova pogonski stroj se odabire na temelju poznate radne karakteristike propulzora za karakteristični režim plovidbe. U slučaju trgovačkih brodova koji velikim dijelom svog životnog vijeka plove u istom režimu, takav pristup je zadovoljavajući. Međutim, u slučaju kad se radi o specijalnim tipovima brodova, čija namjena podrazumijeva plovidbu u različitim režimima, a čiji je tipični predstavnik "mali" brod, potrebno je izvršiti detaljniju analizu interakcije propulzora i pogonskog stroja u različitim režimima plovidbe. Faktori koji određuju radno područje dizelskog motora su:
  - minimalna brzina vrtnje pri kojem je rad motora još uvijek stabilan,
  - minimalni prosječni tlak u cilindru motora,
  - prosječni maksimalni tlak u cilindru motora,
  - maksimalna brzina vrtnje motora,
  - maksimalna snaga koju razvija motor pri određenoj brzini vrtnje motora.

- U stabilnom radnom području dizelskog motora, (35-110)%  $n_{nom}$  snaga dizelskog motora se mijenja proporcionalno sa brojem okretaja.
- Apsorpcija snage od strane vijka mijenja se prema "propelerskoj karakteristici" (Sl.4):

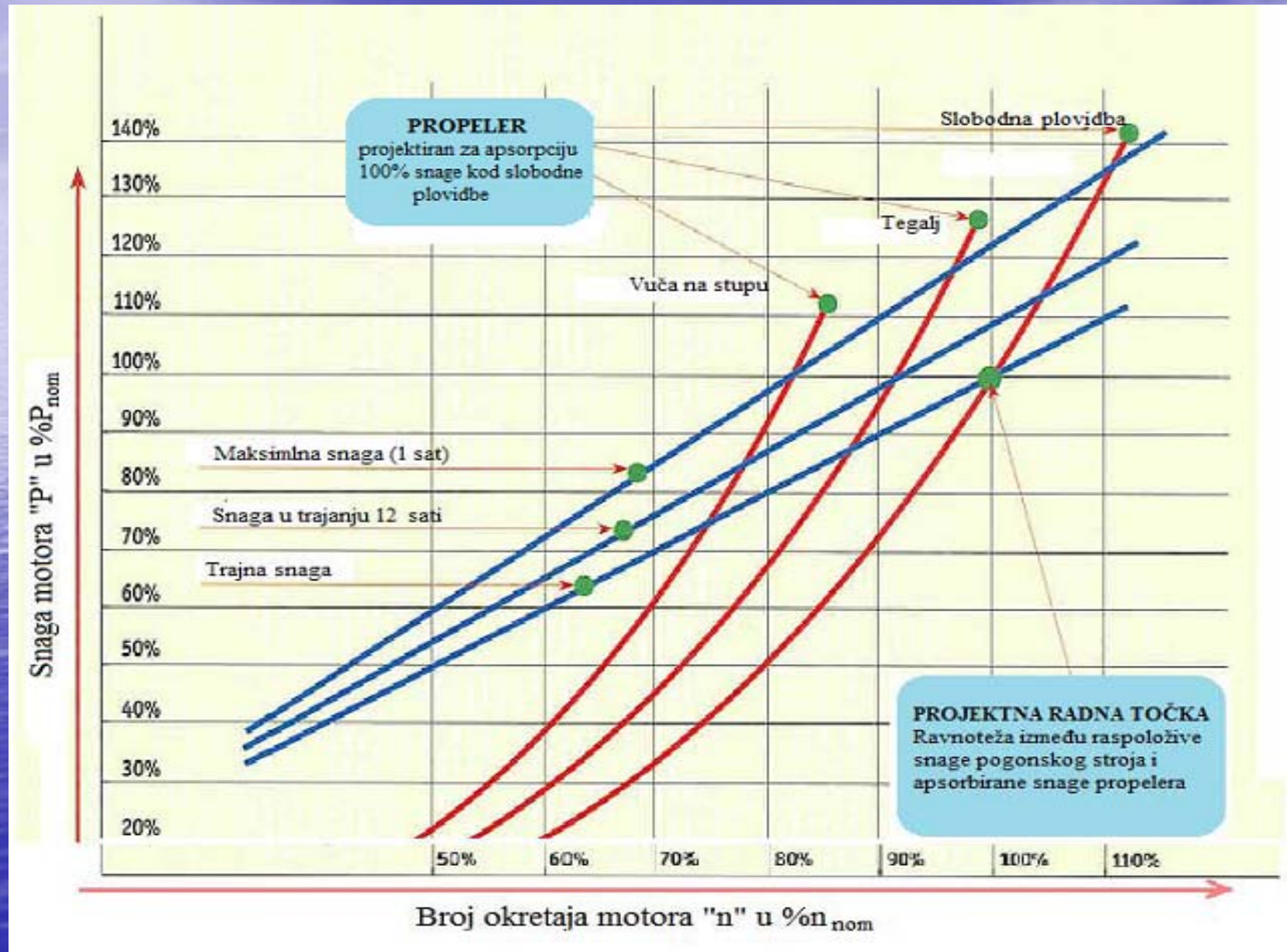
$$P_1 : P_2 = n_1^3 : n_2^3$$

- Pravila za optimalan projekt vijka (Sl.5) :
  - apsorpcija 90% nominalne snage motora kod 1,03-1,05  $n_{nom}$  (pokusna plovidba),
  - apsorpcija 80% nominalne snage motora kod  $n_{nom}$  (eksploatacija),
  - apsorpcija 100% nominalne snage kod  $n_{nom}$  (obraštanje trupa – "otežani vijak").

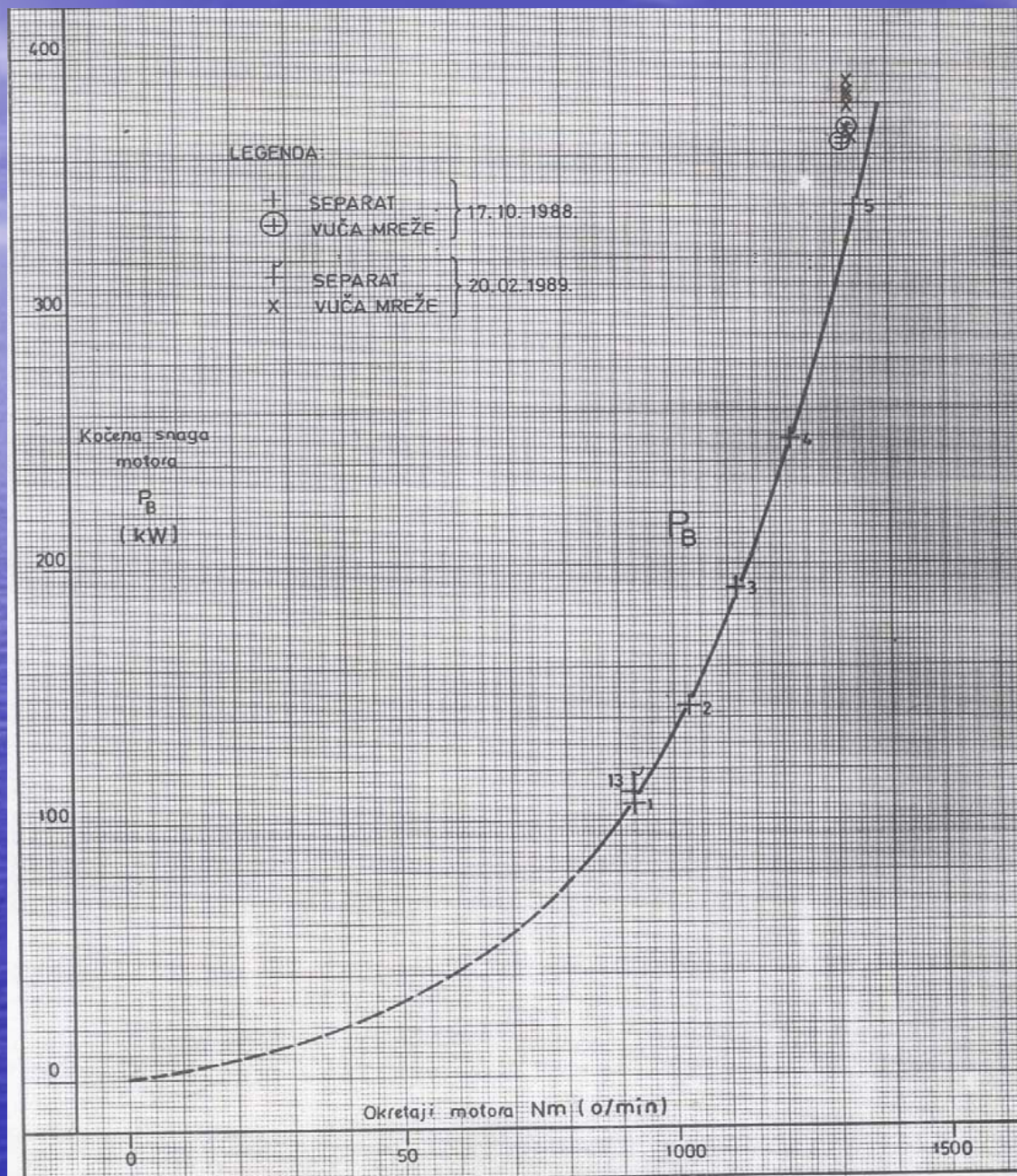
# ZAJEDNIČKA KARAKTERISTIKA MOTOR-PROPELER



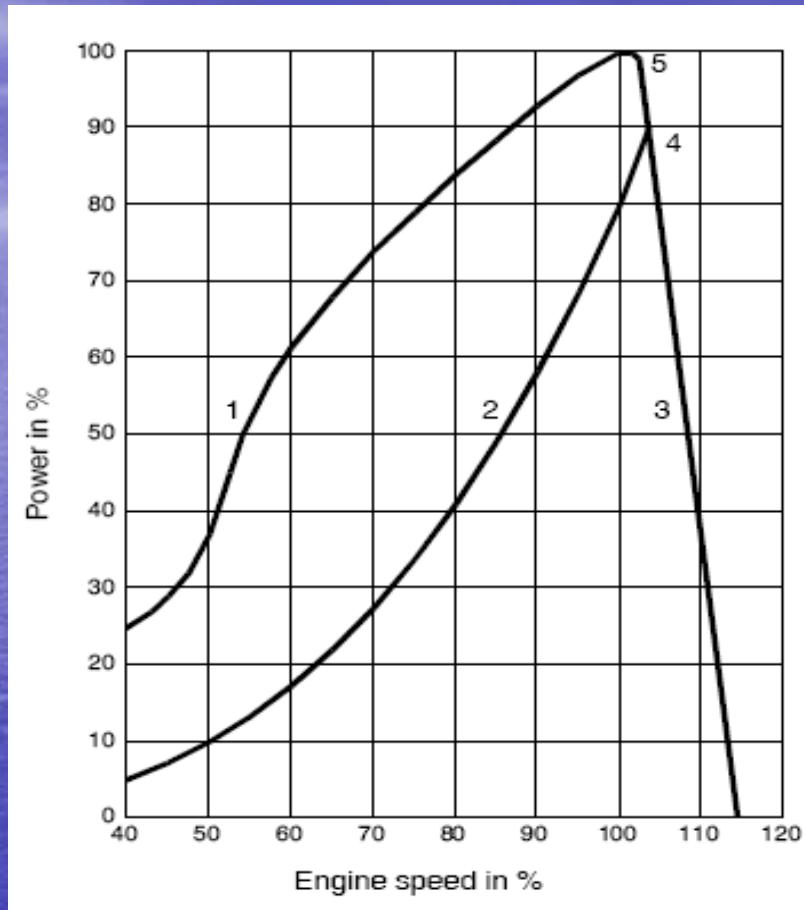
# APSORPCIJSKE KARAKTERISTIKE PROPELERA, SNAGE MOTORA



# Tipični dijagram apsorpcije snage vijka sa konstantnim usponom (ribarski brod-kočar)



# Dijagram zajedničkog rada brzohodnog dizelskog motora i vijka sa konstantnim usponom



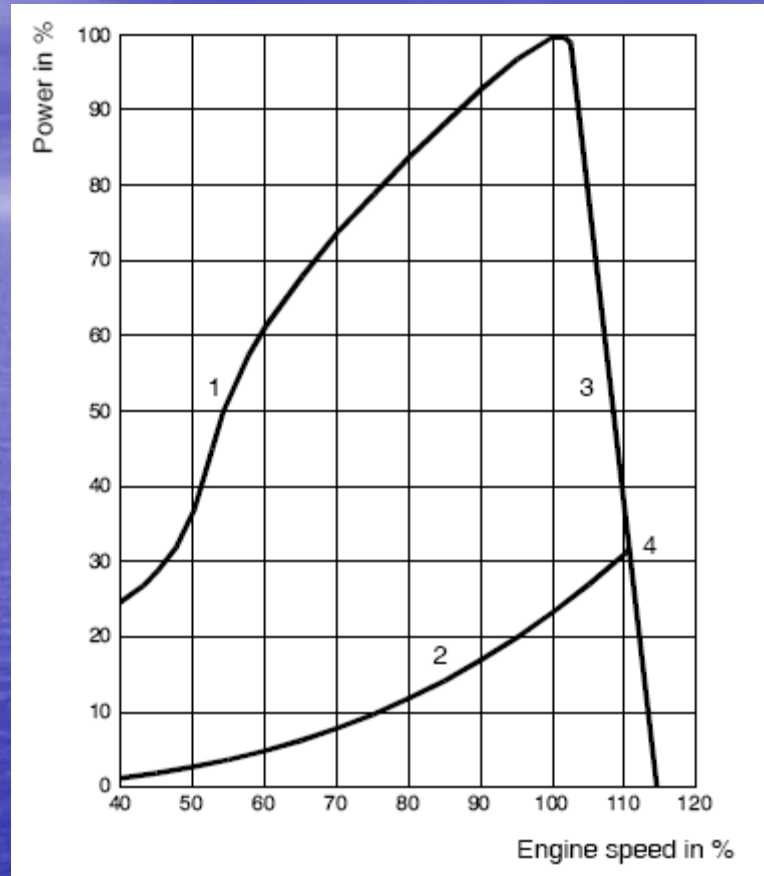
- 1- Krivulja snage dizelskog motora
- 2- Krivulja apsorbirane snage vijka
- 3- Granična krivulja snage

- 4- Radna točka (novi brod),  $90\% P_{MCR}$ ,  $103\% n_{NOM}$
- 5- Radna točka (obraštanje trupa)

- “Laki vijak”:
  - Vijak ne može preuzeti raspoloživu snagu pogonskog stroja. Poriv i brzina broda su premaleni. U svim točkama radnoga područja raspoloživa snaga pogonskog stroja je veća od apsorbirane snage, radna točka se uspostavlja na “graničnom pravcu ” kod broja okretaja koji je veći od nominalnog.
- “Teški vijak” :
  - U jednom dijelu radnog područja pogonskog motora snaga koju zahtjeva vijak veća je od raspoložive snage motora. Povećavanjem broja okretaja prema nazivnom broju okretaja dolazi do preopterećenja motora. Posljedice preopterećenja :
    - nepotpuno i nepravilno izgaranje, pojava crnog dima u ispuhu motora,
    - porast temperature motora,
    - pojačano trošenje dijelova motora.



# Dijagram zajedničkog rada brzohodnog dizelskog motora i "lakog vijka"



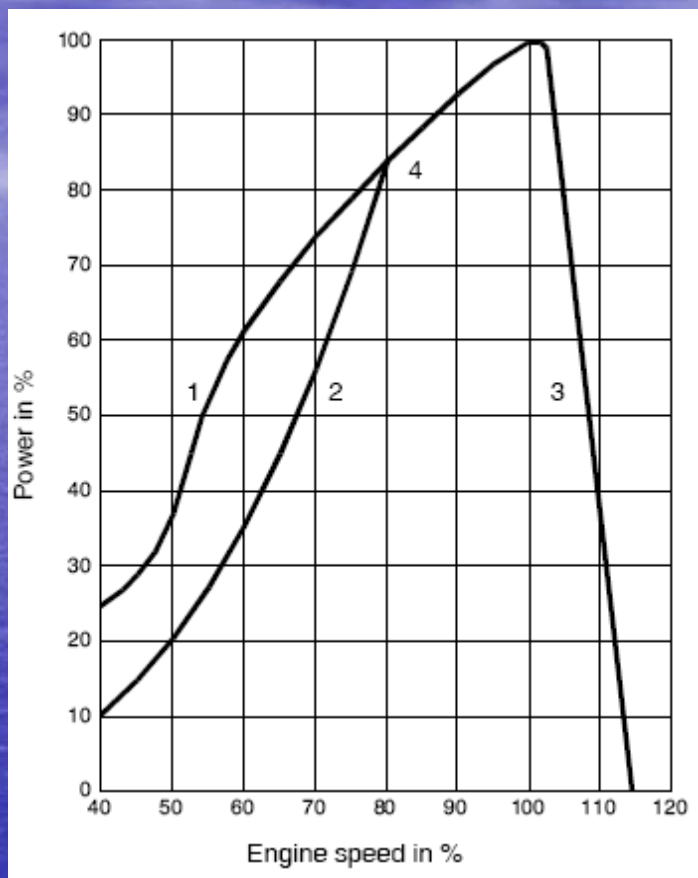
1- Krivulja snage dizelskog motora

2- Krivulja "lakog vijka"

3- Granična krivulja snage

4- Radna točka (novi brod), 30%  $P_{MCR}$ , 110%  $n_{NOM}$

## Dijagram zajedničkog rada brzohodnog dizelskog motora i "teškog vijka"



- 1- Krivulja snage dizelskog motora
- 2- Krivulja "teškog vijka"
- 3- Granična krivulja snage

4- Radna točka  $80\% P_{MCR}$ ,  $80\% n_{NOM}$   
Kod  $n_{NOM}$  ----- > preopterećenje

# 8.0 VRATILNI VOD

## VRATILNI VOD – POLAGANJE (CENTRACIJA)

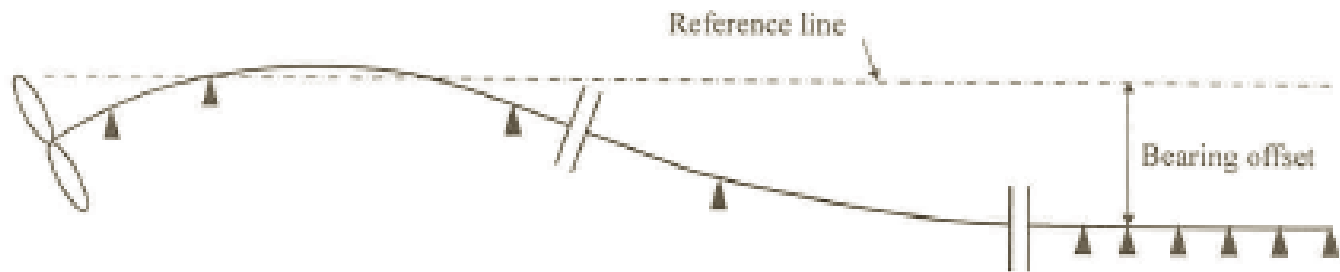
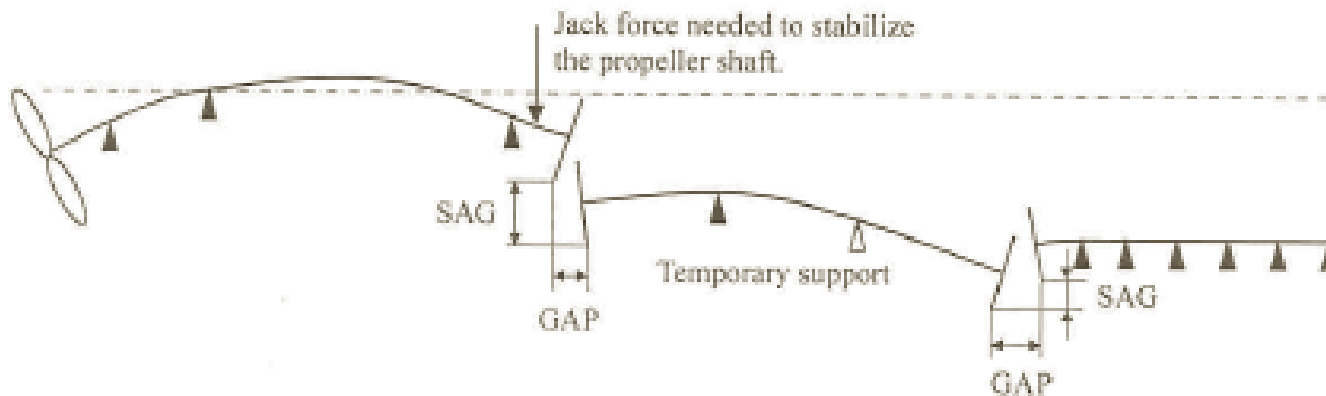
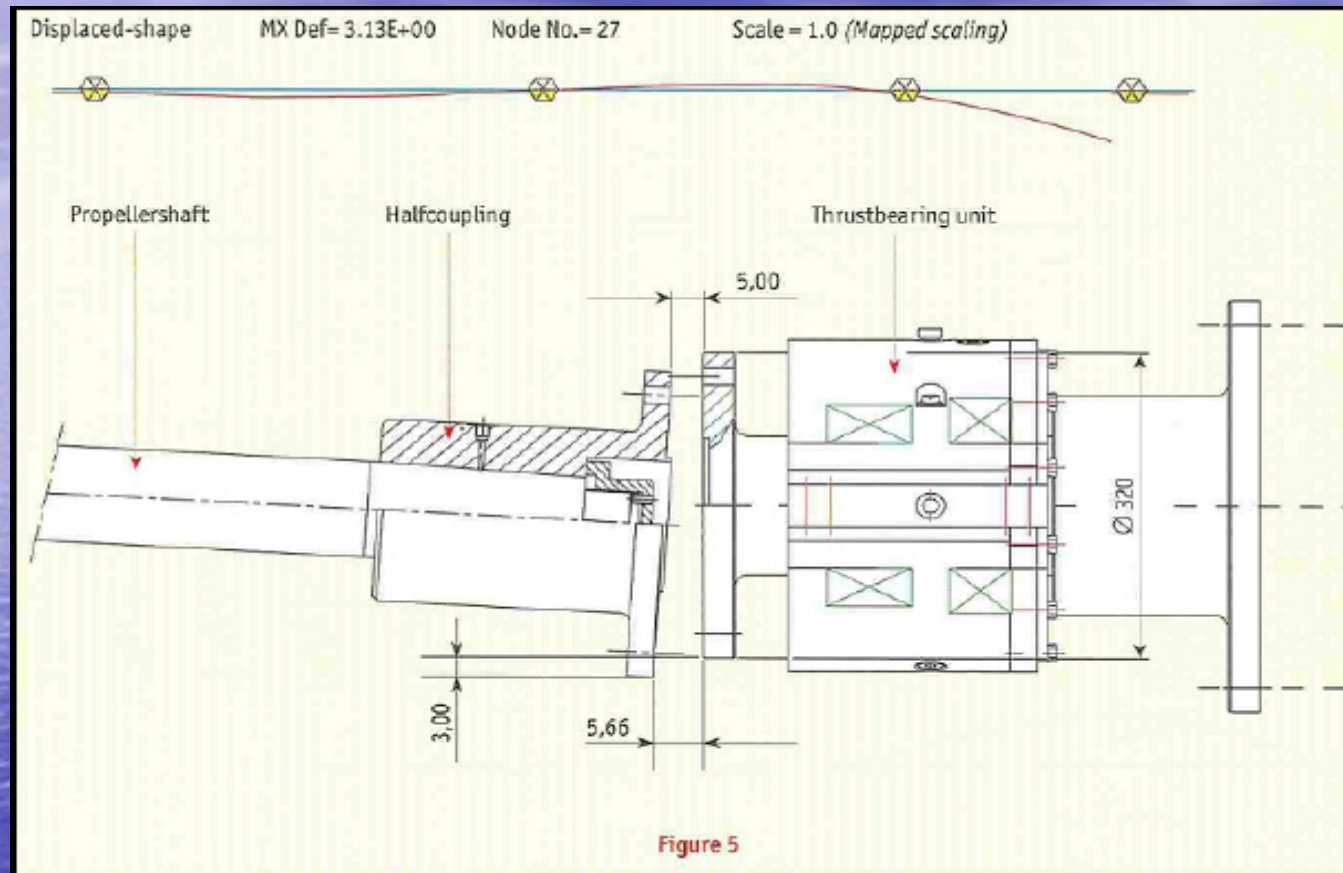


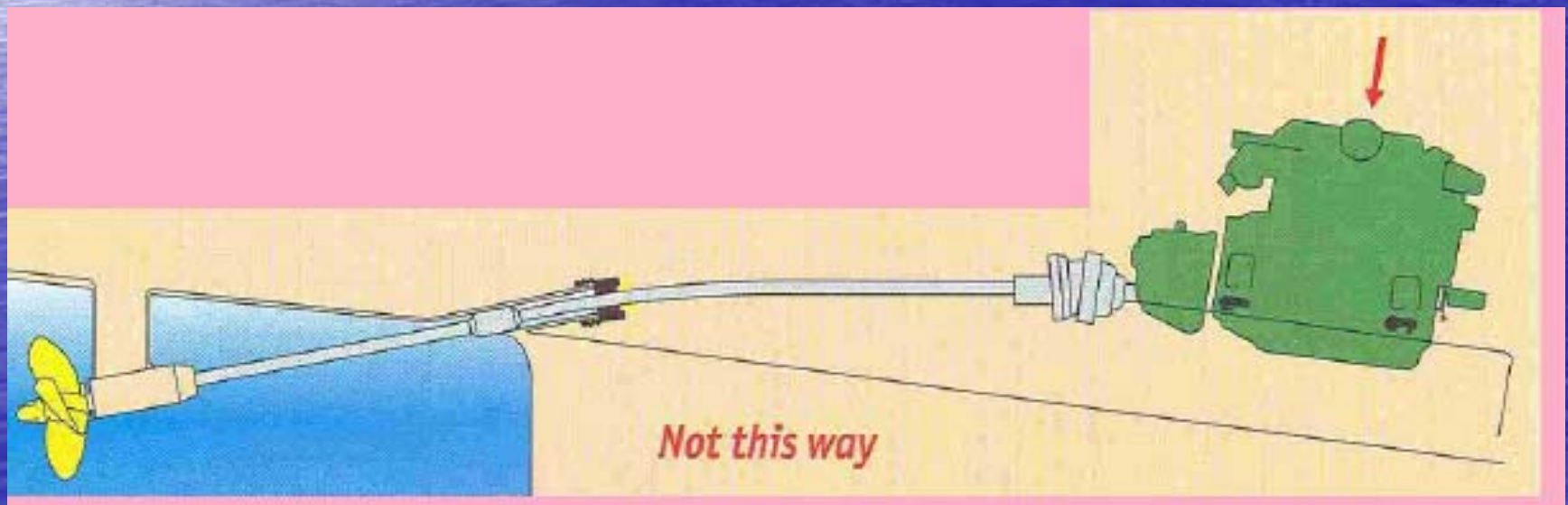
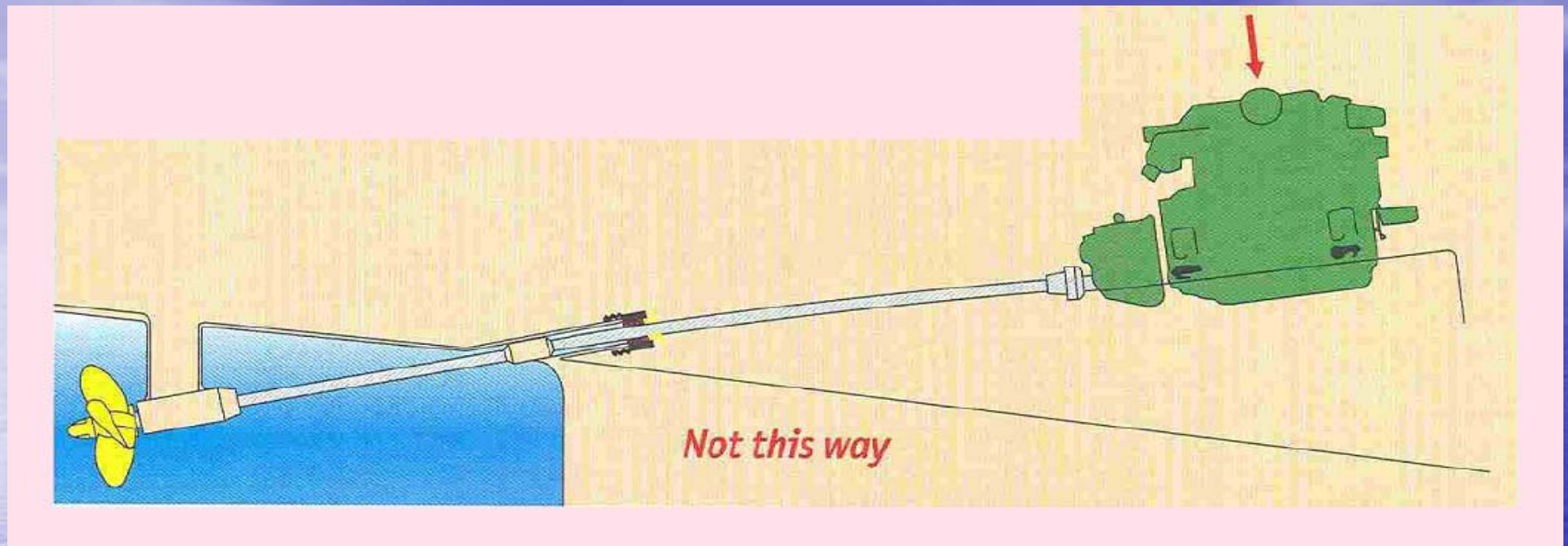
Fig. 2.1 Calculated shaft alignment.



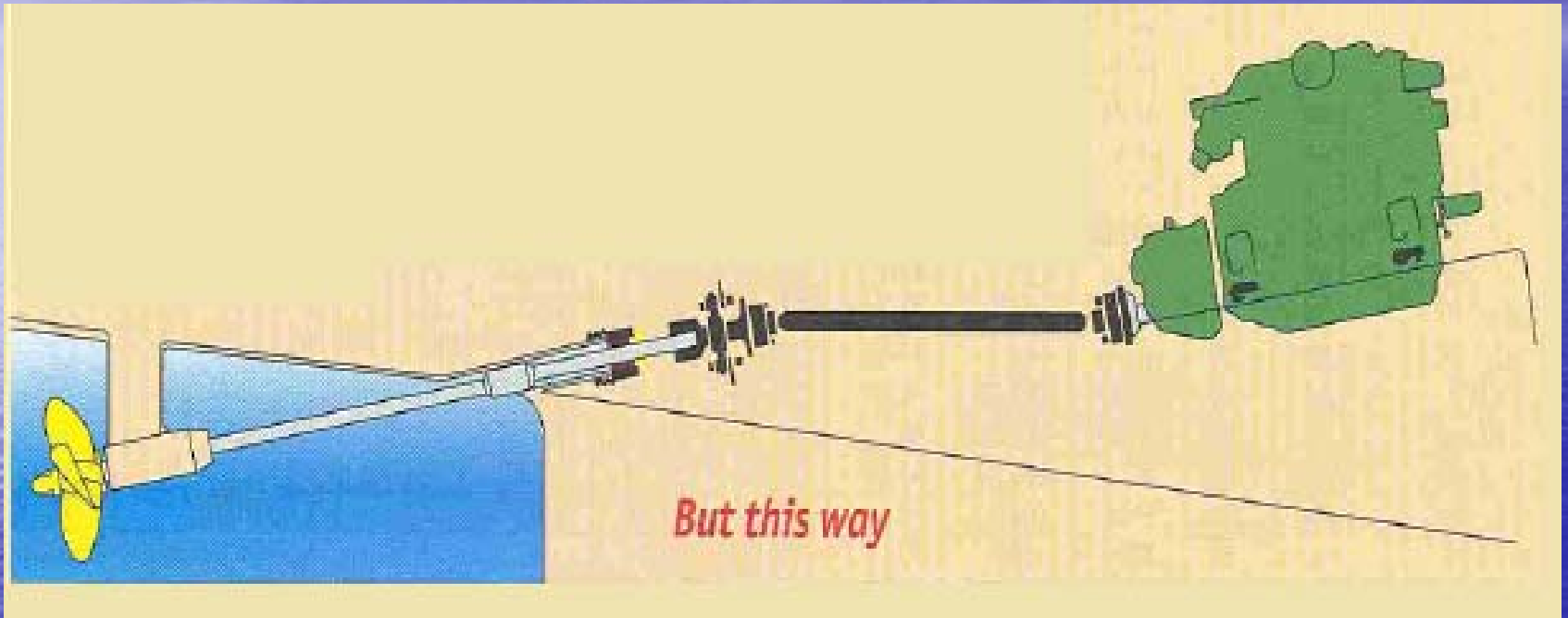
# KONTROLA POSTROJAVANJA VODA – SAG I GAP



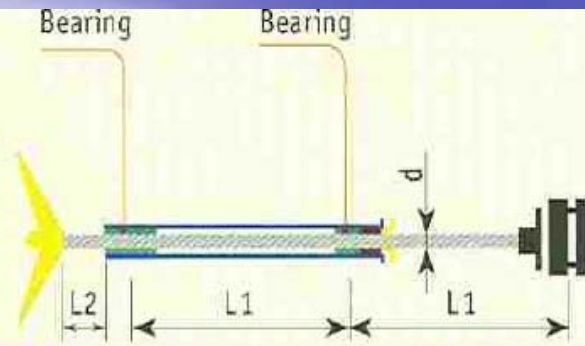
## POLAGANJE VRATILNOG VODA - NEPRAVILNO



# PRAVILNO POLAGANJE VRATILNOG VODA



# VRATILNI VOD – RAZMACI LEŽAJEVA



$$L1 \text{ (min)} = 20 \times (d-9)$$

$$L1 \text{ (max)} = 29000 \times \sqrt{\frac{d}{10 \times n}}$$

$$L2 \text{ (max)} = 1,5 \times d$$

L3 = as short as possible

## Bearing distances:

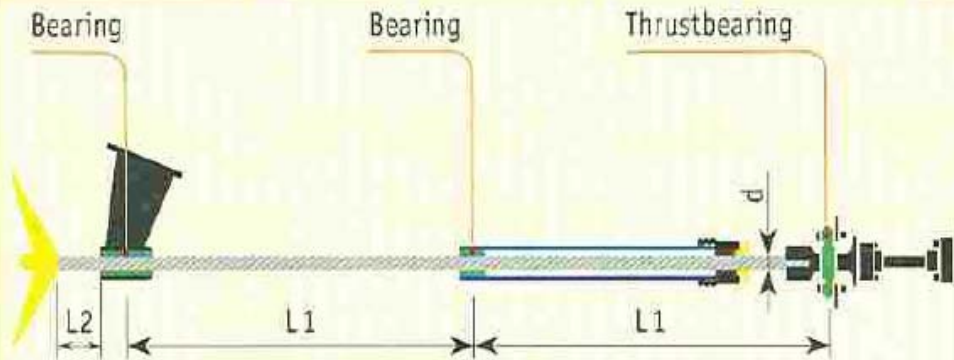
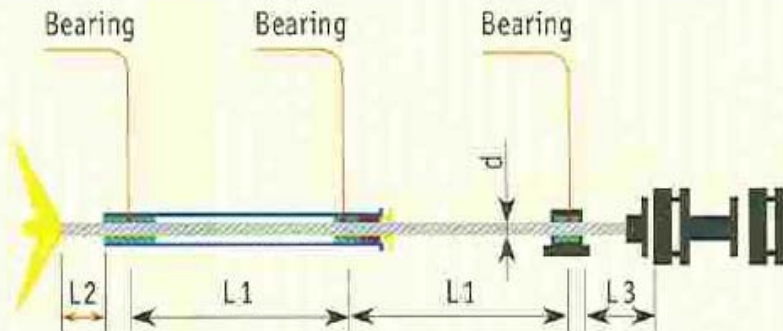
d = propellershaft diameter

n = propellershaft rotary speed

L1 = bearing distance in mm

L2 = bearing distance in mm

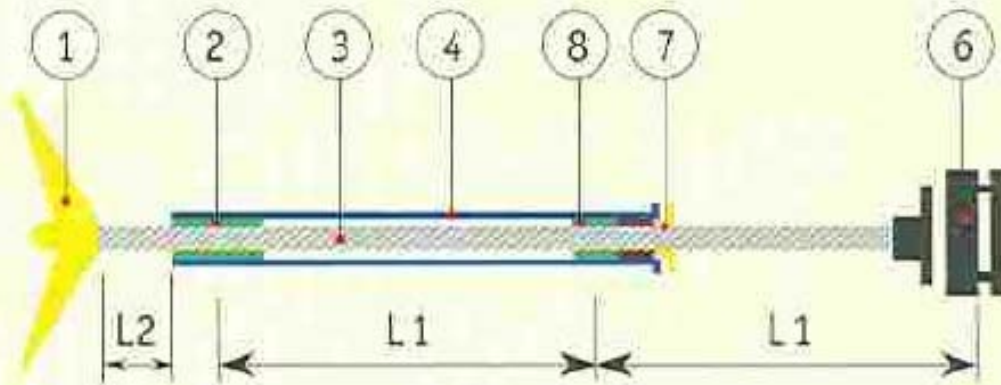
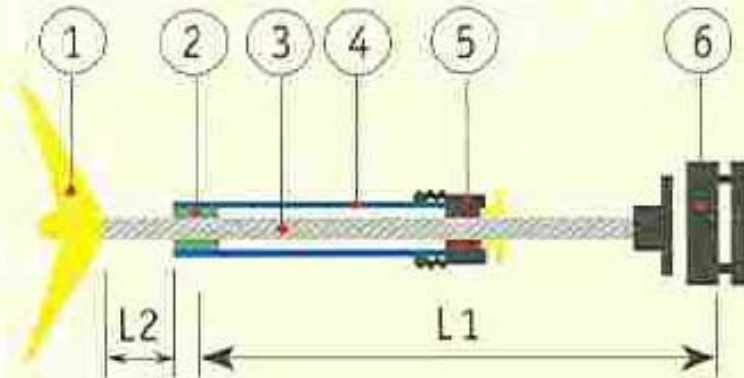
L3 = bearing distance in mm



## VRATILNI VOD - IZVEDBE

### *Propellershaft installations with a flexible coupling*

- 1 Propeller
- 2 Bearing
- 3 Propellershaft
- 4 Propellershafttube
- 5 Flexible stuffingbox
- 6 Flexible coupling (single working)
- 7 Fixed stuffingbox
- 8 Bearing

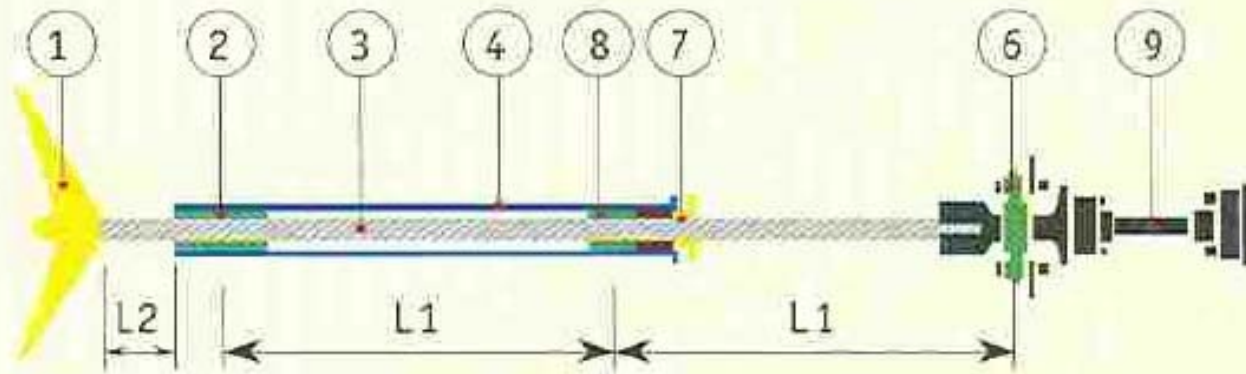
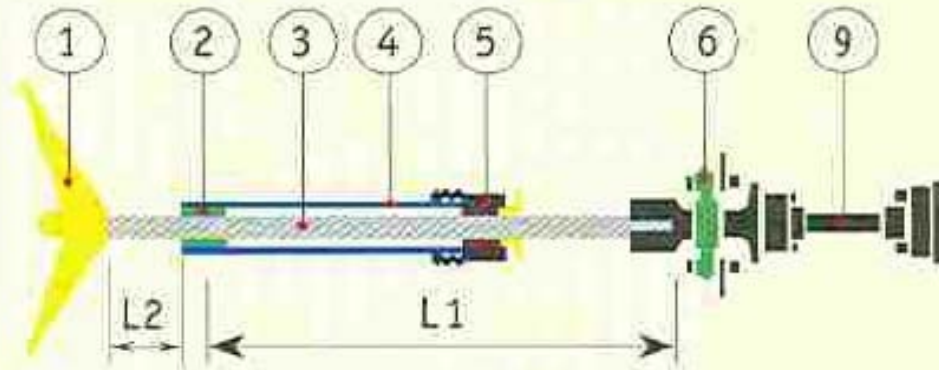




# VRATILNI VOD - IZVEDBE

## Propellershaft installations with a CV-shaft (homokinetic coupling)

- 1 Propeller
- 2 Bearing
- 3 Propellershaft
- 4 Propellershafttube
- 5 Flexible stuffingbox
- 6 Thrustbearing
- 7 Fixed stuffingbox
- 8 Bearing
- 9 CV-shaft (omokinetic coupling)

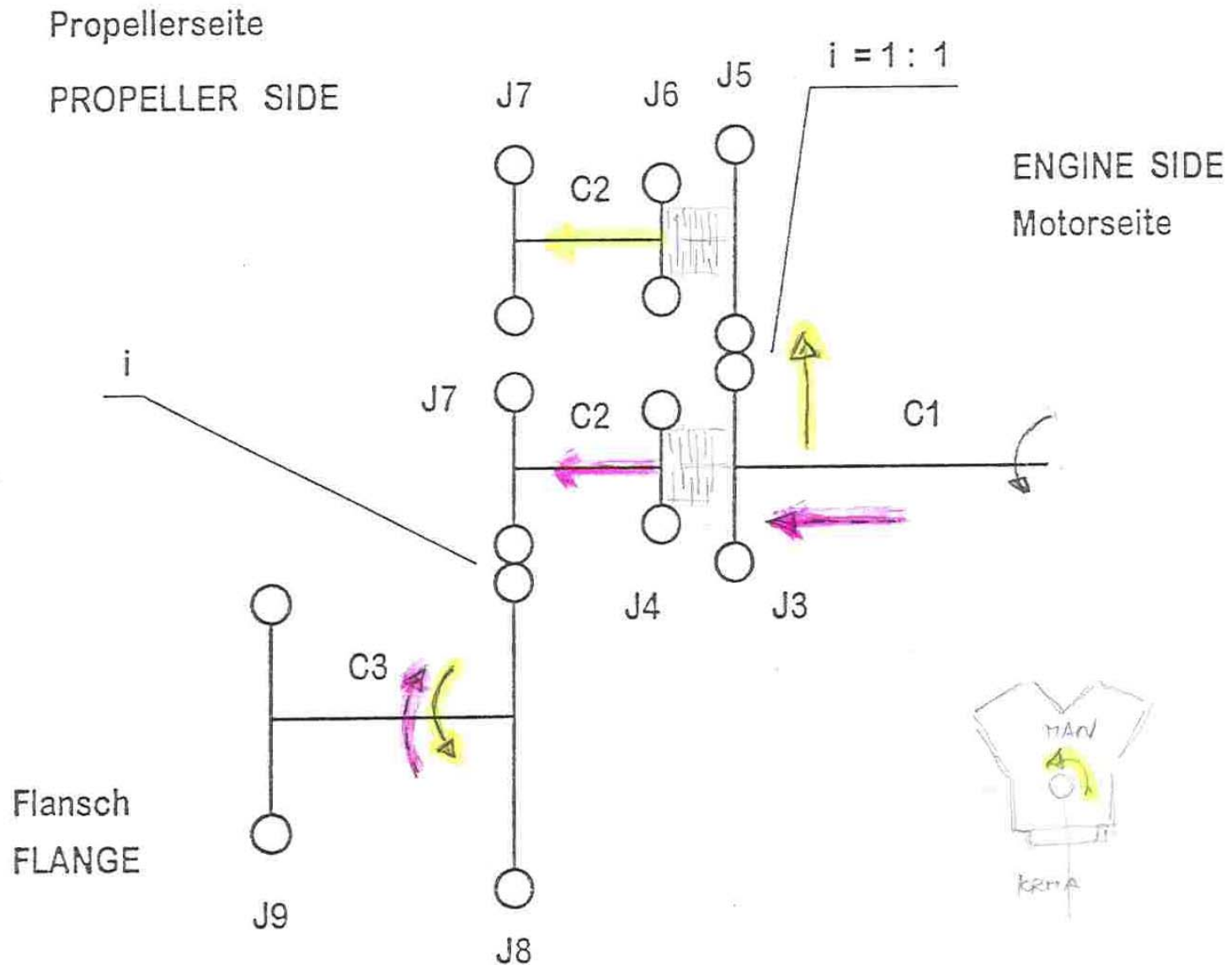


## 9.0 REDUKTORI

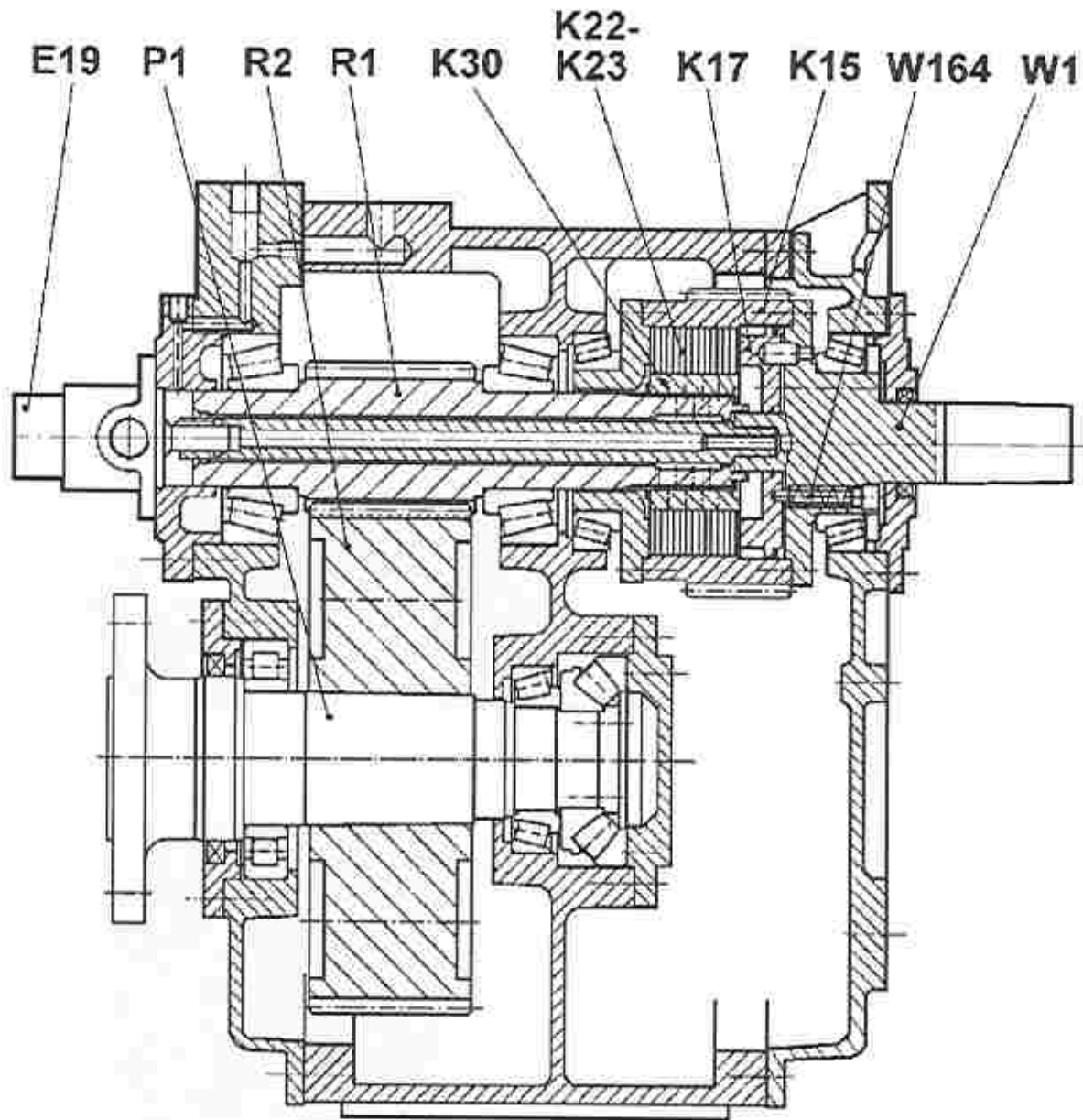
### FUNKCIJE PRIJENOSNIKA SNAGE (REDUKTORA)

- Redukcija broja okretaja pogonskog motora
- Promjena smjera (smisla) rotacije propelerskog vratila
- Uključivanje/isključivanje propelerskog vratila
- Omogućavanje oduzimanja snage za pogon pomoćnih strojeva
- Preuzimanje sile poriva ( ako je ugrađen odzivni ležaj)

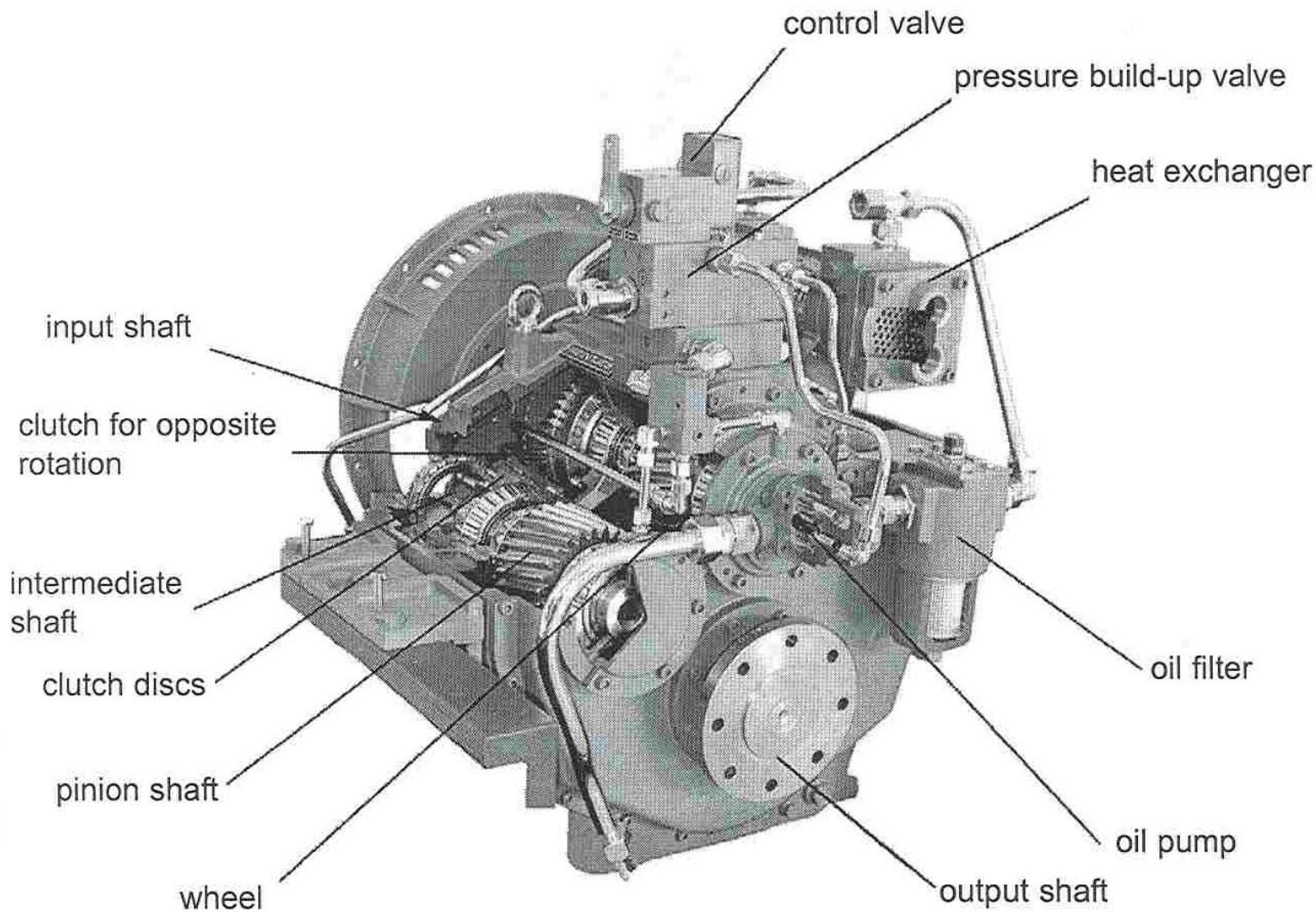
# DINAMIČKA I KINEMATSKA SHEMA REDUKTORA



# PRESJEK , OSNOVNI DIJELOVI REDUKTORA



# REDUKTOR-SASTAV



## Zadatak za vježbu

- Cilj vježbe : Upoznavanje sa metodologijom izbora porivnog sustava
- NAZIV ZADATKA : IZBOR PORIVNOG SUSTAVA RIBARSKOG BRODA
- Ribarski brod je zadan sa sljedećim podacima :

$$L_{pp} = 29,1 \text{ m}$$

$$B = 7,15 \text{ m}$$

$$T = 3,0 \text{ m}$$

$$D = 295 \text{ m}^3 \text{ (istisnina)}$$

$$v = 12 \text{ čv}$$

Rezultati preliminarnog proračuna sile otpora zadani su tablično:

v [m/s]	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
R [kN]	2,9	4,2	6,0	8,3	12,0	20,1	33,1	47,5	73,2	129,2

- POSTUPAK (metodologija):

1. Prema podacima sličnog broda odabrane su sljedeće vrijednosti koeficijenta korisnosti propulzijskog lanca :

-  $\eta_H = 1,00$  ( $w = 0,17$ ;  $t = 0,17$ ;) )

-  $\eta_R = 0,99$ ,

-  $\eta_S = 0,98$ ,

2. Interpolacijom tablično zadanih podataka o otporu broda određuje se veličina sile otpora za zadanu brzinu broda  $v$  :

-  $v = 12 \text{ čv} = 6,19 \text{ m/s}$

-  $R = 57,3 \text{ kN}$

3. Brzina napredovanja vijka

$$w = 1 - \frac{v_A}{v}$$

-  $v_A = 5,144 \text{ m/s}$

#### 4. Određivanje značajki vijka:

- $D = 2,2 \text{ m}$ ,
- $n = 240 \text{ min}^{-1}$ ,
- $A_E/A_0 = 0,5$ ,
- $P/D = 0,93$ ,
- $T_0/P_D = 121 \text{ N/Kw}$

#### 5. Određivanje snage predane vijku :

##### 5.1 Snaga poriva:

$$P_T = \frac{R \cdot v}{\eta_H} = 354,7 \text{ kW}$$



## 5.2 Određivanje stupnja korisnosti "otvorenog vijka" (slobodna vožnja)

$$\eta_0 = \frac{T_0 \cdot v_A}{P_D} = 0,622$$

Snaga predana vijku :

$$P_D = \frac{P_T}{\eta_0 \cdot \eta_R} = 576kW$$

6.0 Snaga na kočnici

$$P_B = \frac{P_D}{\eta_S} = 588kW$$

## 7.0 Izbor pogonskog motora

Na temelju proračunskih podataka bira se motor MAN D 2842 LE 412 koji ima sljedeće karakteristike:

$$P_{MCR} = 588 \text{ Kw}$$

$$n_{MCR} = 1800 \text{ o/min}$$

$$g_{sp} = 212 \text{ g/kWh}$$

## 8.0 Ukupni stupanj korisnog djelovanja:

$$\eta_T = \eta_I \eta_M \eta_S \eta_0 \eta_R \eta_H = \frac{P_{MCR}}{g_{SP} H_d} \eta_S \frac{T_0 v_A}{P_D} \eta_R \eta_H = 0.144$$