

# МОБИЛНЕ МАШИНЕ

## I

*предавање 5.1*



*трансмисије кретања,  
дизел мотори,  
принцип рада,  
параметри мотора*



# ПОГОНСКИ СИСТЕМИ

Структурни носиоци функције преноса снаге је погонски систем машине  $E_n$  :

$$E_n = \{ E_{ne}, E_{nt}, E_{np}, E_{ni} \}$$

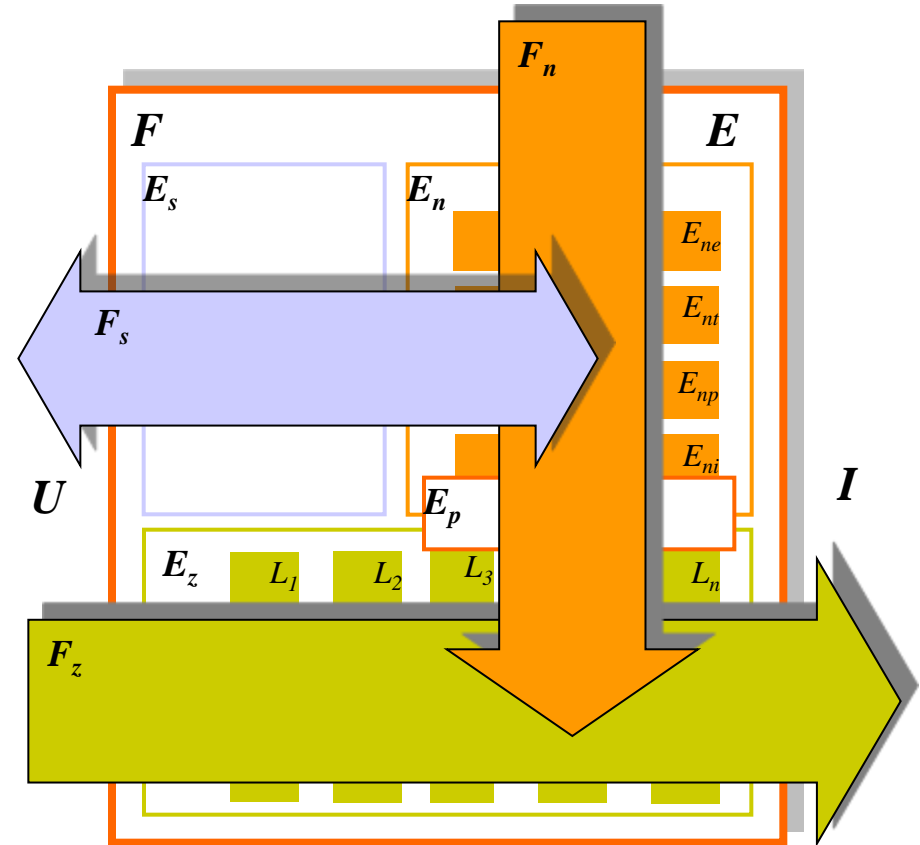
$E_{ne}$  - извор снаге (мотор),

$E_{nt}$  - примаоци и трансформатори снаге (хидрауличке пумпе, претварачи),

$E_{np}$  - регулатори, разводници и преносници снаге,

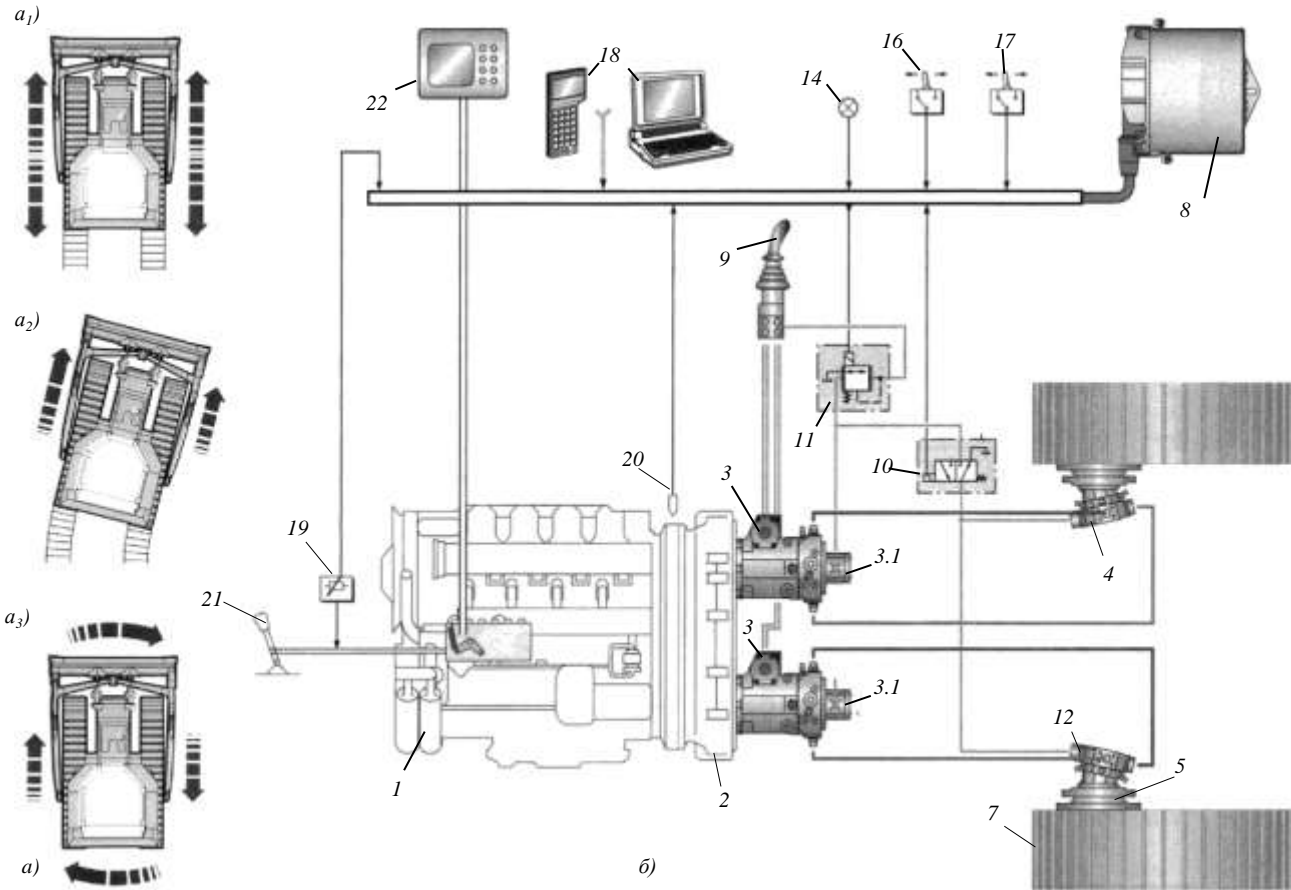
$E_{ni}$  - предајници снаге - извршиоци (актуатори)

$E_p$  - погонски механизми



**Концепције  
хидростатичких  
погона  
гусеничних  
кретних механизма**

*трактори гусеничари*

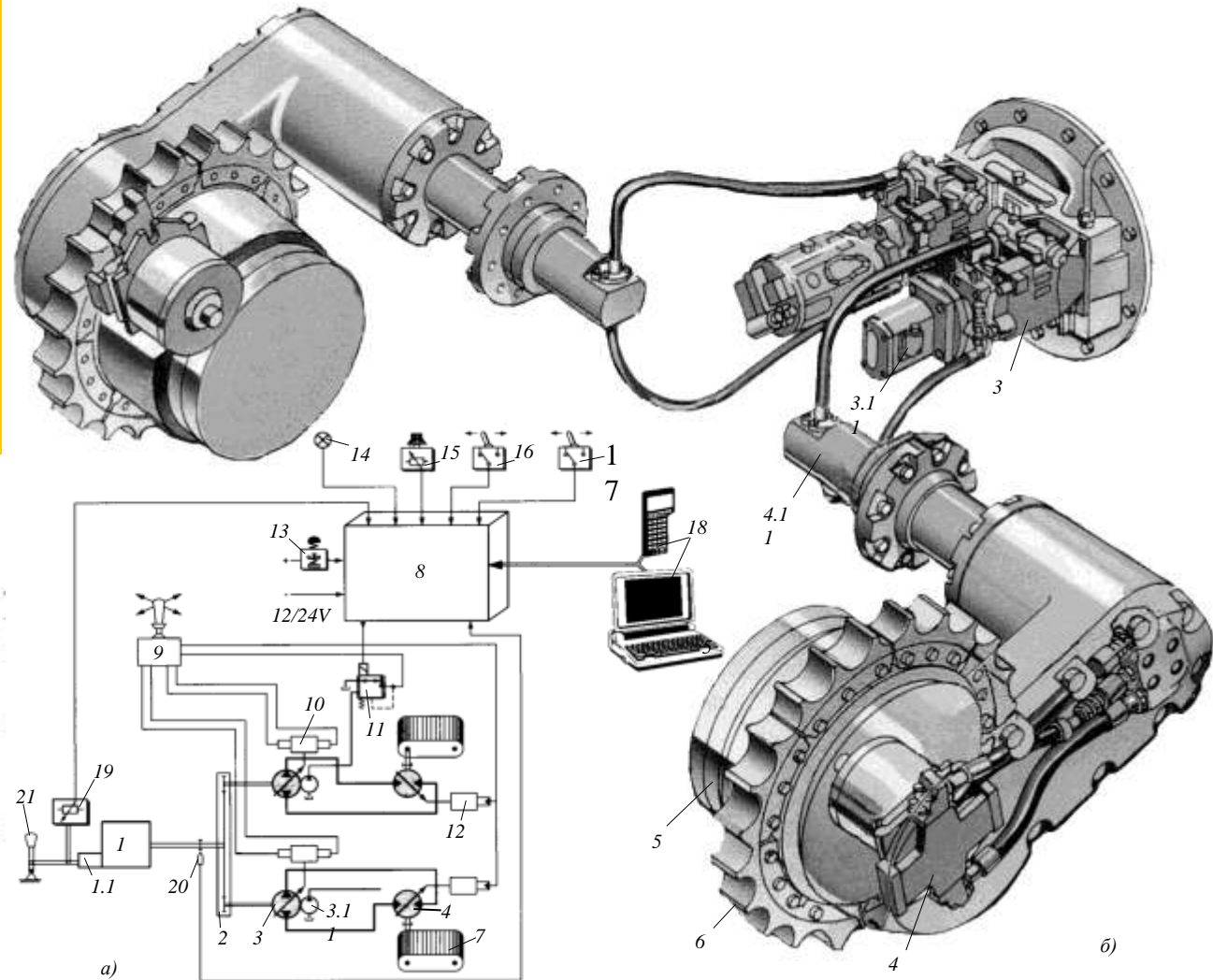
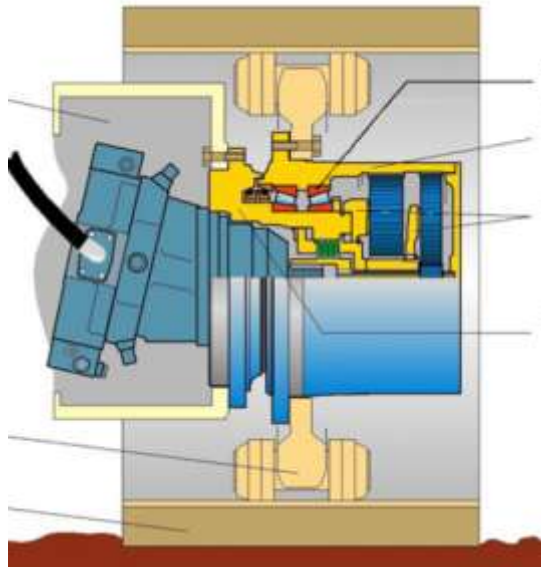


Сл.1 а) врсте кретања трактора гусеничар са хидростатичком трансмисијом: а<sub>1</sub>) кретање право, а<sub>2</sub>) закретање и а<sub>3</sub>) кретање; б) хидростатичка трансмисија са електронском контролом оптерећења: 1-дизел мотор, 2-разделни преносник, 3-главна хидропумпа, 3.1-помоћна пумпа, 4-хидромотор, 5-бочни редуктор, 7-гусенице, 8-микронтролер, 9-ручица командног разводника, 10-рзводник пумпи, 11-про-порционални вентил, 12-разводник мотора, 14-сигнализатор квара, 16-прекидач за промену специфичног протока, 17-прекидач за укључивање испрограмиране функције, 18-преносни рачунар, 19-давач хода палуче гаса, 20-давач броја обртаја мотора, 21-палуча гаса дизел мотора, 22-дисплеј[2].



# Концепције хидростатичких погона гусеничних кретних механизма

трактори гусеничари

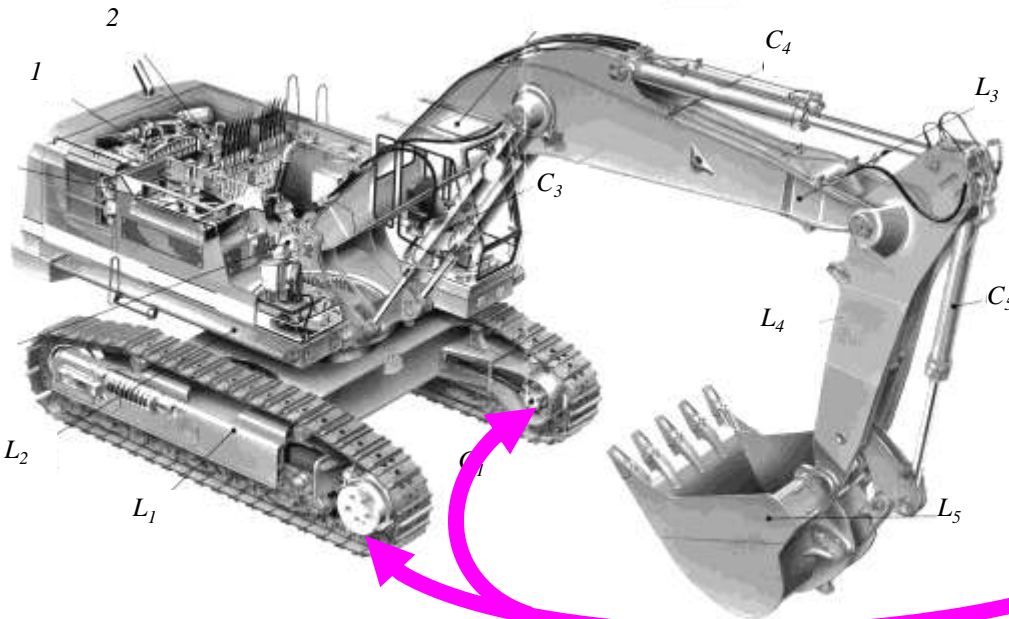
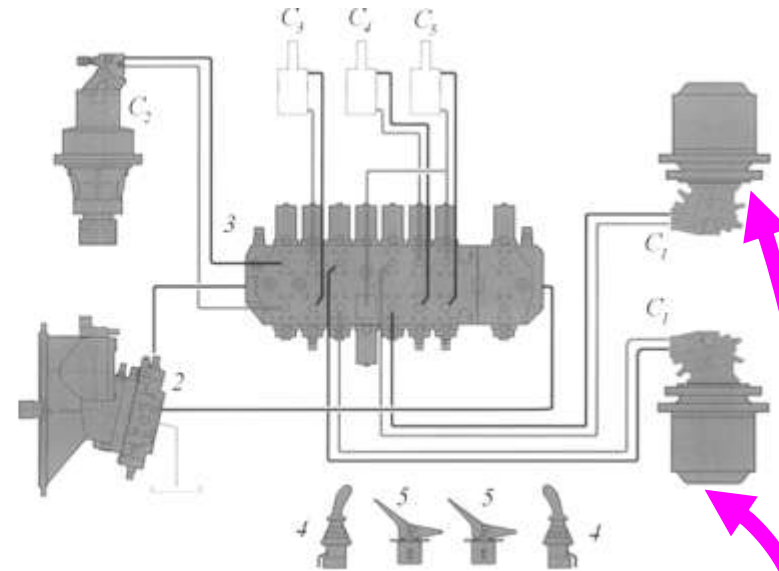
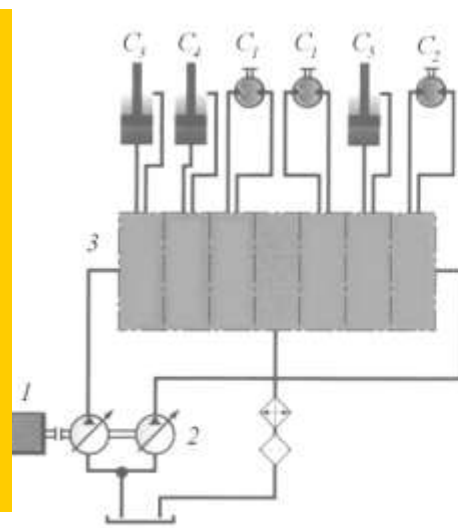


Сл.3.3.30 Хидростатичка трансмисија: а)ијема хидростатичке трансмисије, б)Хидростатичка трансмисија код трактора гусеничара.1-дизел мотор, 2-разделни преносник, 3-аксијално клипна пумпа промењивог специфичног протока, 4-аксијално клипни мотор промењивог специфичног протока, 5-планетарни бочни редуктор, 6-сегментни ланчаник [1],[3].



# Концепције хидростатичких погона гусеничних кретних механизма

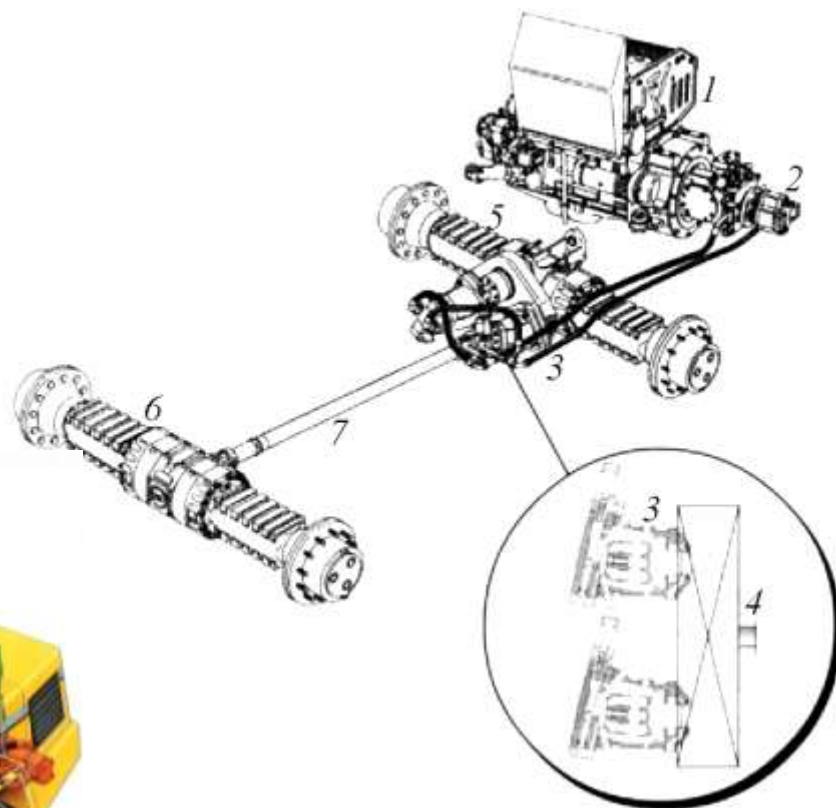
средњи хидраулички багери



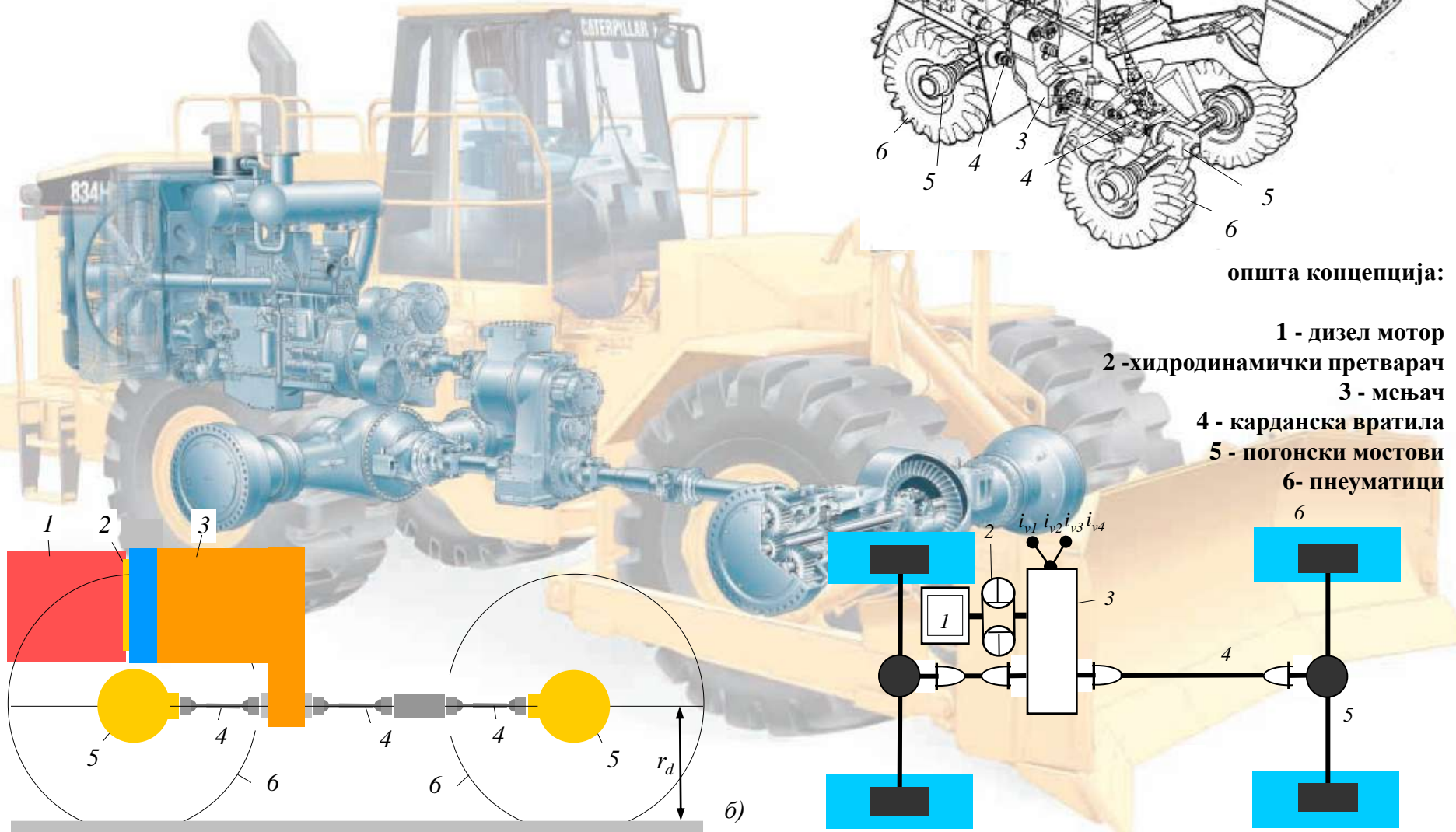


Хидростатичке трансмисије  
кретања машина

Утоваривачи



Хидродинамичке трансмисије мобилних машина



општа концепција:

1 - дизел мотор

2 - хидродинамички претварач

3 - мењач

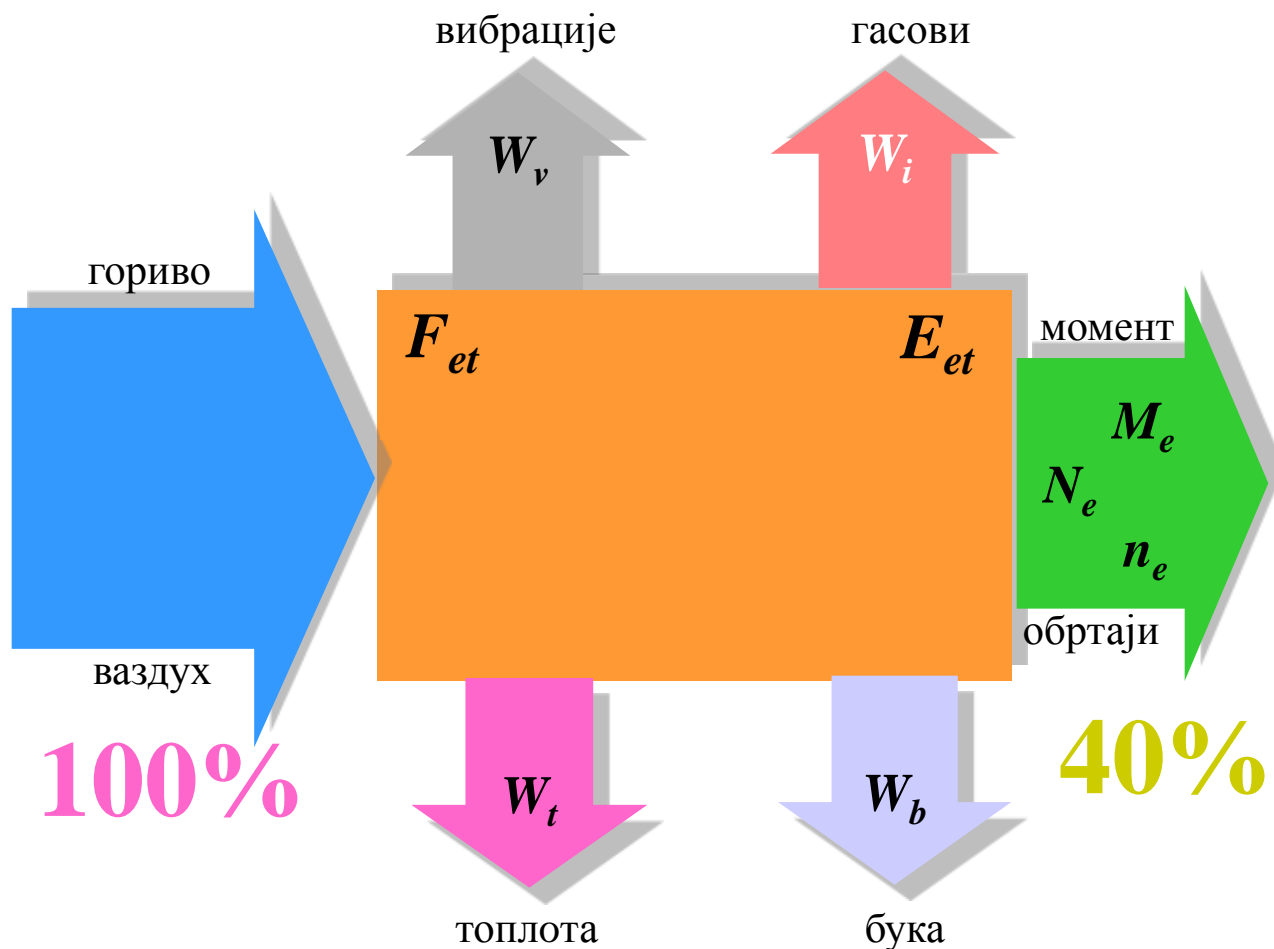
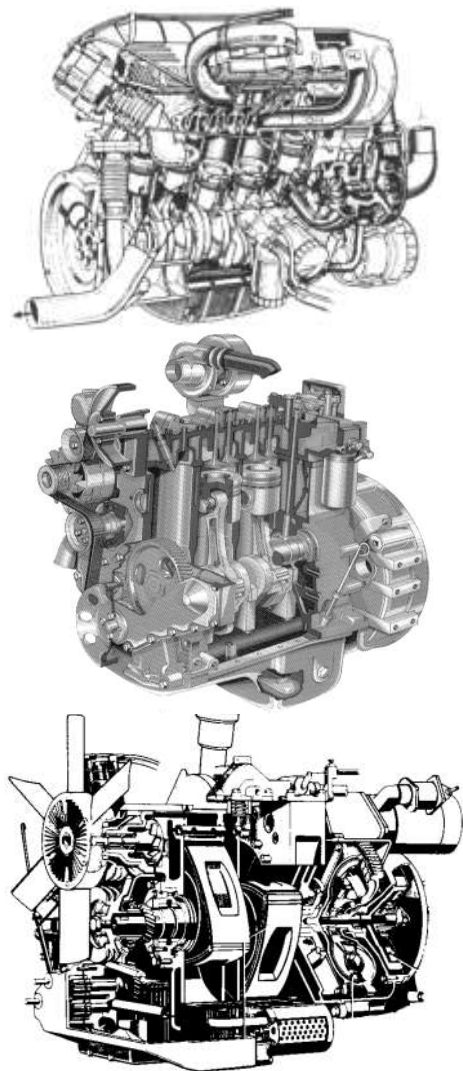
4 - карданска вратила

5 - погонски мостови

6 - пнеуматици

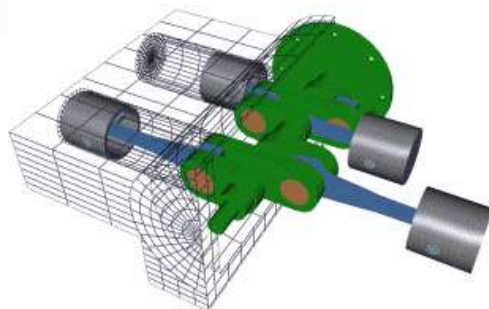
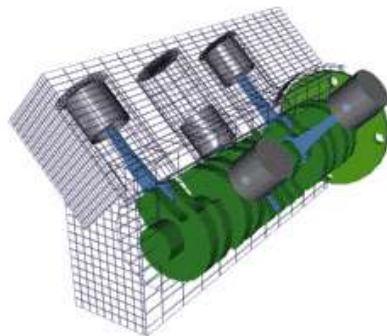
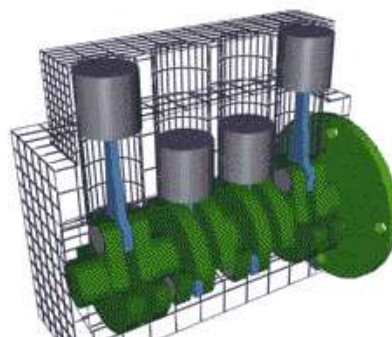
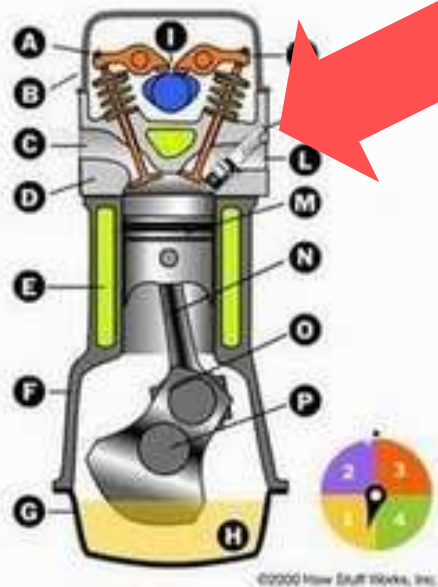


Мотори СУС





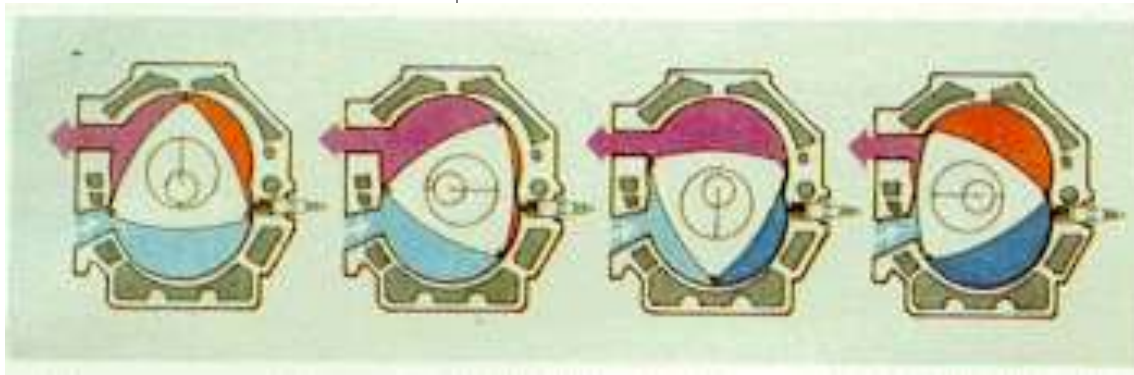
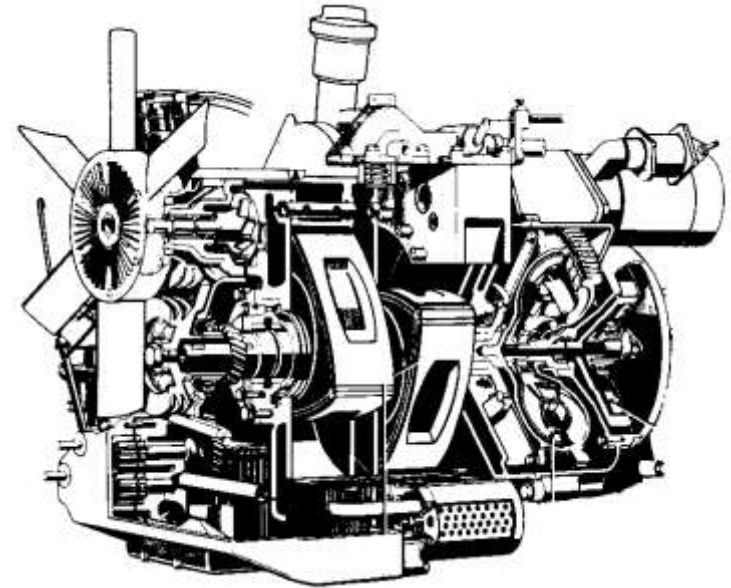
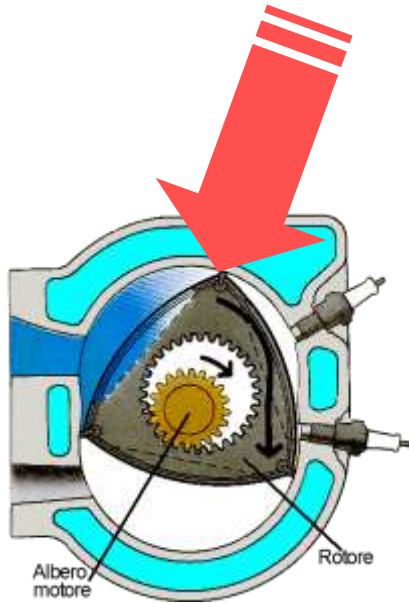
Мотори СУС



**Ото мотори (Nikolaus Otto 1863)** - засновани су на клипном механизму, користе бензинска горива и оно што их у основи карактерише јесте принудно паљење смеше горива варницом пре сваког експанзионог такта



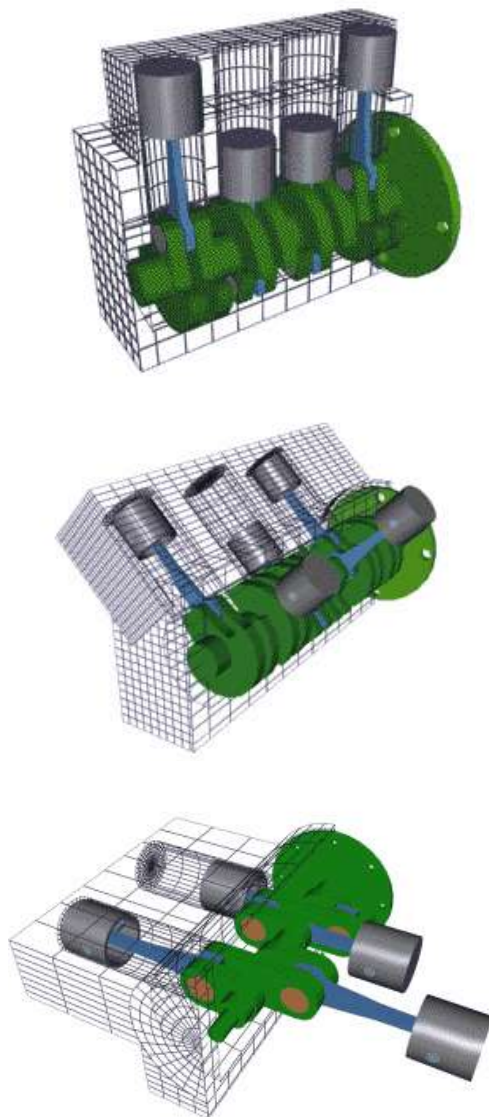
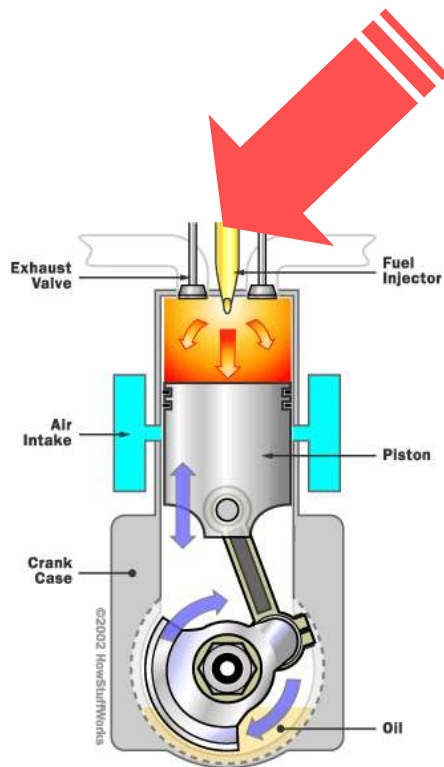
Мотори СУС



**Ванкел мотори (Felix Wankell 1960)** - слични су Ото моторима, карактерише их механизам са ротационим кретањем клипа уместо транслаторног кретања које имају ото и дизел мотори



## Мотори СУС



Дизел мотори (*Rudolph Diesel 1892*) - засновани су, на клипном механизму, користе дизел горива и карактерише их самозапаљивање смеше ваздуха и горива



Дизел мотори

Кинематика мотора

Ход (положај) клипа у односу на СМТ:

$$x = R + L - R \cos \theta - L \cos \phi$$

уз једнакост:

$$\sqrt{1 - (R/L)^2 \sin^2 \theta} = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{R}{L} \right)^2 \sin^2 \theta$$

добија се коначно ход клипа:

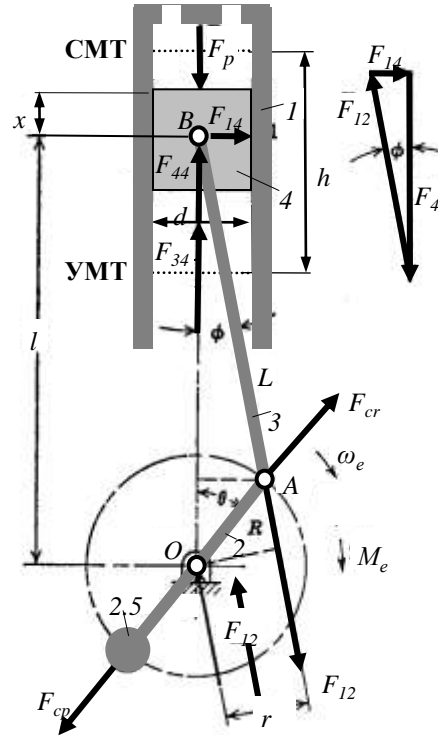
$$x = R(1 - \cos \theta) + \frac{R^2}{2L} \sin^2 \theta$$

Брзина кретања клипа:

$$v = R\omega_e \left( \sin \theta + \frac{R}{2L} \sin 2\theta \right)$$

Убрзање клипа:

$$a = R\omega_e^2 \left( \cos \theta + \frac{R}{L} \cos 2\theta \right)$$



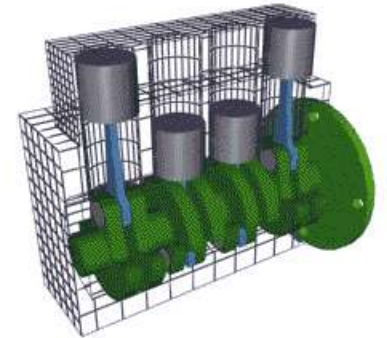
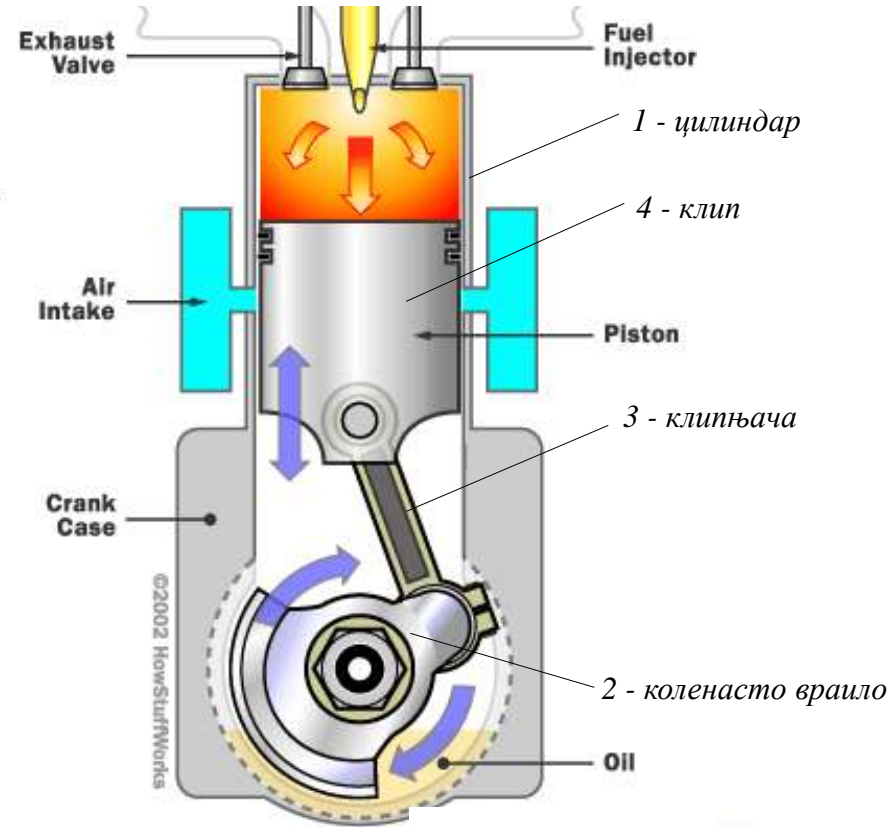
где је:

$$\omega_e = \frac{n_e \pi}{30} \quad \text{- угаона брзина коленастог вратила,}$$

$n_e$  - број обртаја коленастог вратила,

$L$  - дужина клипњаче

$R$  - дужина колена коленастог вратила





## Дизел мотори

### Запремина мотора

Запремина између мртвих тачака представља **радну запремину** једног цилиндра :

$$V_h = A h = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} h$$

Минимални простор цилиндра је у тренутку када је клип у СМТ и та запремина представља **компресиону запремину**

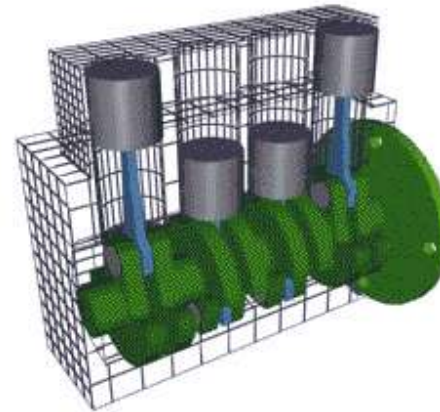
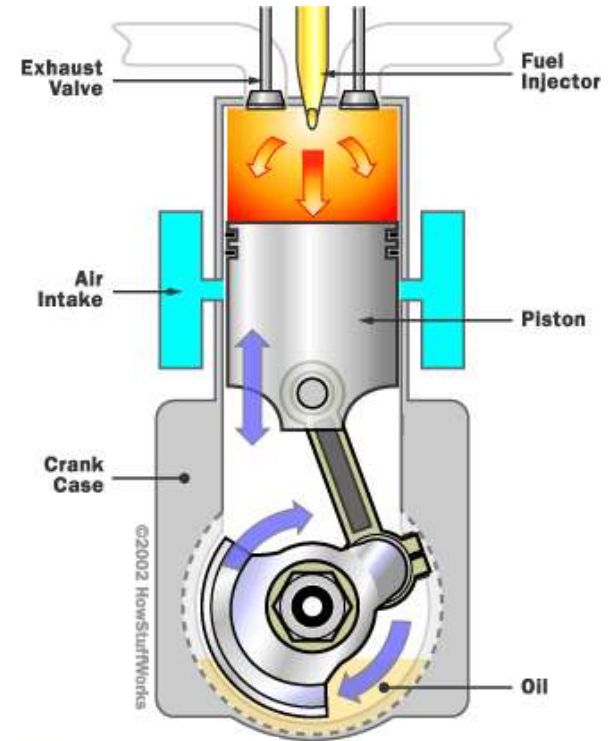
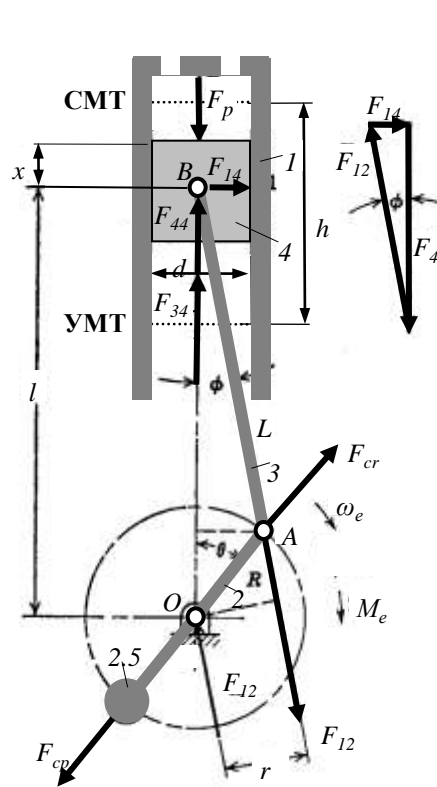
$V_k$

Највећи је када се клип налази у УМТ и та карактеристична запремина представља **укупну запремину** једног цилиндра

$$V_u = V_h + V_k$$

Степен компресије мотора дефинише се односом:

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_k}{V_k}$$



Дизел мотори

Циклус мотора

Срењи индикаторски притисак:

$$p_i = \frac{H_d}{I_o \lambda} \frac{p_o}{RT_o} \eta_i \cdot \eta_v = \frac{H_d}{I_o \lambda} \rho_v \cdot \eta_i \cdot \eta_v$$

где је:

$R$  - гасна константа [kJ/kgC],

$H_d$  - топлотна моћ горива [kJ/kg],

$I_o$  - теоријска количина ваздуха потребна за сагоревање [kg ваздуха/kg горива],

$\eta_i$  - идикаторски степен искоришћења,

$\lambda$  - коефицијент вишка ваздуха,

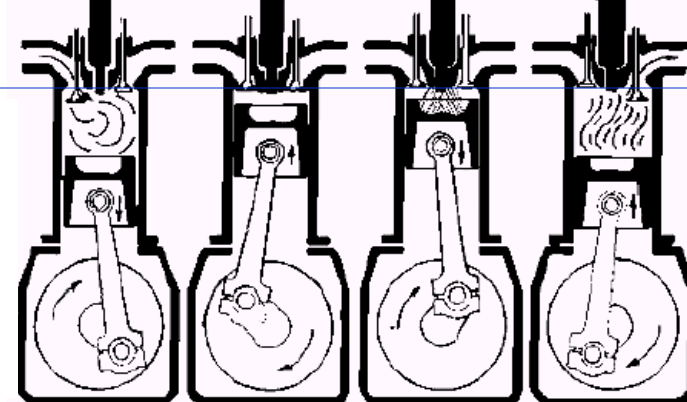
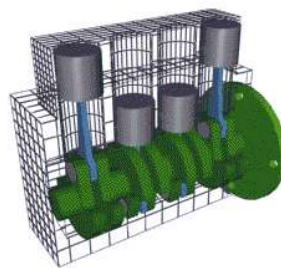
$$\lambda = \frac{I}{I_o}$$

$\eta_v$  - коефицијент пуњења цилиндра свежим ваздухом,

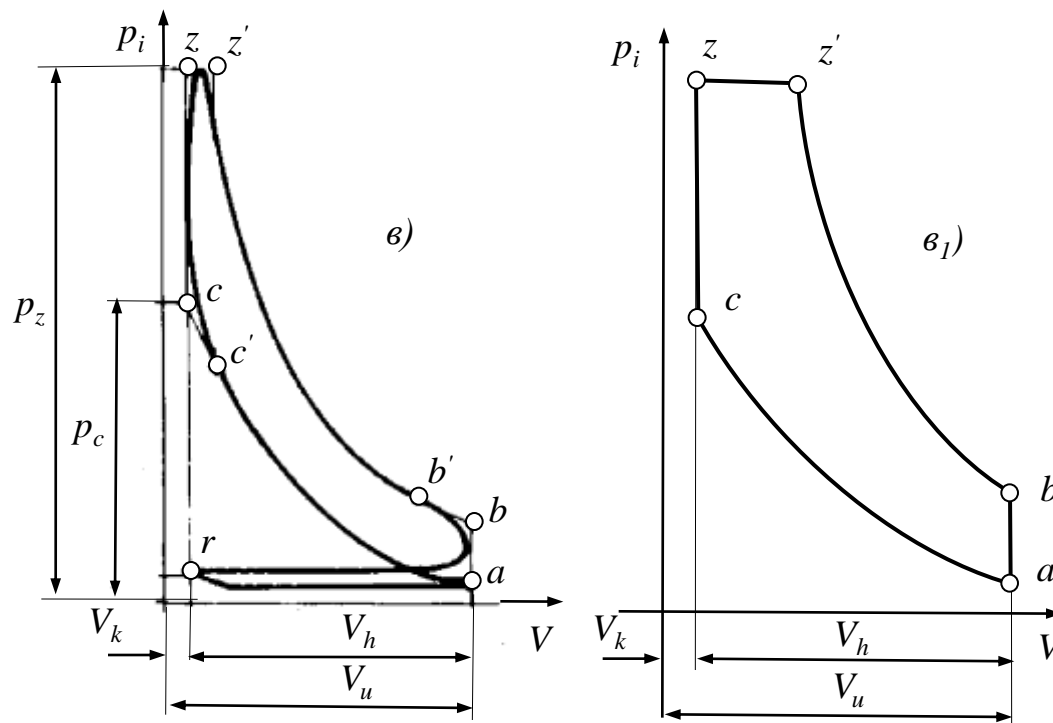
$p_o$  - притисак ваздуха,

$T_o$  - температура ваздуха [C],

$\rho_v$  - густина ваздуха [kg/m<sup>3</sup>]



Четири такта циклуса: усисавање компресија експанзија издувавање



Индикаторски p-V дијаграм



Дизел мотори

Динамика мотора

Сила притиска на челу клипа:

$$F_p = p_i A$$

Сила инерције клипа:

$$F_{44} = a m_4$$

Сила инерције дела клипњаче:

$$F_{34} = a m_{34}$$

Резултујућа сила која делује на клип

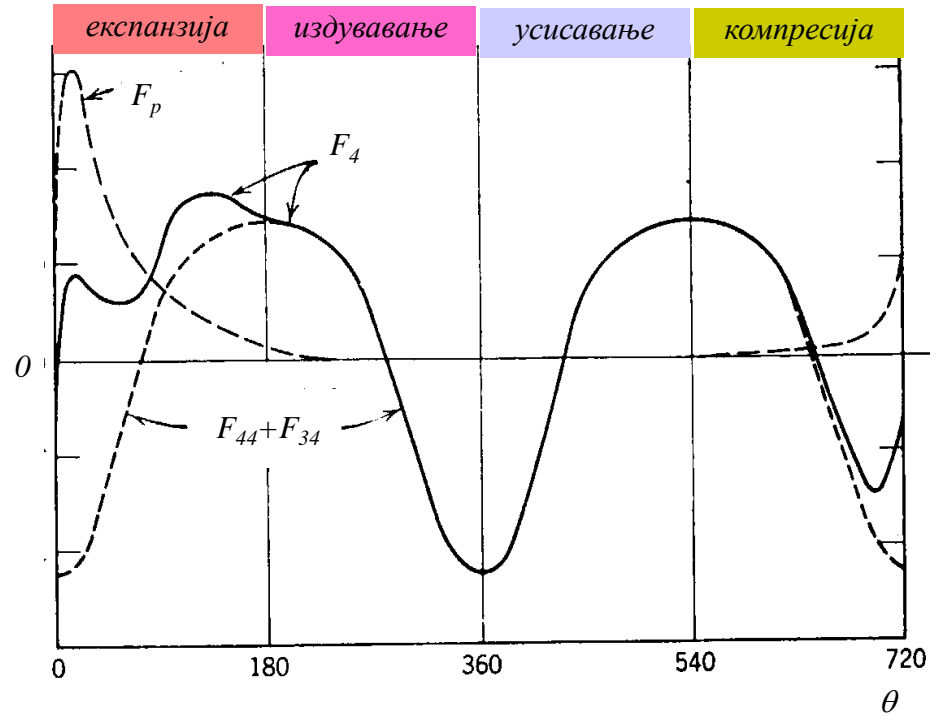
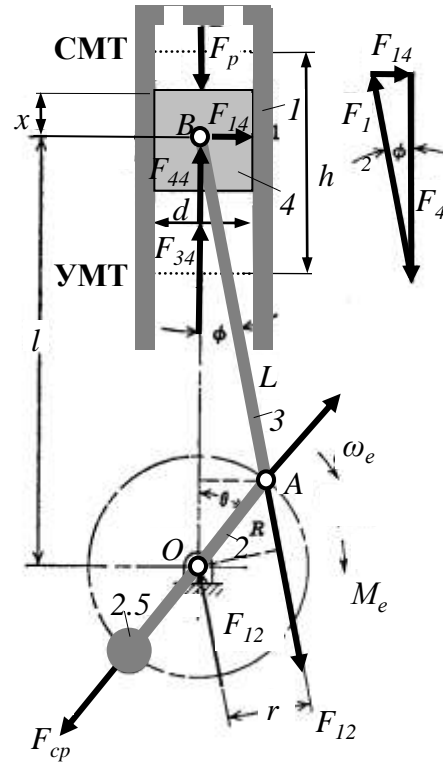
$$F_{12} = \frac{F_4}{\cos \phi}$$

Сила у правцу клипњаче:

$$F_4 = F_p - (F_{44} + F_{34})$$

Сила нормална на цилиндар клипа:

$$F_{14} = \frac{F_4}{\sin \phi}$$



Дизел мотори

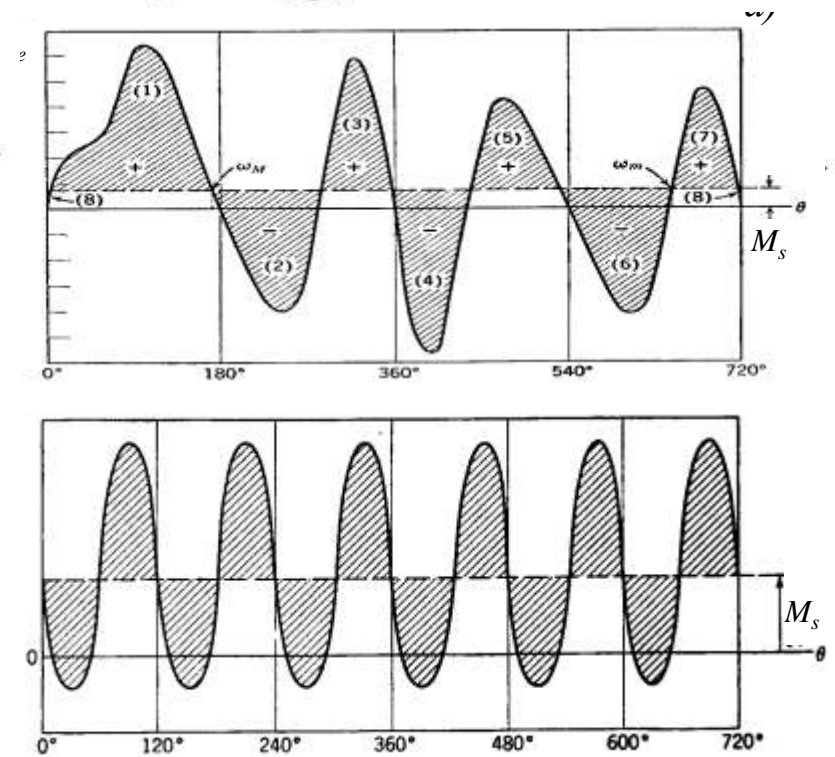
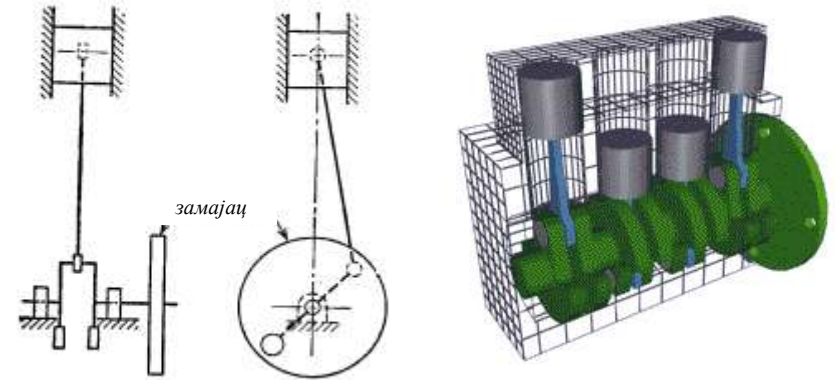
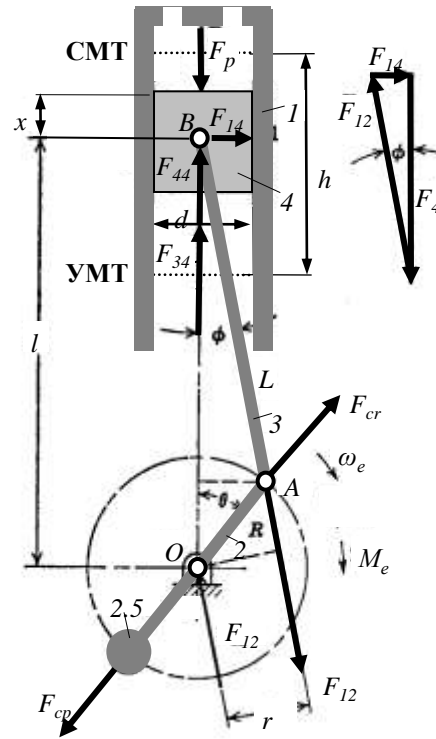
Момент мотора

$$M_e = F_{12} r = \frac{F_4}{\cos \phi} (R \cos \theta + L \cos \phi) \sin \phi$$

Типична крива обртног момента  $M_e$  на коленастом вратилу за један цилиндар мотора приказан је на слици а.

Дијаграм показује да обртни момент током циклуса мења знак. Има позитивне вредности када је смер деловања исти са смером окретања вратила.

Испрекидана линија представља средњи обртни момент  $M_{es}$  који стварају силе притиска гасова за време радног хода клипа савлађујући спољна оптерећења мотора.





Дизел мотори

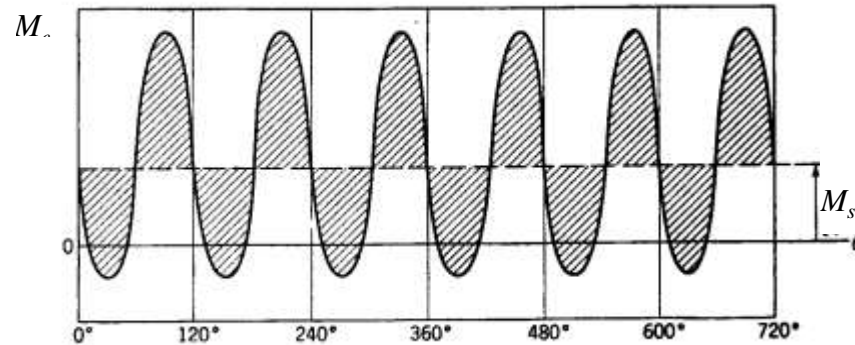
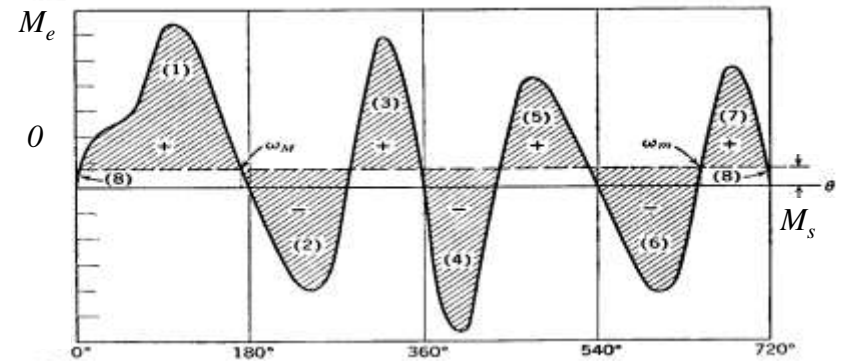
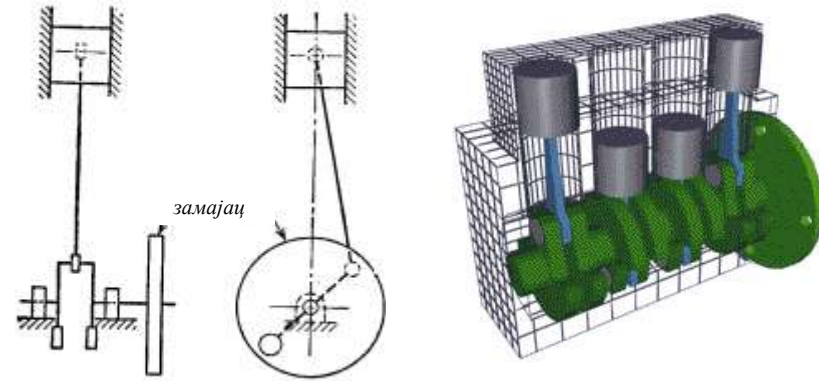
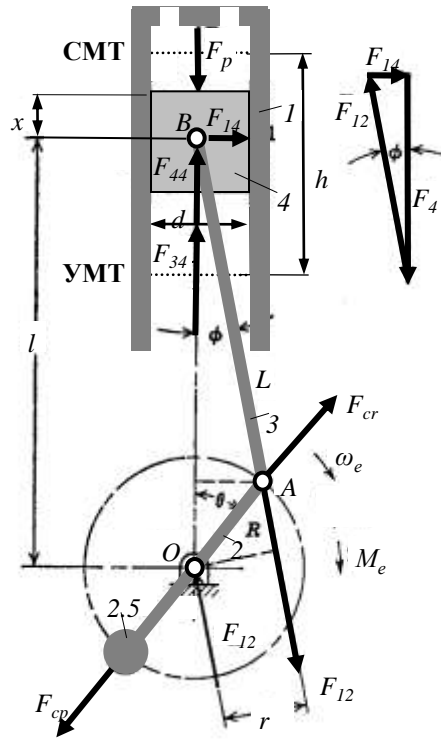
Момент мотора

$$M_e = F_{12} r = \frac{F_4}{\cos \phi} (R \cos \theta + L \cos \phi) \sin \phi$$

Излазни момент мотора је у појединим деловима циклуса већи или мањи од момента оптерећења (шрафиране површине) што изазива повећање или смањење кинетичке енергије система, односно неравномерност броја обртаја коленастог вратила.

Регулација неравномерности броја обртаја се постиже помоћу замајца који се уграђује на крају коленастог вратила.

Осим тога, неравномерност рада мотора се може смањити повећањем броја цилиндара и редоследом паљења цилиндара.



## Дизел мотори

### Снага мотора

Снага дизел мотора се може израчунати помоћу израза:

$$N_e = F_i v \eta_e z = p_i \frac{d^2 \pi}{4} h \frac{n_e}{30\tau} z \eta_e$$

где је:

$p_i$  - средњи индикаторски притисак,

$\eta_e$  - степен корисности мотора,

$n_e$  - број обртаја мотора,

$\tau$  - тактност мотора,

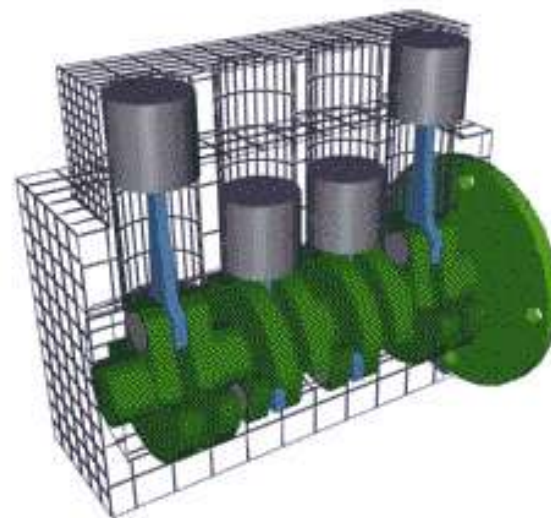
$z$  - број цилиндара мотора.

Сменом израза за средњи индикаторски притисак:

$$p_i = \frac{H_d}{I_o \lambda} \frac{p_o}{RT_o} \eta_i \cdot \eta_v = \frac{H_d}{I_o \lambda} \rho_v \cdot \eta_i \cdot \eta_v$$

у претходну једначину добија се коначни израз за снагу мотора:

$$N_e = \frac{H_d}{I_o \lambda} \rho_v \cdot \eta_i \cdot \eta_v \frac{d^2 \pi}{4} \frac{h \cdot n_e}{30} \frac{z}{\tau} \eta_e$$



## Дизел мотори

### Излазне (спољашње) карактеристике

Спољашње карактеристике мотора се одређују испитивањем мотора под одређеним условима на пробном столу.

При испитивању мотора мере се:

број обртаја  $n_e$  [ $1/min$ ],

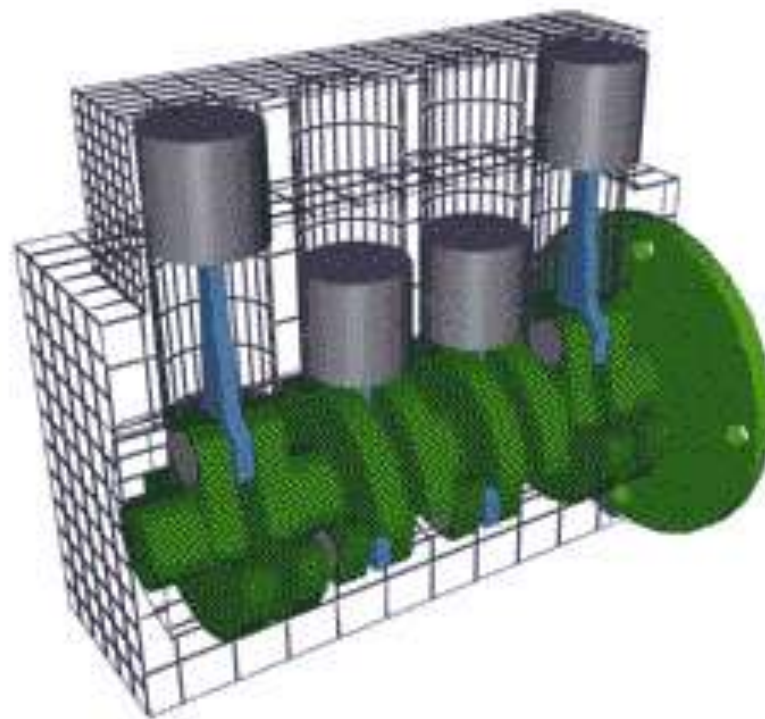
момент  $M_e$  [ $Nm$ ]

на излазу (замајцу) мотора и

часовна потрошња горива  $G_e$  [ $g/h$ ],

На основу измерног броја обртија и момента одређује се:

снага мотора  $N_e$



## Дизел мотори

### Излазне (спољашње) карактеристике

Снага мотора:

$$N_e = M_e \omega_e = M_e \frac{n_e \pi}{30} \quad [kW]$$

Момент мотора:

$$M_e = \frac{30 N_e}{n_e \pi} \quad [kNm]$$

$n_e$  - [1/min]

Специфична потрошња горива:

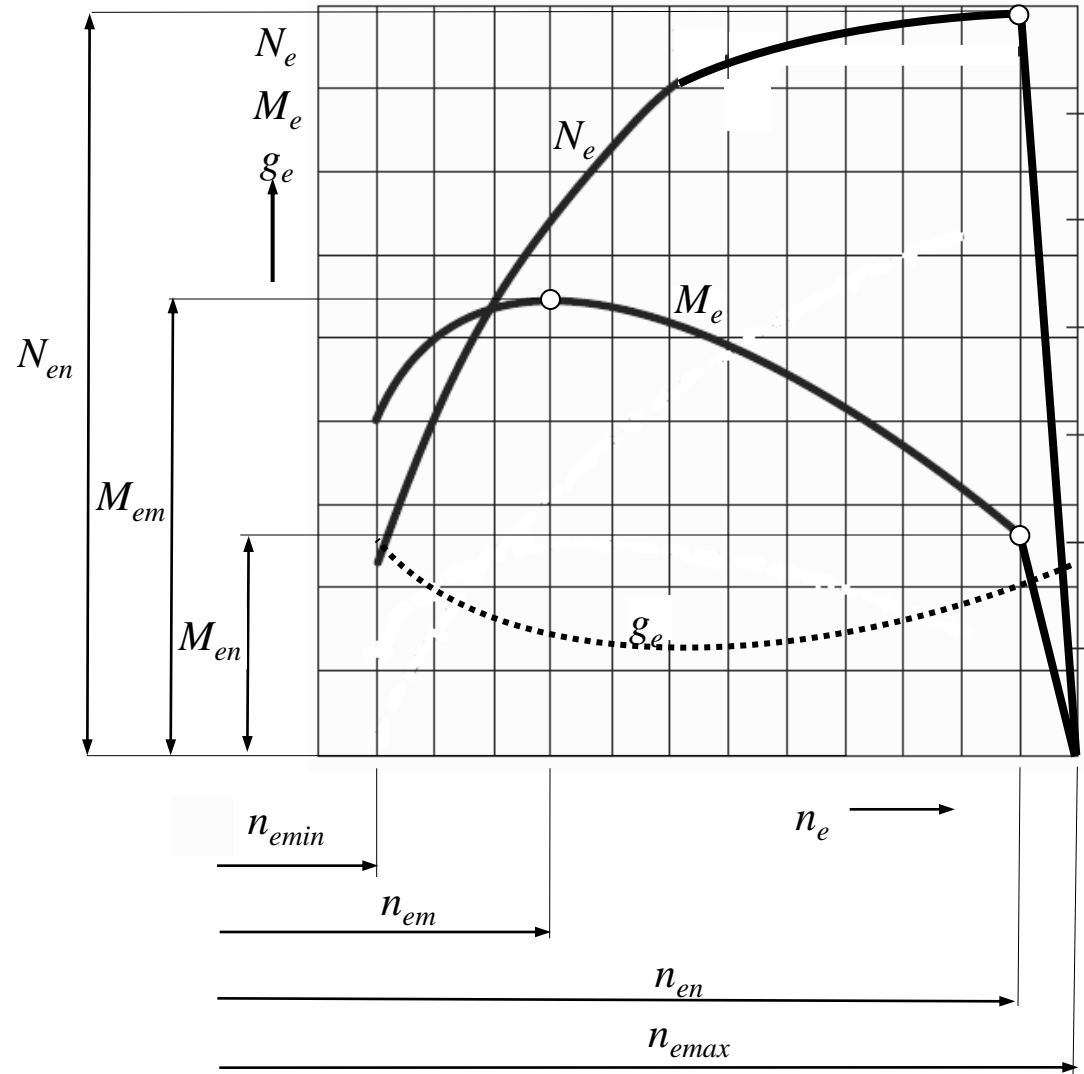
$$g_e = \frac{G_e}{N_e} \quad [g/kWh]$$

Еластичност мотора према моменту мотора:

$$e_m = \frac{M_{em}}{M}$$

Еластичност мотора према броју обртаја мотора:

$$e_n = \frac{n_{en}}{n_{em}}$$

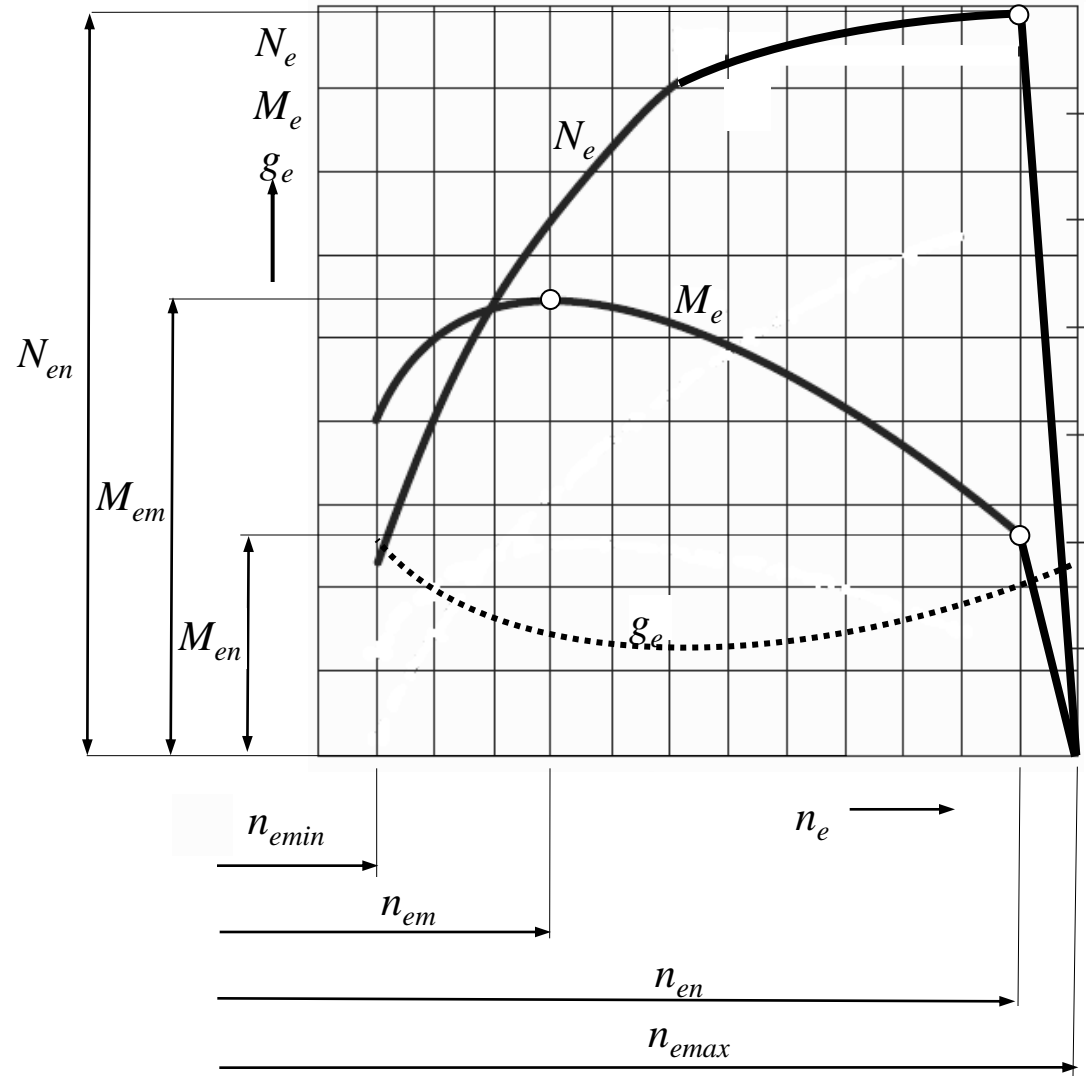




Дизел мотори

Постоје међународни (ISO) и национални стандарди (JUS, DIN, SAE) који прописују услове и поступак испитивања мотора.

Уколико мотор ради у окружењу које је приближно условима испитивања, при избору мотора водити се рачуна да укупна снага мотора буде већа од збира потребне снаге на замајцу мотора и снаге за погон помоћне опреме мотора (вентилатор, алтернатор...).

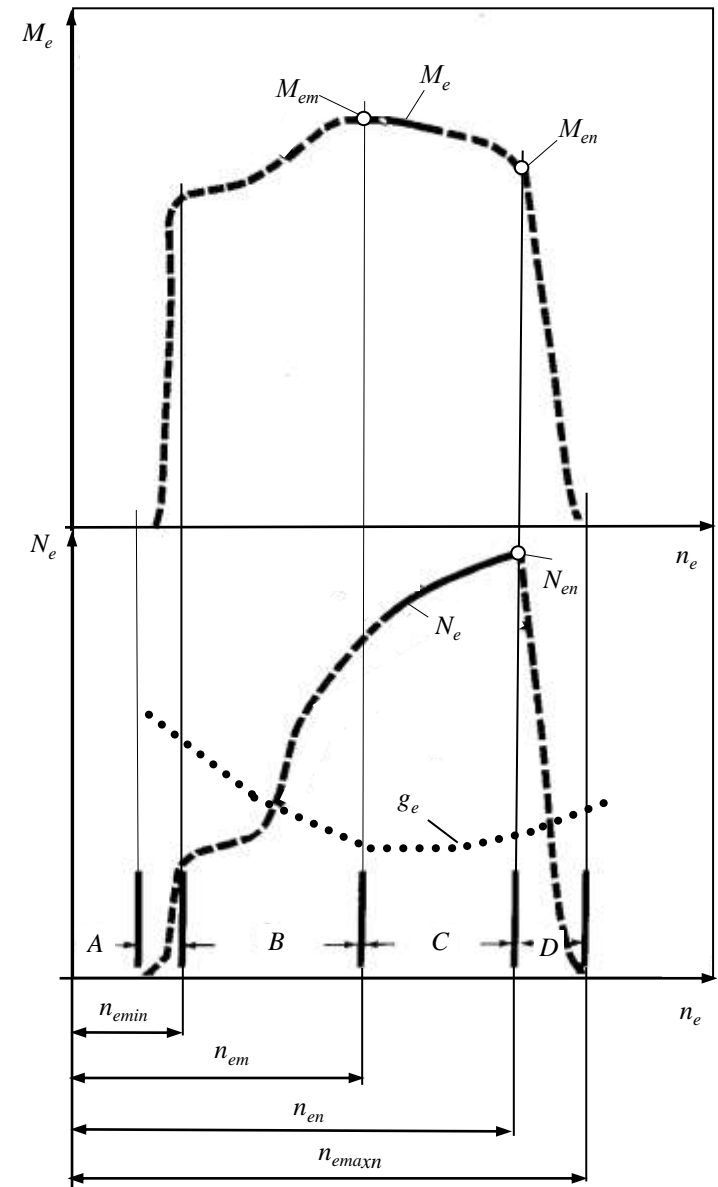


Дизел мотори

Излазне (спољашње) карактеристике

Промене карактеристика мотора се могу поделити, зависно од броја обртаја, у четири основне зоне:

- A) зона минималног празаног хода,
- B) зона од минималног празаног хода до максималног обртног момента,
- C) зона од максималног обртног момента до максималне снаге и
- D) зона од максималне снаге до максималног празаног хода без оптерећења



Дизел мотори

Излазне (спољашње) карактеристике

Често се као карактеристике мотора дају максимална снага  $N_{en}$  и одговарајући број обртаја  $n_{en}$  и максимална момент  $M_{em}$  и одговарајући број обртаја  $n_{em}$ .

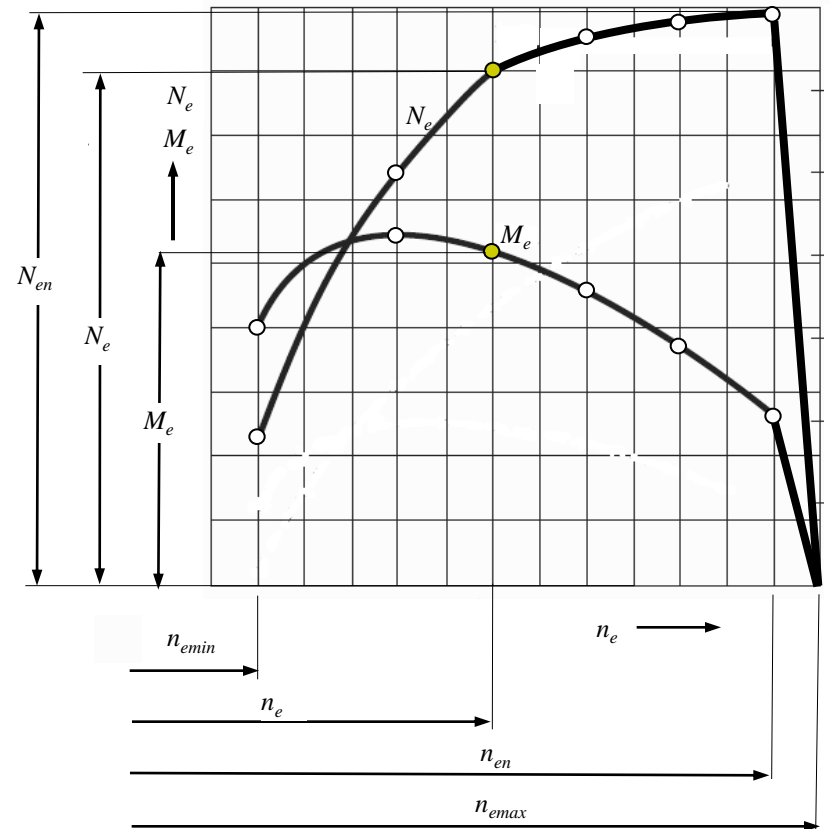
У том случају, за познату максималну снагу  $N_{en}$  и одговарајући број обртаја  $n_{en}$ , могуће је одредити карактеристику мотора, у опсегу од  $n_{emin}$  до  $n_{en}$ , на основу емпиријске формуле коју је дао **S. R. Liedermann**:

$$N_e = N_{en} \left[ a \frac{n_e}{n_{en}} + b \left( \frac{n_e}{n_{en}} \right)^2 - c \left( \frac{n_e}{n_{en}} \right)^3 \right] \text{ [kW]}$$

$$n_e = [n_{emin}, n_{en}]$$

$$M_e = \frac{30 N_e}{n_e \pi} \text{ [kNm]}$$

$$n_{emax} = (1,05 - 1,10) n_{en}$$



Табела Т.3.1. Коefицијенти снаге мотора

Тип мотора	a	b	c
Ото - карбураторски	1	1	1
Дизел - директно убризгавање	0.5	1.5	1
Дизел - са предкомором	0.7	1.4	1
Дизел - са вихорном комором	0.6	1.3	1



Дизел мотори

Излазне (спољашње) карактеристике

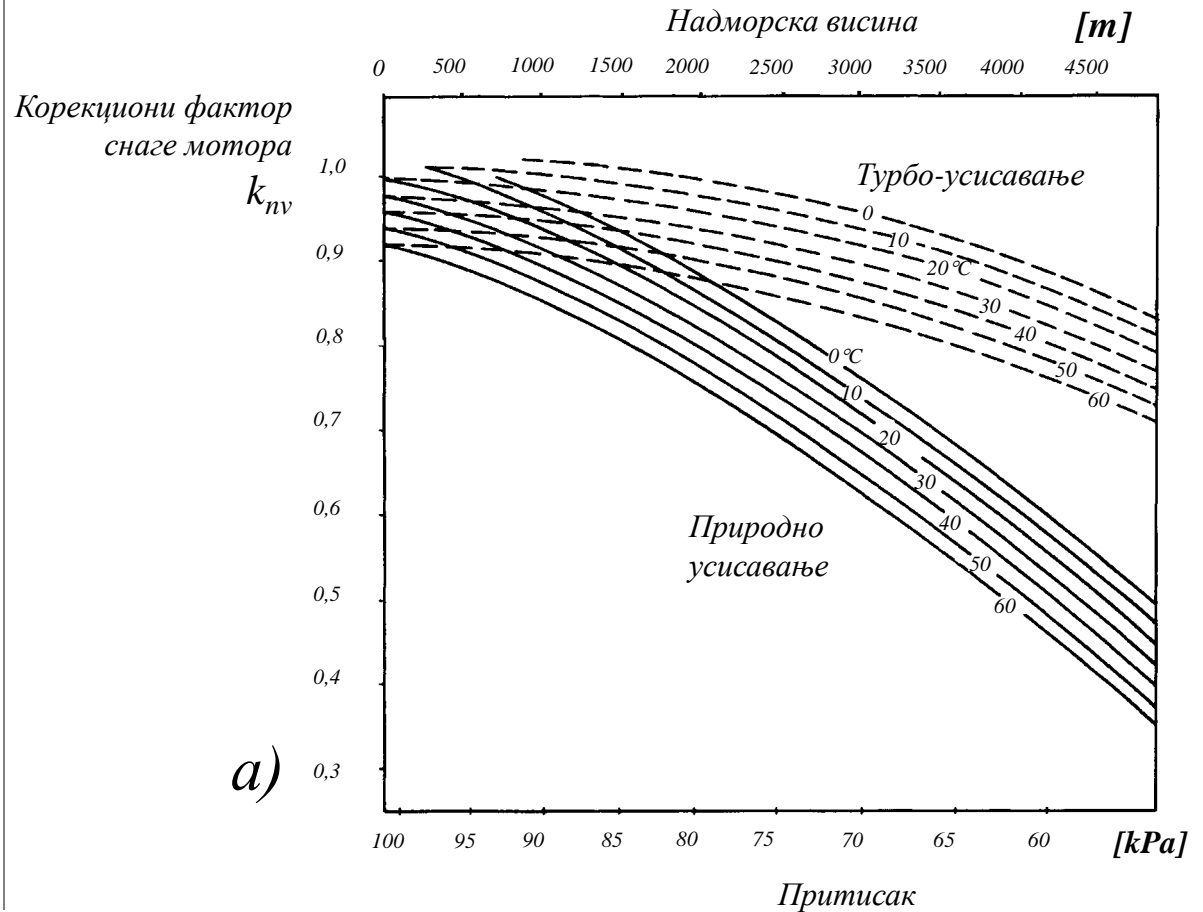
Уколико мотор ради у окружењу које је *различито у односу на услове испитивања* мотора, онда се врши корекција карактеристика мотора.

**Утицајни фактори**

корекције зависе од температуре, влажности и притиска ваздуха средине у којој мотор ради.

Висока температура ваздуха на улазу у мотор може проузроковати губитак снаге и створити проблеме у системима хлађења и подмазивања мотора.

Дијаграм даје фактор корекције  $k_{nv}$  снаге мотора зависно од начина пуњења мотора (природно, турбо-надпуњење), барометарског притиска, надморске висине и температуре ваздуха.



a)





Дизел мотори

Изразне (спољашње) карактеристике

Коригована снага мотора може се одредити према изразу:

$$N_{ek} = N_e \left( 1 - \frac{p_{ne}}{100} \right) k_{nv}$$

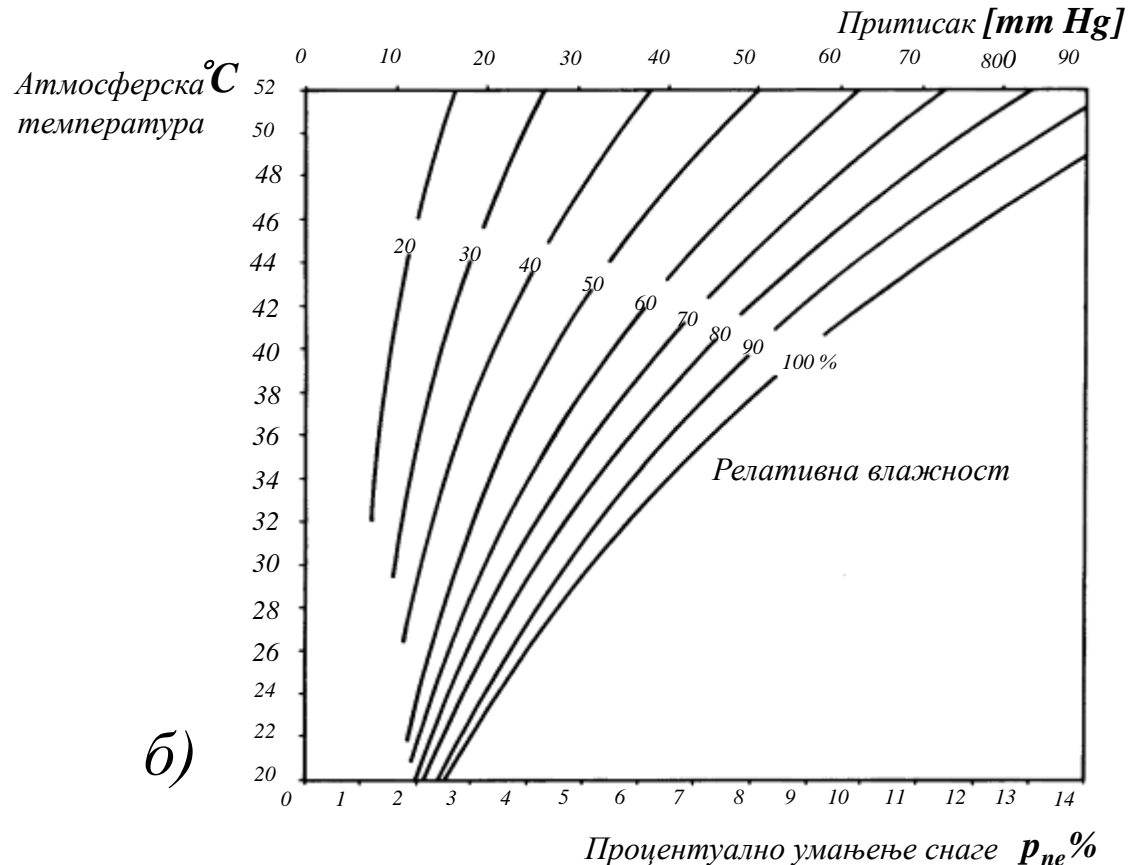
где је:

$N_e$  - снага мотора при прописаним условима испитивања мотора,

$p_{en}$  - проценат смањења снаге зависно од атмосферске температуре, притиска и релативне влажности ваздуха, %, (дијаграм б),

$k_{nv}$  - фактор корекције снаге мотора зависно од начина пуњења мотора (природно, турбо-надпуњење), барометарског притиска, надморске висине и температуре ваздуха (дијаграм а).

На дијаграму је дато процентуално смањење  $p_{ne}$  снаге мотора зависно од атмосферске температуре, притиска и релативне влажности ваздуха



# Дизел мотори

## Избор параметара мотора

### Technical Data Diesel Engines



D924TI-E

Engine data

Engine type		In-line engine
Rated speed	min <sup>-1</sup>	2100
Number of cylinders		4
Firing order		1-3-4-2
Bore	mm	122
Stroke	mm	142
Displacement	litres	6.64
Compression ratio		17,2:1
Direction of rotation (facing the flywheel)		left
Flywheel housing		SAE 1 / SAE 2
Engine weight (without water and oil)	kg	740
Rated power per DIN ISO 9249 @ 2000 min <sup>-1</sup>		
Power group 1	kW	180
Power group 2	kW	171
Power group 3	kW	162
Power group 4	kW	153
Power group 5	kW	145

