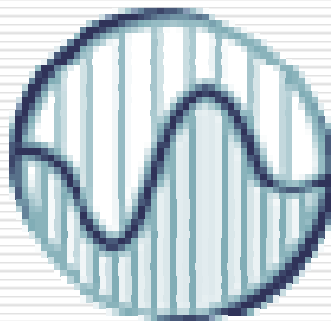
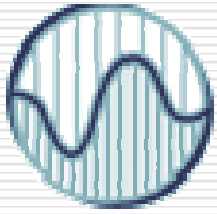




Висока школа електротехнике и
рачунарства струковних студија

МОТОРИ СУС

Радни параметри мотора
Радне карактеристике мотора



Радни параметри мотора



Уводне напомене

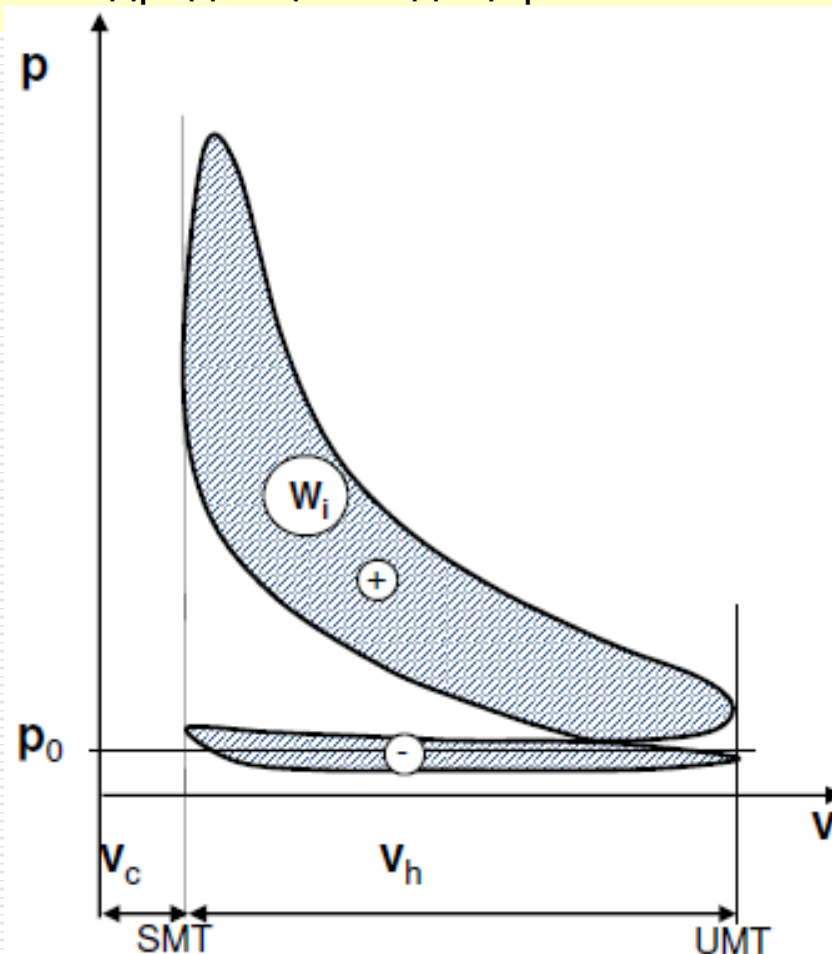
- ❑ **Радни параметри мотора (интегрални параметри) карактеришу радни процес мотора у целини**
- ❑ Они квантификовано (бројно) изражавају квалитет радног процеса мотора у погледу:
 - радног учинка,
 - ефикасности,
 - економичности и сл.
- ❑ Радни параметри мотора омогућавају: поређење са конкурентним агрегатима, процену могућности апликације у појединим областима.

Могу се сврстати у три групе:

1. **Индицирани параметри** – карактеришу оно што мотор развија у радном простору (цилиндру)
2. **Ефективни параметри** – карактеришу оно што мотор даје на излазном вратилу (што је на располагању кориснику)
3. **Комплексни радни параметри** – карактеришу форсираност мотора или неку другу особеност.

❑ **ИНДИЦИРАНИ ПАРАМЕТРИ МОТОРА**

- ❑ Индицирани параметри показују учинак и економичност унутар радног простора.
- ❑ Одакле потиче терминолошка одредница “индицирани” ?





Индицирани параметри

ИНДИЦИРАНИ РАД И СПЕЦИФИЧНИ ИНДИЦИРАНИ РАД ЦИКЛУСА

- Представља мерило ефикасности стварног радног циклуса у цилиндру мотора.
- Индицирани рад циклуса (рад развијен у једном радном циклусу)

$$W_i = \oint p dV [J]$$

- Специфични индицирани рад (средњи индицирани притисак) – Специфични рад циклуса показује колико се рада може добити по јединици радне запремине мотора.

$$p_i = \frac{W_i}{V_h} \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

Одакле потиче терминолошка одредница „средњи индицирани притисак“?

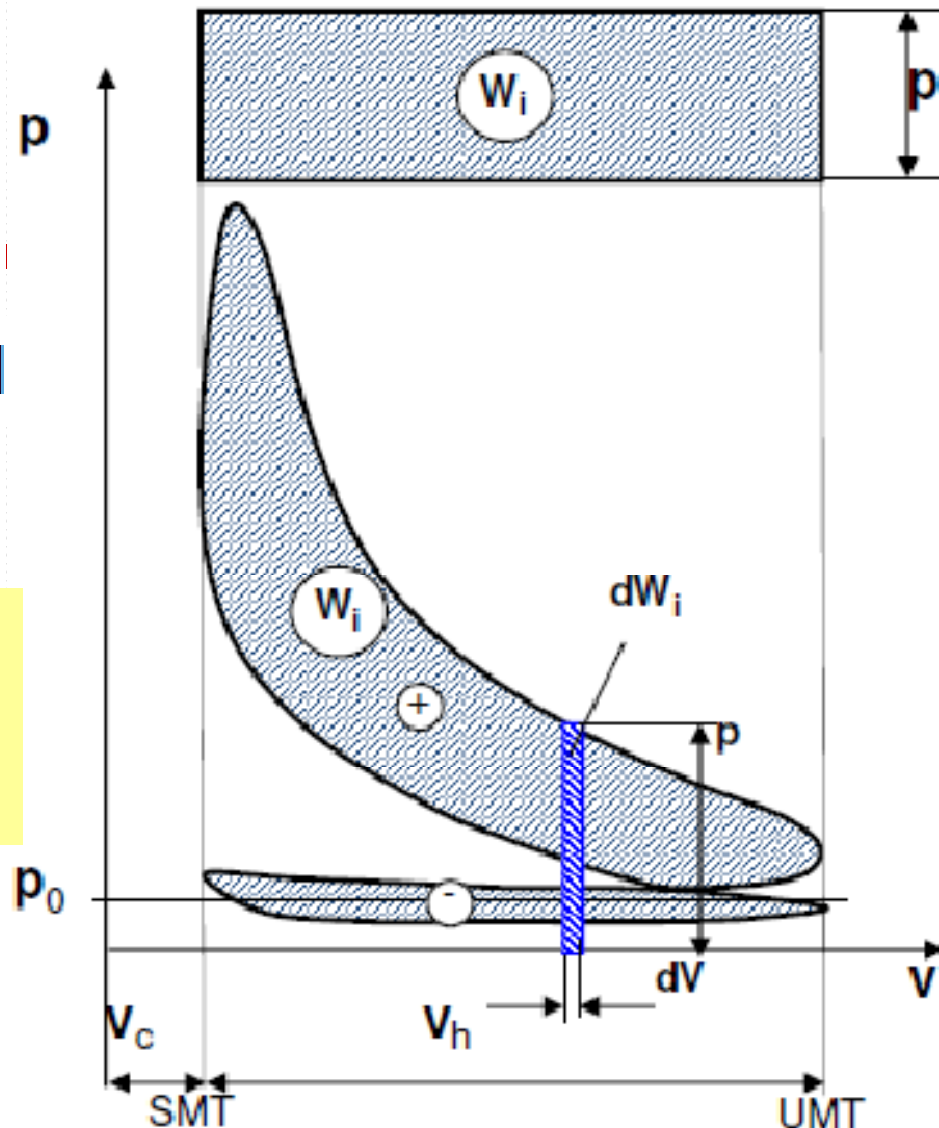
Димензиона анализа:
[J/m³] = [Nm/m³] = [N/m²].

Графичка интерпретација:

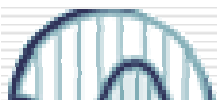
- површина омеђена циклусом (развијени рад W_i) представи као правоугаоник конструисан над радном запремином V_h .

Дефиниција:

- Фиктивна константна вредност притиска која када би деловала у цилиндру, у току једног хода клипа од СМТ до УМТ извршила би исти рад који изврши стварни променљиви притисак у току целог циклуса.



p_i [bar]	usisni	natpunjeni
benzinski motori	10 - 13	12 - 20
dizel motori	8 - 10	10 - 20



Уводне напомене

ИНДИЦИРАНА СНАГА МОТОРА

- W – индицирани рад развијен у једном циклусу
- $2n/t$ - број радних циклуса у јединици времена; $n[s^{-1}]$;
- T -тактност мотора ($T=2$ за двотактне, $T=4$ за четворотактне).

$$P_i = W_i \frac{2n}{\tau} = p_i V_h \frac{2n}{\tau} [W]; \quad p_i \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad V_h [m^3]$$

$$P_i = z \cdot p_i V_h \frac{2n}{\tau} = p_i V_{hu} \frac{2n}{\tau} [W]$$

$$p_i [\text{bar}]; V_{hu} [dm^3]; n [min^{-1}] \text{ i } P_i [kW]: \quad P_i = \frac{p_i V_{hu} n}{300\tau} [kW]$$

- **СПЕЦИФИЧНА ИНДИЦИРАНА ПОТРОШЊА ГОРИВА**

- Потрошња горива у јединици времена сведена на јединицу развијене индициране снаге. У SI систему јединица (kg-m-s):

$$g_i = \frac{m_g}{P_i} \left[\frac{kg}{Ws} \right]$$

$$G_h [kg/h], P_i [kW] \text{ i } g_i [g/kWh] \quad g_i = \frac{G_h}{P_i} \cdot 10^3 \left[\frac{g}{kWh} \right]$$

	$g_i [g/kWh]$
benzinski motori	220 - 270
dizel motori	160 - 240

- **ИНДИЦИРАНИ СТЕПЕН КОРИСНОСТИ**

- Представља мерило економичности стварног циклуса у цилиндру мотора. Дефинисан је као однос добијене енергије у облику мех. рада и уложене хемијске енергије горива.
- Израз за један радни циклус:

$$Q_{gc} = \frac{\dot{m}_g H_d}{z \frac{2n}{\tau}} \left[\frac{J}{cikl.} \right] \quad \eta_i = \frac{W_i}{Q_{gc}} [-]$$

$\dot{m}_g$ – укупни проток горива

H_d – доња топлотна моћ горива

бензин $\sim 44000 [kJ/kg]$

дизел $\sim 42000 [kJ/kg]$

z - број цилиндара

T - тактност мотора (2 или 4)

$$W_i = \frac{P_i}{z \frac{2n}{\tau}}$$

$$\eta_i = \frac{P_i}{\dot{m}_g H_d} = \frac{1}{g_i H_d}$$

	$\eta_i [-]$
benzinski motori	0.3 - 0.37
dizel motori	0.36 - 0.53



Индицирани параметри

СТЕПЕН ДОБРОТЕ РАДНОГ ЦИКЛУСА

- Степен добротe η_d - однос индицираног рада стварног циклуса W_i и развијеног рада идеалног термодинамичког циклуса W_t

$$\eta_d = \frac{W_i}{W_t}$$

Po definiciji важи:

$$W_t = \eta_t Q_1$$

$$W_i = \eta_i Q_{gc}$$

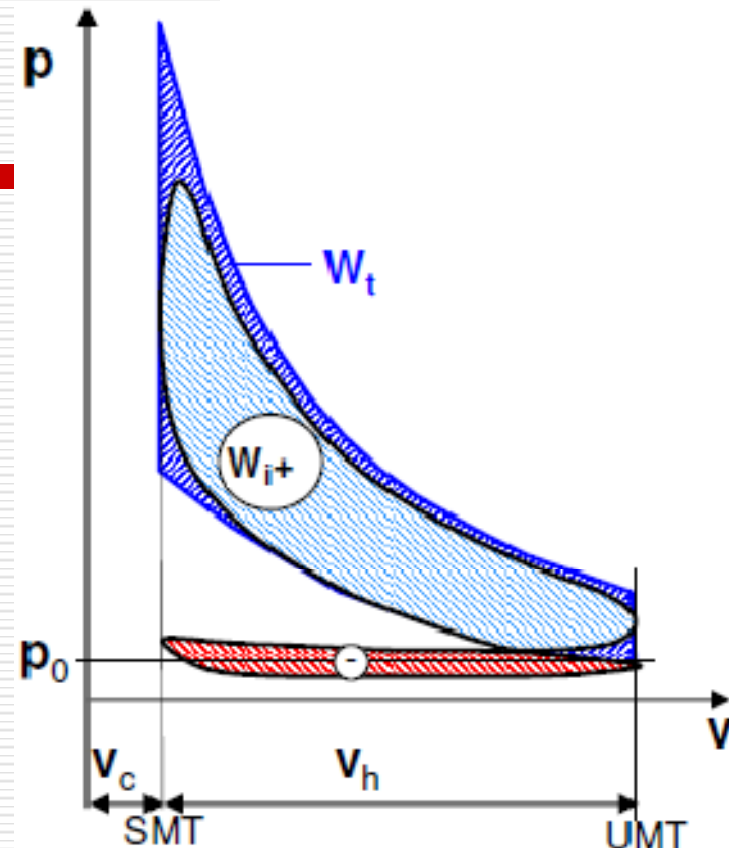
$$Q_{gc} = Q_1$$

$$\Rightarrow \eta_d = \frac{\eta_i}{\eta_t}$$

$$\eta_i = \eta_t \cdot \eta_d$$

- Губици који се јављају код реалног циклуса, а који код термодинамичког циклуса нису узети у обзир:
- Губици због реалности процеса сагоревања. Процес сагоревања код стварног циклуса почиње пре СМТ а завршава се после СМТ.
- Губици због хлађења делова.
- Губици због рада утрошеног на измену радне материје.
- Губици топлоте због непотпуног и недовршеног сагоревања. (пример бензинског мотора за случај $\lambda < 1$, утицај мешања, испаравања...)
- Остали топлотни и други губици које је тешко сагледати (нпр. зрачење мотора у околину, непотпуна заптивеност радног простора и сл.

Пример Отто-циклуса и радног циклуса реалног бензинског мотора



Утицај регулације и услова рада:

- шема развода;
- састав смеше (λ);
- угао претпаљења (предубризгавања)
- Оријентационе вредности степена добротe код мотора:
- $\eta_d \sim 0.7 - 0.8$



ЕФЕКТИВНИ ПАРАМЕТРИ МОТОРА

ЕФЕКТИВНИ ПАРАМЕТРИ МОТОРА

- Излазне величине мотора (на замајцу или излазном вратилу мотора) које се ефективно могу предати потрошачу, кориснику моторске снаге (радној или некој другој машини).
- Показују учинак и економичност мотора у целини.
- Разлика између индицираних и ефективних параметара настаје услед унутрашњих механичких губитака.

МЕХАНИЧКИ ОТПОРИ У МОТОРУ

- Снага која се троши на савлађивање механичких отпора у мотору
- **$P_m = P_{tr} + P_{pu} + P_{ae}$**
- **P_{tr}** - Снага која се троши на савлађивање отпора трења на покретним радним склоповима мотора: $P_{tr} \sim (0.6-0.8)P_m$;
- 60-80% отпада на трење клипа и клипних прстенова у цилиндру, а остатак на остале клизне површине
- **P_{pu}** - Снага која се троши за погон помоћних уређаја: $P_{pu} \sim (0.1-0.3)P_m$
- **P_{ae}** -Снага аеродинамицких отпора кретања моторских делова: $P_{ae} \sim (0.02-0.03) P_m$

НАПОМЕНА:

- Понекад се у снагу механичких отпора увршћује и снага потребна за измену радне материје (ограничења метода мерења механичких губитака мотора). Неправилно!

- Фактори који утичу на величину механичких губитака:

1. Конструктивни фактори

- Конструкција клипног склопа – број, облик и карактеристике клипних прстенова, профил и конструкција клипа.
- број лежајева и других клизних површина у мотору
- број и врста помоћних уређаја
- материјали клизних површина (њихова клизна својства)

2. Производни фактори

- квалитет израде и обраде делова
- одржавање толеранција, коаксијалности, паралелности и сл.
- квалитет површинске заштите и др.

3. Експлоатациони фактори

- квалитет мазива и његове карактеристике (нпр. нижи вискозитет уља даје мање отпоре али постоји опасност од разарања мазивог филма)
- термичко стање мотора (отпори су већи при нижој температури елемената од оптималне због неадекватних зазора, већег вискозитета мазива и сл.)
- радни режим мотора (број обртаја и оптерећење)
- талози у мотору на клизним површинама
- техничко стање мотора и квалитет одржавања



ЕФЕКТИВНИ ПАРАМЕТРИ МОТОРА

- **Снага механичких отпора:**

$$P_m = \frac{P_m V_{hu} n}{300\tau} [kW]$$

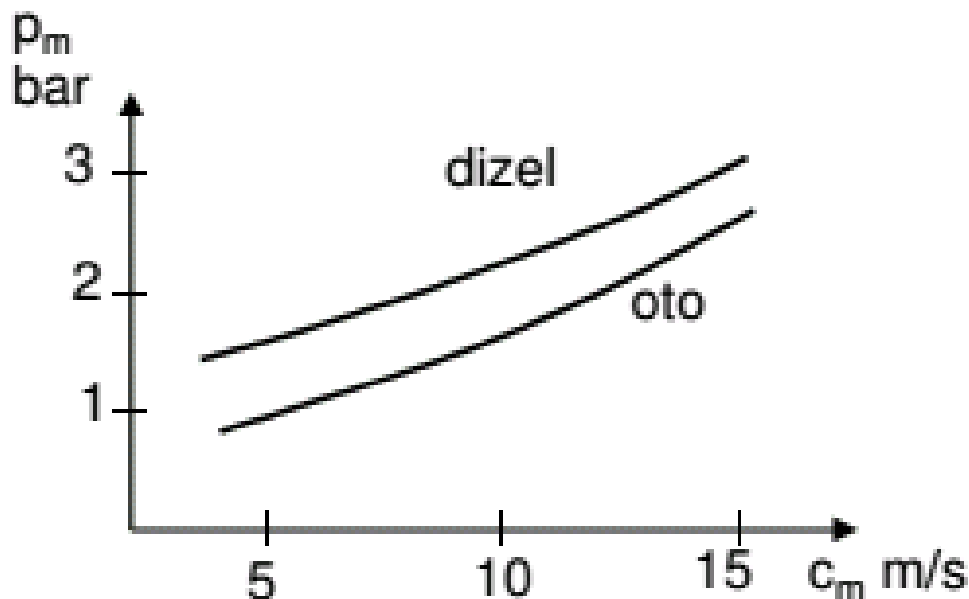
- **Специфични рад мех. губитака p_m** за дату конструкцију мотора зависи пре свега од броја обртаја (средње брзине клипа c_m):

$$p_m = A + B \cdot c_m$$

- константе А и Б зависе од врсте мотора, конструктивних, производних и експлоатационих фактора

$$c_m = \frac{S \cdot n}{30}$$

- средња брзина клипа



- **ЕФЕКТИВНА СНАГА МОТОРА И ЕФЕКТИВНИ ОБРТНИ МОМЕНТ**

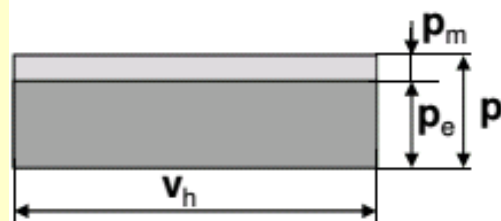
- Ефективна снага мотора је снага коју на излазу КВ предаје потрошачу.

$$P_e = P_i - P_m$$

$$M_e = \frac{P_e}{\omega} \quad \omega = \frac{\pi \cdot n}{30} [rad/s]; \quad n [min^{-1}]$$

- **СПЕЦИФИЧНИ ЕФЕКТИВНИ РАД - СРЕДЊИ ЕФЕКТИВНИ ПРИТИСАК**

$$P_e = P_i - P_m = (p_i - p_m) \frac{V_{hu} n}{300\tau} = \frac{P_e V_{hu} n}{300\tau} [kW]$$



$$p_e = p_i - p_m$$

- Специфична величина користи се за поређење разних мотора у погледу развијеног рада и као мера оптерећења мотора при разматрању промене разних параметара у функцији промене оптерећења

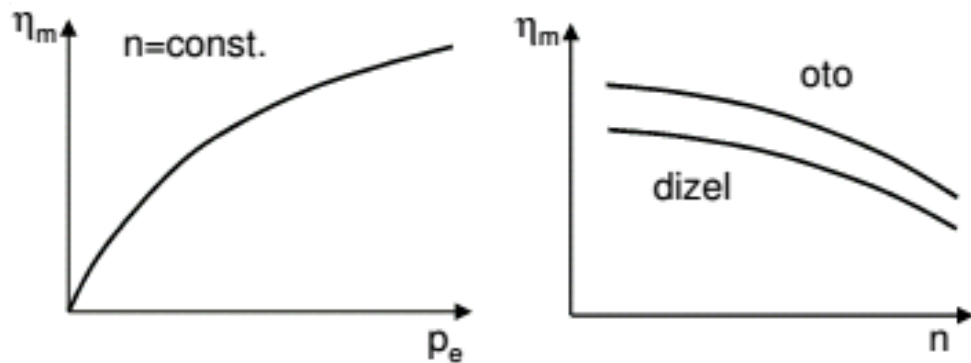
p_e [bar]	usisni	natpunjeni
benzinski motori	8 - 10	10 - 16
dizel motori	6 - 8	10 - 18



ЕФЕКТИВНИ ПАРАМЕТРИ МОТОРА

- МЕХАНИЧКИ СТЕПЕН КОРИСНОСТИ МОТОРА
- Механички степен корисности је дефинисан као однос ефективне и индициране снаге:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_e}{P_i} \quad P_e = P_i \cdot \eta_m ; P_e = P_i \cdot \eta_m$$
$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_i - P_m}{P_i} = 1 - \frac{P_m}{P_i}$$



- Оквирне вредности (номинални режим)
 $\eta_m \sim 0.75 - 0.9$

- СПЕЦИФИЧНА ЕФЕКТИВНА ПОТРОШЊА ГОРИВА

- Потрошња горива у јединици времена сведена на јединицу развијене ефективне снаге:

$$g_e = \frac{\dot{m}_g}{P_e} \left[\frac{kg}{Ws} \right] \quad g_e = \frac{G_h}{P_e} \cdot 10^3 \left[\frac{g}{kWh} \right]$$

- Веза између специфичне ефективне и специфичне индициране потрошње горива:

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m}$$

	g_e [g/kWh]
benzinski motori	250 - 300
dizel motori	190 - 250



ЕФЕКТИВНИ ПАРАМЕТРИ МОТОРА

ЕФЕКТИВНИ СТЕПЕН КОРИСНОСТИ МОТОРА

- однос ефективно добијене снаге на излазу из мотора и укупне енергије доведене мотору горивом у јединици времена:

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_g} = \frac{P_e}{\dot{m}_g H_d}$$

Представља мерило укупне економичности мотора

$$\eta_e = \frac{1}{g_e H_d}$$

Веза између ефективног степена корисности и специфичне ефективне потрошње

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$$

Веза између ефективног, индицираног и механичког степена корисности

	$\eta_e [-]$
benzinski motori	0.25 - 0.3
dizel motori	0.33 - 0.45

АНАЛИЗА УКУПНЕ ЕКОНОМИЧНОСТИ РАДА МОТОРА

- Како је g_e обрнуто пропорционално ефективном степену корисности, тј.

$$\eta_e = \frac{1}{g_e H_d} \rightarrow g_e = \frac{k}{\eta_e}$$

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = \eta_i \cdot \eta_d \cdot \eta_m$$

Укупна економичност зависи од:

- Степена корисности идеалног термодинамичког циклуса, односно, од тога који је теоријски циклус основа рада мотора.
- Степена добротe стварног радног процеса мотора, односно, колико је успешно реализован тај теоријски циклус стварним радним процесом мотора.
- Механичког степена корисности, односно, од тога колико је мотор успешно изведен у конструктивно-механичком погледу.

Поређење бензинских и дизел мотора:

- Термодинамички степен корисности дизел мотора је знатно већи, (утицај e и l).
- Степен добротe дизел мотора је такође нешто већи, (пре свега пумпни рад, потпуно сагоревање).
- Механички степен корисности је начелно нешто већи код бензинских мотора (динамика моторског механизма, систем вбриговања)



ЕФЕКТИВНИ ПАРАМЕТРИ МОТОРА

АНАЛИЗА СРЕДЊЕГ ЕФЕКТИВНОГ ПРИТИСКА

- Индицирани рад развијен током циклуса

$$W_i = p_i \cdot V_h = \eta_i \cdot Q_{gc}$$

- Доведена топлота током циклуса

$$Q_{gc} = m_{sm} \cdot H_{dsm} = \rho_s \cdot \eta_v \cdot V_h \cdot H_{dsm}$$

- Доња топлотна моћсмеше горива и ваздуха

$$H_{dsm} = \frac{H_d}{1 + \lambda \cdot L_{min}} \approx \frac{H_d}{\lambda \cdot L_{min}}$$

- Изрази за средњи индицирани и средњи ефективни притисак у облику подесном за анализу утицајних чинилаца

$$p_i = \rho_s \cdot \eta_v \cdot \frac{\eta_i}{\lambda} \cdot \frac{H_d}{L_{min}}$$

$$p_e = \rho_s \cdot \eta_m \cdot \eta_v \cdot \frac{\eta_i}{\lambda} \cdot \frac{H_d}{L_{min}}$$

- УТИЦАЈНИ ЧИНИОЦИ НА p_e

1. H_d/L_{min} - однос доње топлотне моћи горива према минималној теоретској количини ваздуха за потпуно сагоревање (приближно константан за сва угљоводонична горива).
2. **Густина свежег пуњења** битно утиче на развијени рад. Она је дата једначином стања

$$\rho_s = \frac{p_k}{R \cdot T_k}$$

p_k и T_k - стање у уписном колектору

- смисао примене натпуњења мотора
- утицај натпуњења на притисак и температуру у уписном колектору
- примена међухлађења

3. **Механички степен корисности η_m** (конструктивни, производни и експлоатациони фактори који позитивно утичу на смањење механичких губитака у мотору и повећавају развијени рад).
4. **Коефицијент пуњења мотора η_v** , (изабрана шеме развода мотора, конструкција канала...).
5. **η_i/λ - однос оствареног индицираног степена корисности и коефицијента вишка ваздуха** (случај бензинског и дизел мотора, утицај система сагоревања и карактеристика горива)

РЕГУЛАЦИЈА СНАГЕ МОТОРА

- ❑ **МОГУЋНОСТИ РЕГУЛАЦИЈЕ СНАГЕ КОД ОТО И ДИЗЕЛ МОТОРА**
- ❑ Разлози за анализу могућности регулације снаге мотора – статистичка расподела радних режима у радној мапи мотора.

$$p_e = \rho_s \cdot \eta_m \cdot \eta_v \cdot \frac{\eta_i}{\lambda} \cdot \frac{H_d}{L_{\min}} \quad \left| \quad \rho_s \frac{H_d}{L_{\min}} \approx \text{const.} \right.$$

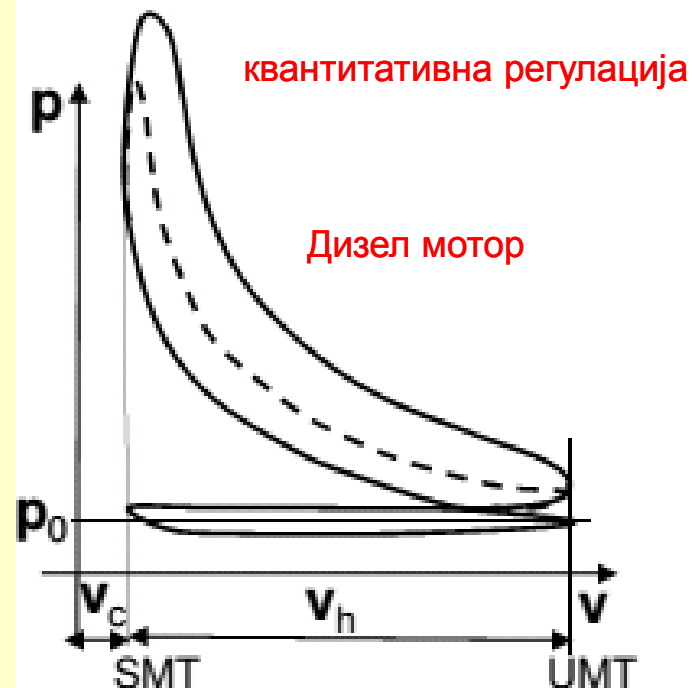
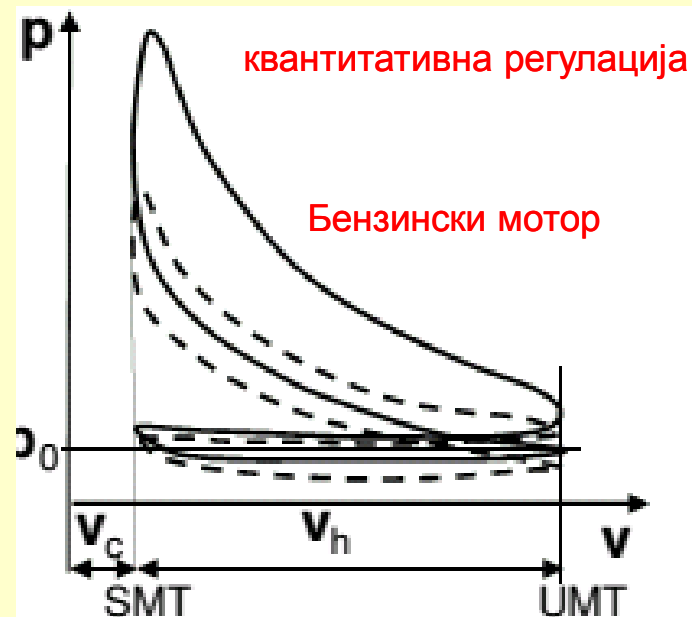
Нерационалан приступ:

- ❑ промене механичког степена корисности (кочење мотора)
- ❑ индицираног степена корисности (смањење ефикасности циклуса).

$$p_e = C \cdot \eta_m \cdot \eta_v \cdot \frac{\eta_i}{\lambda}$$

- ❑ **Два могућа начина:**
- ❑ као квантитативна регулација (количином пуњења)
- ❑ као ϕ (променом састава смеше).

$$p_e = C \cdot \eta_m \cdot \eta_v \cdot \frac{\eta_i}{\lambda}$$



ЛИТАРСКА СНАГА МОТОРА

ЛИТАРСКА СНАГА МОТОРА

- Дефинише се као ефективна снага сведена на јединицу укупне радне запремине (изражене у dm^3), тако да на известан начин изражава степен искоришћења радне запремине:

$$P_{el} = \frac{P_e}{V_{hu}} = \frac{p_e \cdot n}{300\tau} \left[\frac{\text{kW}}{\text{l}} \right]$$

Литарска снага се може повећати:

1. Повећањем средњег ефективног притиска (форсирањем радног процеса). Утицајни фактори на средњи ефективни притисак се односе и на литарску снагу.
 2. Повећањем броја обртаја (брзинским форсирањем).
- **Повећање н има смисла до рационалне границе јер је ограничено:**
- a) повећањем средње брзине клипа ($cm = S \cdot n / 30$) која према искуству за одређене намене не треба да прелази дозвољене вредности.
 - b) Повећањем cm се повећавају динамичка оптерећења, механички губици и хабање и скраћује век мотора.
 - c) Да би се повећао број обртаја при истој cm морају се смањити димензије цилиндара (ход клипа S). Начелно, мотори мањих цилиндарских запремина могу бити брзоходији и имају већу P_{el} .
 - d) смањењем коефицијента пуњења η_v – отпори струјања расту n^2 .
 - e) Код дизел мотора је ограничење и сам процес остварења смеше и сагоревања.

3. Применом 2-тактног процеса ($\tau=2$). Иако се преласком на 2-т процес теоријски добија двоструко већа P_{el} , у пракси је повећање 50-70%.
 - a) мањи коефицијент пуњења и већи коефицијент заосталих гасова код 2-т мотора.
 - b) један део хода клипа је искоришћен за смештај канала за измену радне материје тако да је изгубљен за добијање рада, (литарска снага се односи на целу радну запремину.

	$P_{el} [\text{kW/dm}^3]$
benzinski motori	30-60 (180)
dizel motori	10-45



ТОПЛОТНИ БИЛАНС МОТОРА

ЕНЕРГЕТСКИ (ТОПЛОТНИ) БИЛАНС МОТОРА

- Само један део енергије доведене мотору сагоревањем горива се искористи за добијање ефективне снаге. Остали, и то знатно већи део, одлази на разне губитке.
- Енергетски биланс мотора показује расподелу енергије доведене мотору. Анализа енергетског биланса омогућава:
 - a) сагледавање природе и величине различитих губитака,
 - b) Сагледавање начина за њихово смањење
 - c) Сагледавање начина за евентуално искоришћење.
- Ако је остварено стационарно стање мотора као система (нема промене енергетског нивоа система) може се поставити једначина одржања енергије за мотор као отворен систем:

$$Q_g + Q_v = Q_e + Q_r + Q_{ng} + Q_w + Q_u + Q_o$$

- Ако се са Q_R означи разлика енергије коју износе издувни гасови и енергије коју уноси усисни ваздух $Q_R = Q_r - Q_v$ добија се енергетски биланс мотора у облику:

$$Q_g = Q_e + Q_R + Q_{ng} + Q_w + Q_u + Q_o$$

- Q_g – Енергија која се доводи у мотор горивом (хемијска енергија горива)

$$Q_g = m_g \cdot H_d$$

m_g -масени проток горива;
 H_d - доња топлотна моћ горива

- $Q_e = P_e$ - Енергија која се ефективно искористи и предаје потрошачу

ТОПЛОТНИ БИЛАНС МОТОРА

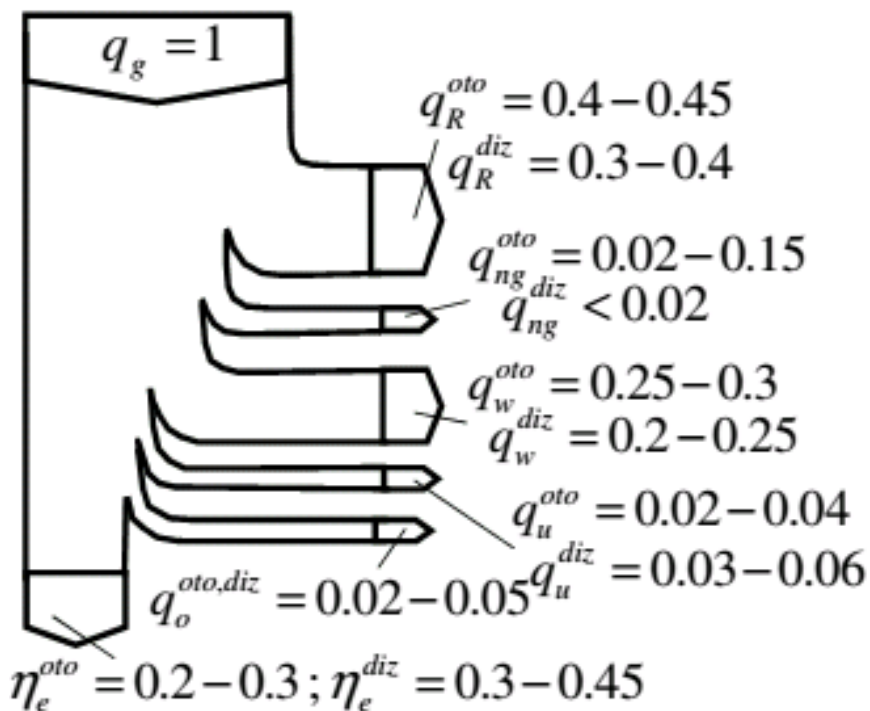
- Q_R – Разлика енергије која се одводи издувним гасовима (као њихова тотална енталпија) и енергије која се доводи у сисним ваздухом (енталпија у сисног ваздуха)

$$Q_R = m_r \cdot c_{pr} \int_0^{T_r} T_r - m_v \cdot c_{pv} \int_0^{T_v} T_v$$

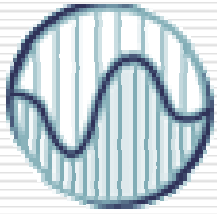
- m_r – масени проток издувних гасова,
- c_{pr} – средња специфична топлота продуката сагоревања при $p = \text{цонст.}$
- T_r – температура продуката сагоревања
- m_v – масени проток у сисног ваздуха
- c_{pv} – средња специфична топлота ваздуха при $p = \text{цонст.}$
- T_v – температура у сисног ваздуха
- Q_w – Топлота која се одводи из мотора средством за хлађење. Изражена је као разлика енергије расхладног средства мотора на излазу из мотора и на улазу у мотор.

$$Q_w = m_h \cdot c_{ph} (T_{hi} - T_{hu})$$

- Q_u – Топлота која се одводи из мотора хлађењем уља за подмазивање. Одређује се на исти начин као и Q_w .
- Q_{ng} – Еквивалентна количина топлоте која се губи због непотпуног сагоревања.
- Q_o – Остали топлотни губици које је тешко измерити, као што су: губици масе услед непотпуне заптивености радног простора, зрачење мотора у околину, погон неких помоћних уређаја и сл.



$$1 = \eta_e + q_R + q_{ng} + q_w + q_u + q_o$$



Радне карактеристике мотора



Уводне напомене

- Ефективна снага мотора је пропорционална специфичном ефективном раду циклуса (средњег ефективног притиска) p_e и броја обратаја коленастог вратила n

$$P_e = K \cdot p_e \cdot n \text{ [kW]} \quad K_1 = \frac{100 \cdot V_{hu}}{\pi \cdot \tau}$$

$$K = \frac{V_{hu}}{300\tau} \quad M_e = \frac{P_e}{\omega} = \frac{1000 \cdot K \cdot p_e \cdot n}{\pi \cdot n / 30}$$

- Суштинске разлике у начину регулације оптерећења код бензинских и дизел мотора:

- Квалитативна регулација
- Квантитативна регулација

- Режим рада мотора је дефинисан са две величине:

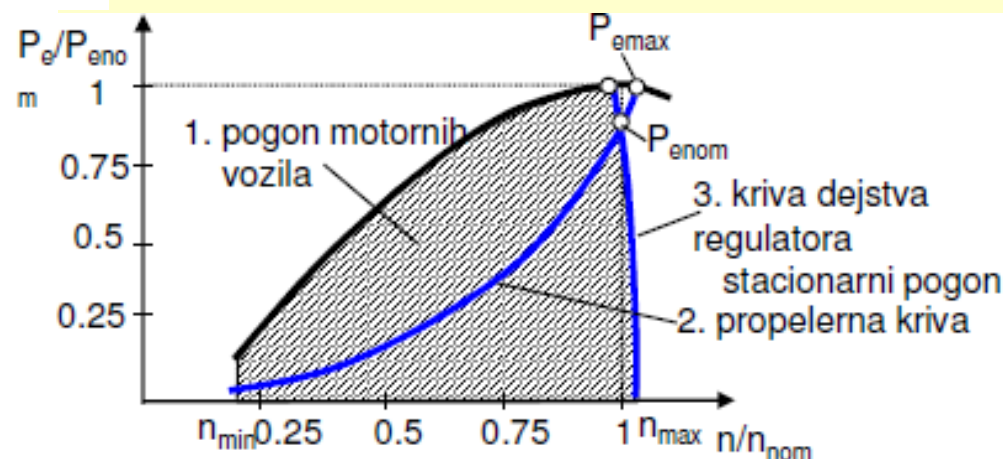
- положајем регулационог органа и
- бројем обртаја коленастог вратила (брзином обртања)

ОБЈАШЊЕЊЕ:

- Положај регулационог органа регулише количину горива по циклусу и као репрезент оптерећења најчешће се користи средњи ефективни притисак p_e (али може бити и ефективни обртни момент, ефективна снага, притисак у усином колектору, масени проток ваздуха...).

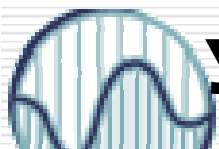
- Ефективни обртни момент је пропорционалан специфичном ефективном раду циклуса:

$$M_e = K_1 \cdot p_e \text{ [Nm]}$$



Три основне групе потрошача:

- 1. Погон моторних возила** – користи се целокупно радно подручје мотора,
- 2. Пропелерни погон** – услови погона брода и авиона. Снага мотора се мења по пропелерној кривој.
- 3. Стационарни и агрегатски погон** – оптерећење мотора се мења при приближно константном броју обртаја.



Уводне напомене

- **Номиналне карактеристике мотора** су основни параметри које декларише произвоач и које мотор може гарантовано развијати под одређеним експлоатационим условима.
- Параметри које мотор развија на номиналном режиму рада:
 - **номинална снага P_{enom}** и
 - **номинални број обртаја n_{nom}** при коме се та снага развија.

НАПОМЕНА:

- Ови параметри могу бити уједно и максимални или у одрееној мери испод максималних параметара, зависно од примене

СПЕЦИФИЧНОСТИ:

Погон моторних возила

- као номинални параметри декларишу се максимални параметри
- у условима погона моторног возила, максимална снага мотора користи повремено и релативно кратко.

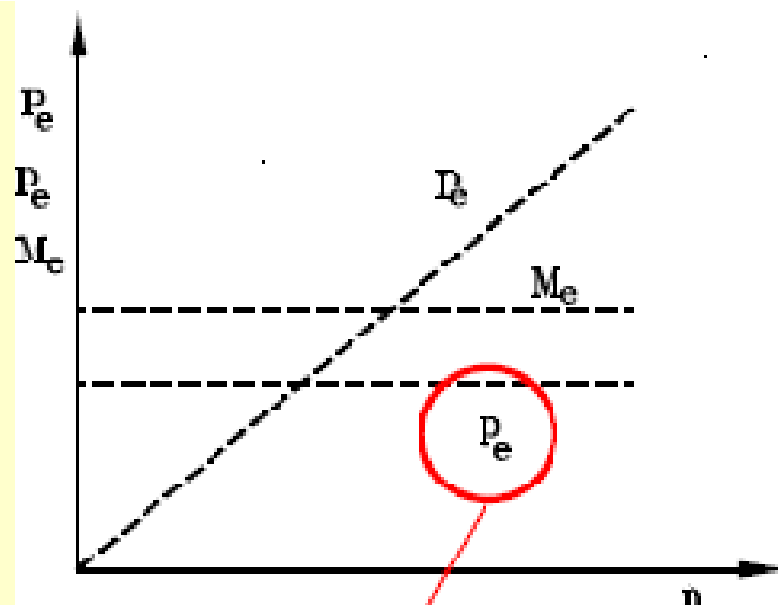
- **Авионски, бродски, локомотивски и стационарни погон:**
- дуготрајан рад мотора на номиналном режиму рада.
- номинални параметри се декларишу испод максималних ($10 \div 15\%$) и на том режиму мотор може трајно да ради без опасности од механичких или термичких оштећења.
- Могућност временски ограниченог преоптерећења (нпр. 5 или 15 min код *авионских* или 1 h код *бродских мотора*).
- У зависности од тога како се радне величине мотора мењају у задатом временском интервалу радни режими могу бити:
 - стационарни или устаљени (квази-стационарни)
 - динамички (нестационарне)
- У зависности од тога како се при испитивању карактеристика на пробном столу мења режим рада мотора, разликујемо неколико група карактеристика. То су:
 1. Брзинске карактеристике;
 2. Карактеристике оптерецења;
 3. Регулаторске карактеристике;
 4. Пропелерске карактеристике;
 5. Универзалне карактеристике;



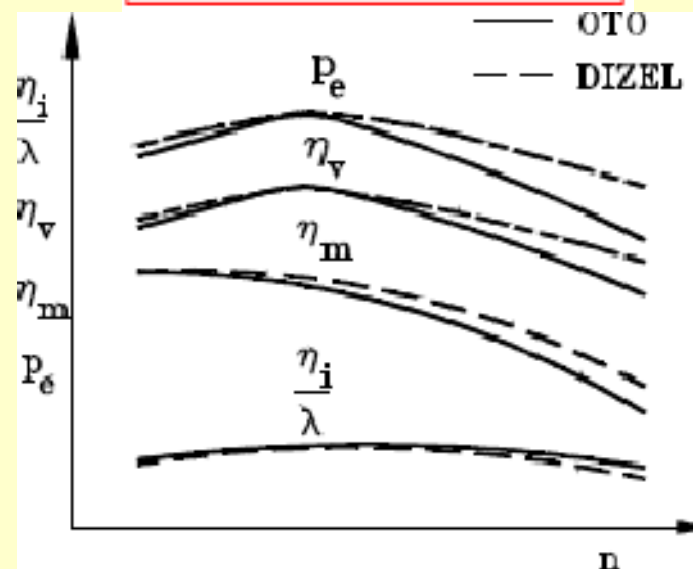
Брзинске карактеристике

ДЕФИНИЦИЈА:

- Брзинске карактеристике представљају зависност снаге, обртног момента, потрошње и других параметара од угаоне брзине коленастог вратила (броја обрта мотора n или неке величине директно пропорционалне брзини обртања, нпр. средња брзина клипа), а при константном положају регулационог органа.
- Ради лакшег поређења тока утицајних параметара код ото и дизел мотора, условно су приказане исте максималне вредности.
- η_i/λ – не мења се значајније са променом n код обе врсте мотора
- η_v – опада са порастом n начелно брже код ото мотора због већих отпора струјања (дифузор карбуратора, пригушни лептир)
- η_m – такође са порастом n опада брже код ото мотора, због бржег опадања p_i као последица бржег опадања h_v .
- Као резултат, средњи ефективни притисак p_e код ото мотора опада брже са порастом броја обртаја n , што се аутоматски може рећи и за ток



$$p_e = C \cdot \frac{\eta_i}{\lambda} \cdot \eta_v \cdot \eta_m$$



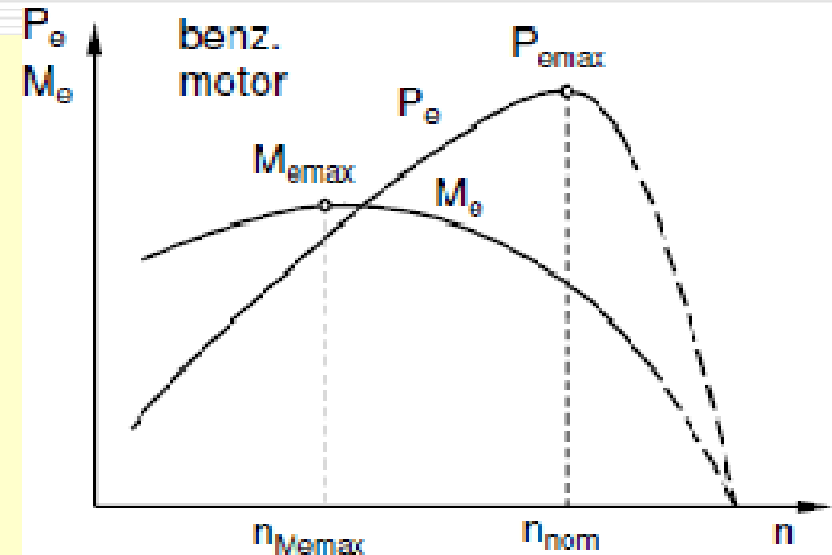
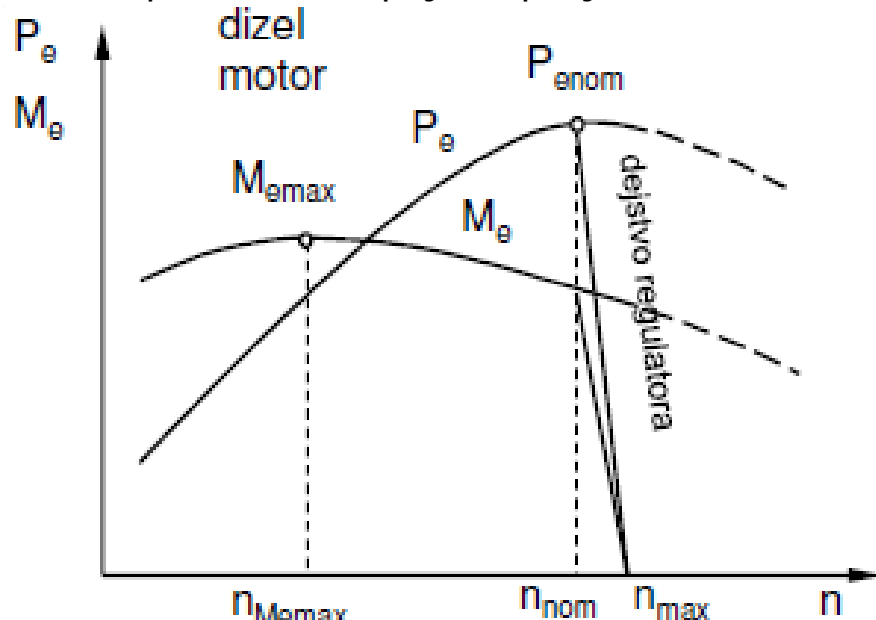


Брзинске карактеристике

- **БРЗИНСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИ ПУНОМ ОПТЕРЕЋЕЊУ**
- Брзинске карактеристике при максималном положају регулационог органа.
- **Синоними:**
 - спољне брзинске карактеристике
 - криве пуне санге мотора

Бензински мотори:

1. Изражено повијање криве обртног момента **M_e**
2. Ефективна снага **P_e** , након достизања максимума релативно брзо опада
3. Није неопходна заштита мотора од превеликог броја обртаја



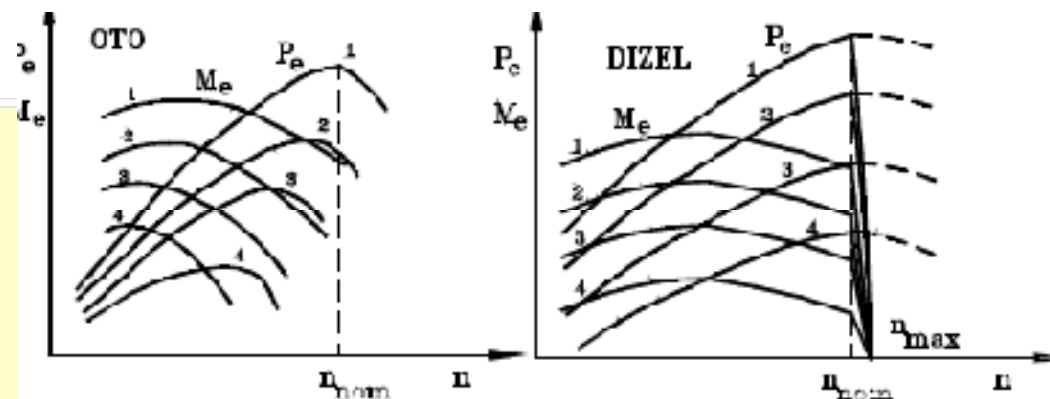
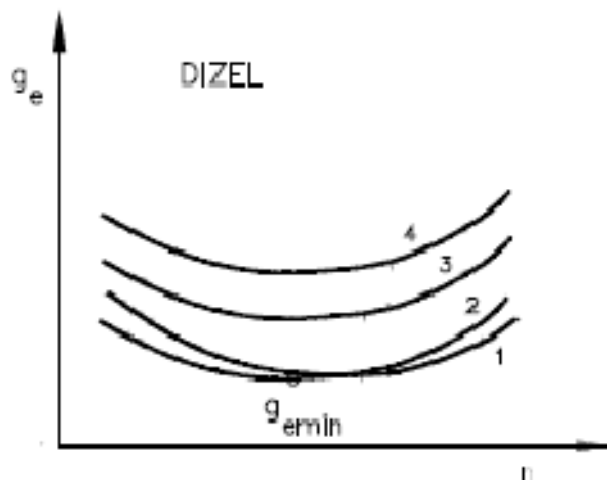
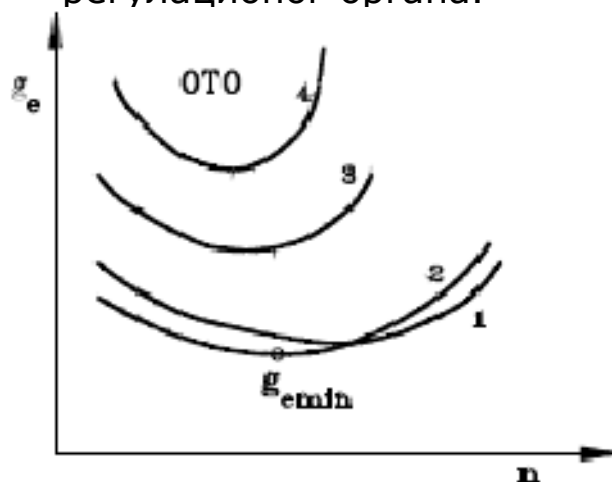
Дизел мотори:

1. Крива обртног момента **M_e** је мање повијена,
2. Крива снаге **P_e** после достизања максимума опада релативно споро,
3. Опасност од прекорачења максималног броја обртаја
 - опадање коефицијента пуњења η_v начелно спорије,
 - опадање η_v не значи аутоматски и опадање убризгане количине горива (квалитативна регулација оптерећења).
 - Проблем инерцијалних сила због велике масе покретних делова
 - Обавезно постојање регулатора максималног броја обртаја

Брзинске карактерис.

□ БРЗИНСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРИ ДЕЛИМИТНОМ ОПТЕРЕЋЕЊУ

- Карактеристике које се добијају снимањем радних параметара мотора у функцији броја обртаја при произвољном делимитном (парцијалном) положају регулационог органа.



- Специфична ефективна потрошња има минимум који је при пуном оптерећењу (крива 1) при приближно средњем броју обртаја n .
- Са порастом n опада механички степен корисности η_m због пораста механичких губитака,
 - При нижим бројевима обртаја опада и због неадекватности шеме развода и смањења интензитета струјања.

□ Анализа понашања g_e при делимитном оптерећењу (2,3 и 4)

Бензински мотор

- η_m опада због опадања p_i ;
- η_i опада због пораста пумпног рада.
- $g_{e min}$ није при максималном оптерећењу (крива 1) јер се при макс. оптерећењу прелази на рад са богатом смешом (~ 0.9), док је при дел. оптер. (криве 2,3,4) $\lambda < 1$.

$$g_e = \frac{C}{\eta_e} = \frac{C}{\eta_i \cdot \eta_m}$$

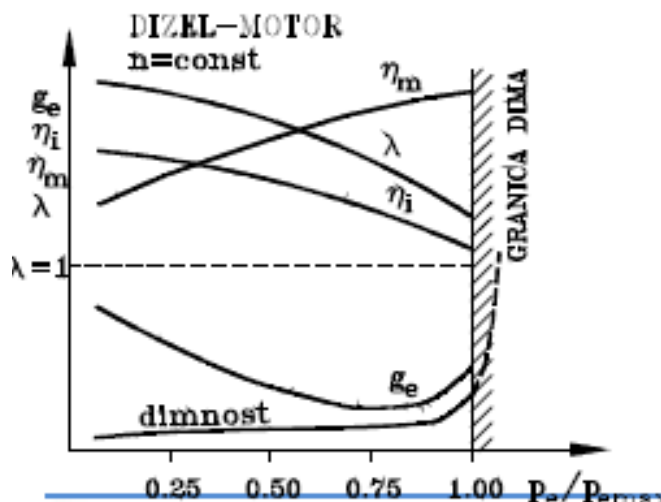
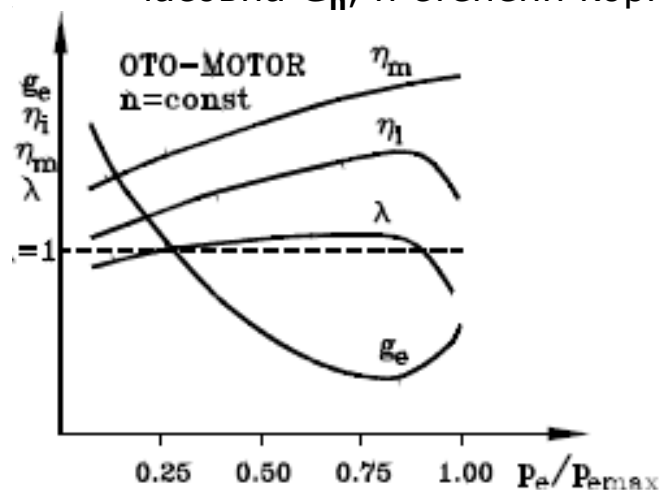
Дизел мотор

- η_m опада због опадања p_i ;
- η_i перманентно расте са смањењем оптерећења (због пораста λ).

КАРАКТЕРИСТИКЕ ОПТЕРЕЋЕЊА

ДЕФИНИЦИЈА:

- Карактеристике оптерећења представљају ток карактеристичних параметара у функцији оптерећења мотора при константном броју обртаја.
- Карактеристичне величине се најчешће прате у функцији средњег ефективног притиска p_e , (или P_e , M_e , p_{UK} , $G_A \dots$)
- Најважније величине за експлоатацију су потрошње горива – специфична g_e и укупна часовна G_h , и степени корисности η_i , η_m и коеф. вишка ваздуха λ .

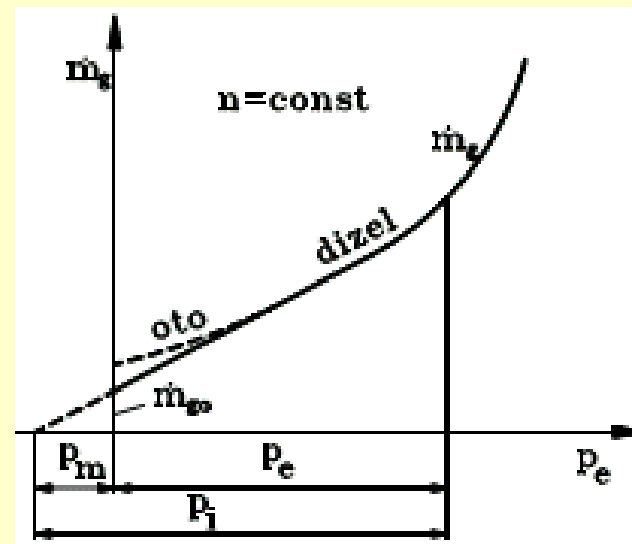


Бензински мотор:

- g_{emin} @ $80 \div 90\%$ $P_{e,max}$
- Утицај смањења η_i због обогаћења смеше.
- Код нижих оптерећења, потрошња се рапидно погоршава због смањења η_i , η_m .

Дизел мотор

- η_i монотонно расте са смањењем оптерећења (утицај λ).
- пораст g_e код ниских оптерећења последица је само смањења η_m .
- g_{emin} @ $70 \div 80\%$ $P_{e,max}$
- На вишем оптерећењу g_e расте због опадања η_i (утицај λ)



Ромбергова метода
одређивања средњег
притиска механичких
губитака

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_e}{P_e + P_m}$$



РЕГУЛАТОРСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МОТОРА

ДЕФИНИЦИЈА:

- Регулатор је уређај у саставу система за убризгавање горива који има улогу да, уколико дође до одступања у односу на регулисани број обртаја, аутоматски делује на елемент за дозирање и на тај начин одржи регулисани број обртаја мотора.

Извођење регулатора:

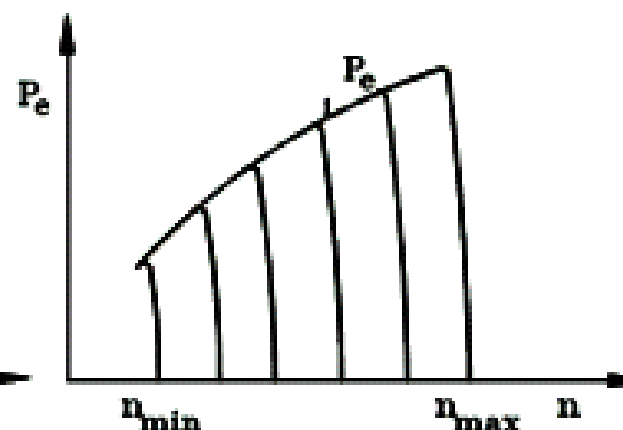
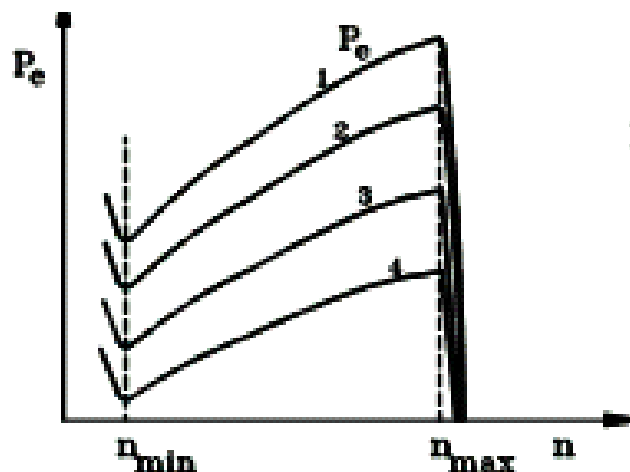
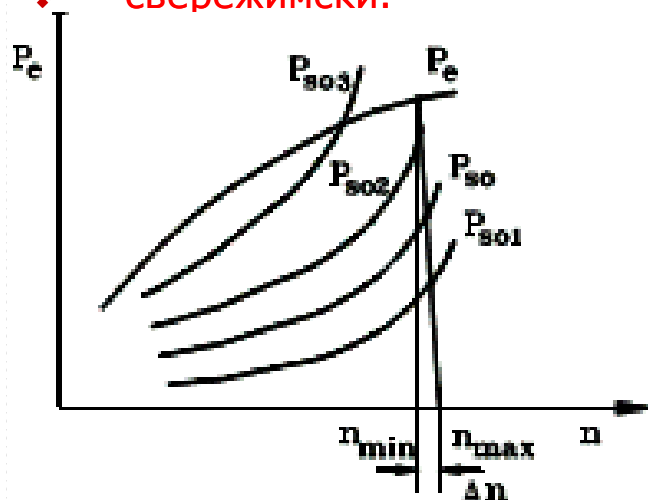
- механички (центрифугални),
- пнеуматски,
- хидраулични,
- електрични
- електронски.

- Карактеристика регулатора је дата његовим степеном неравномерности δ :
- $\delta = 0.02-0.15$ - зависи од типа регулатора и намене мотора.

$$\delta = \frac{\Delta n}{n_{sr}} = \frac{2 \cdot (n_{\max} - n_{\min})}{n_{\max} + n_{\min}}$$

$$n_{sr} = \frac{n_{\max} + n_{\min}}{2}$$

- У зависности од тога на којим брзинским режимима делује, разликују се три типа регулатора:
 - ❖ једнорежимски,
 - ❖ дворежимски и
 - ❖ свережимски.

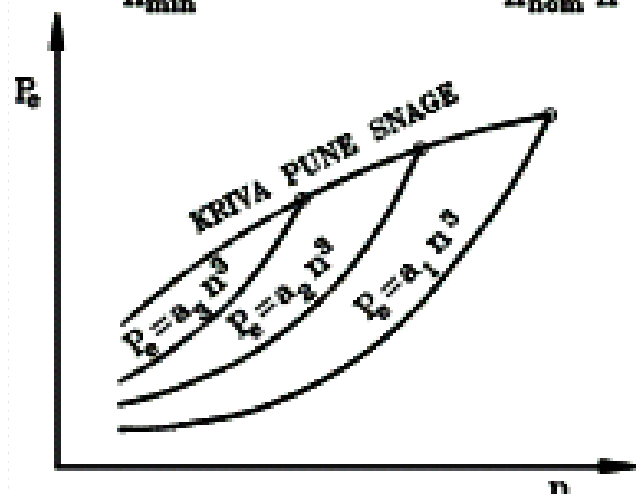
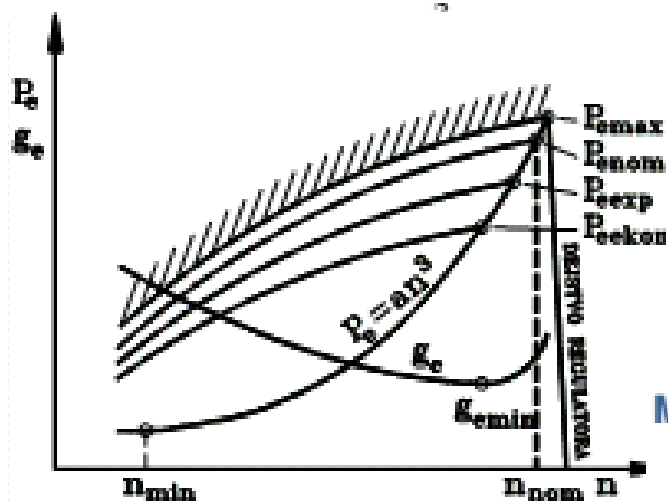




ПРОПЕЛЕРСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МОТОРА

ДЕФИНИЦИЈА:

- Пропелерске карактеристике мотора представљају зависност промене карактеристичних параметара у функцији броја обрта. Снага коју мотор развија мења се по закону кубне параболе:



- Бродски погон** снага отпора мења по закону кубне параболе

- Погон летелица** фактор пропорционалности „а“ зависи од карактеристика пропелера (пречник, корак)

- Моторна возила** крива употребе мотора (промена снаге отпора са променом брзине возила у одређеном степену преноса)

- Могуће радне тачке леже на кривој апсорбоване снаге добијају се у пресеку ове криве и брзинских карактеристика мотора при датом положају регулационог органа.

Мaksimalna snaga

$P_{e,max} \sim 110\% P_{e,nom}$

ограничен време
÷ 2h

Nominalna snaga

$P_{e,nom} \sim 100\% P_{e,nom}$

Trajan rad

Eksploataciona snaga

$P_{e,exp} \sim 85 \div 90\% P_{e,nom}$

Neprekidan rad

Ekonomična snaga

$P_{e,ekon}$
($P_e @ g_{e,min}$)

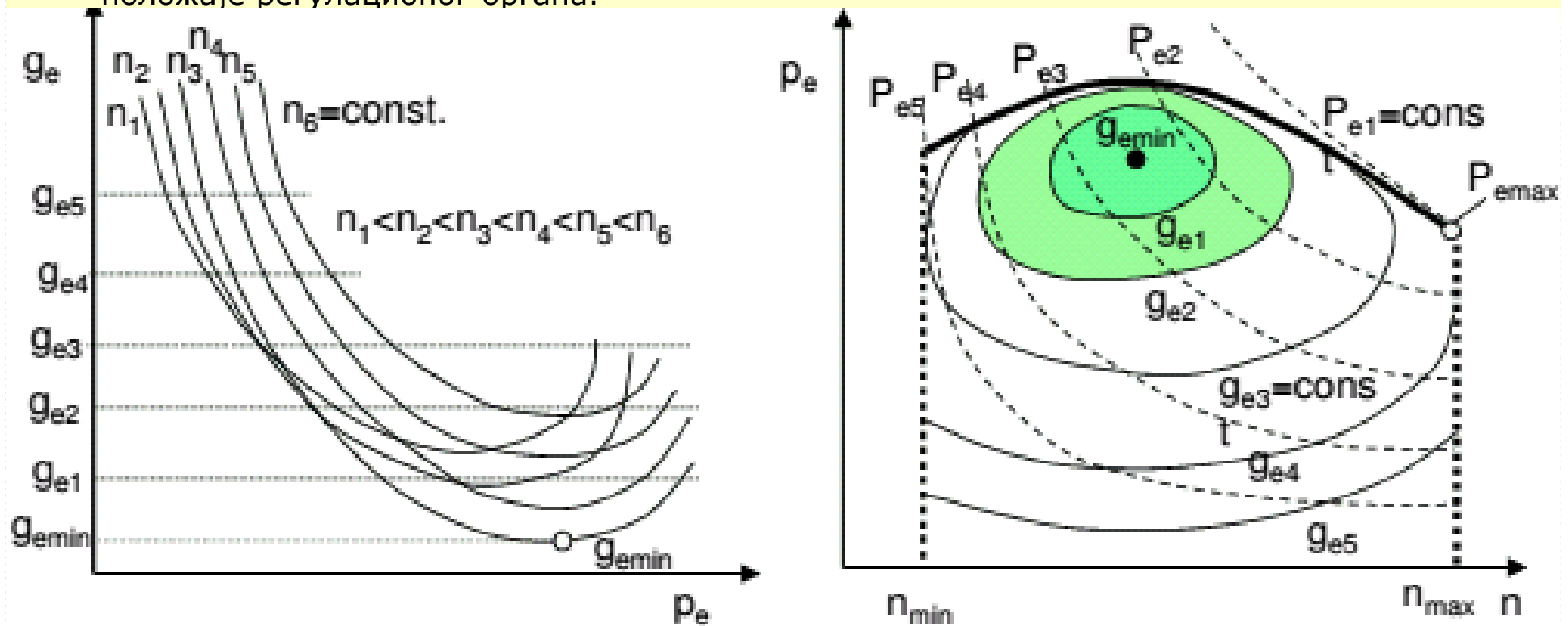
Minimalna snaga

$P_{e,min}$
($P_e @ n_{min} \sim 1,5\% P_{e,nom}$,
 $n_{min} \sim (0,2 \div 0,3) n_{nom}$)

УНИВЕРЗАЛНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МОТОРА

ДЕФИНИЦИЈА:

- Универзалне карактеристике приказују промену неке величине у целој радној области мотора параметарски, тј. као линије константних вредности посматране величине.
- **Поступак:**
 1. Снимити промене посматране величине на више карактеристика оптерећења мотора при различитим бројевима обртаја или
 2. Снимити промене посматране величине на више брзинских карактеристика за различите положаје регулационог органа.

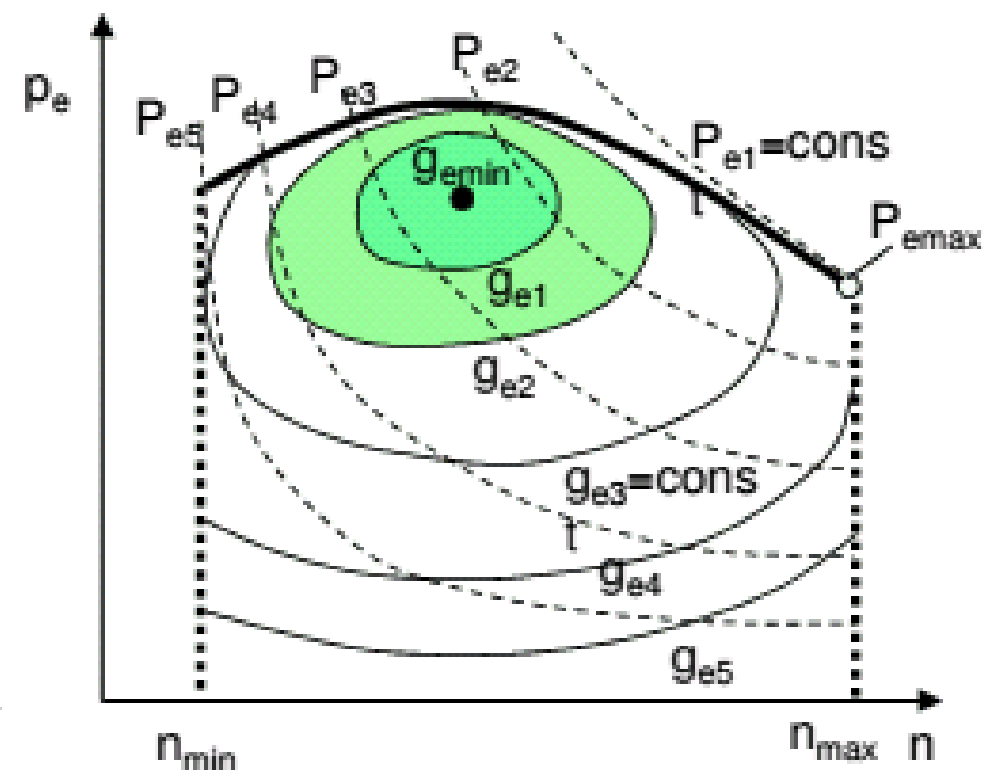
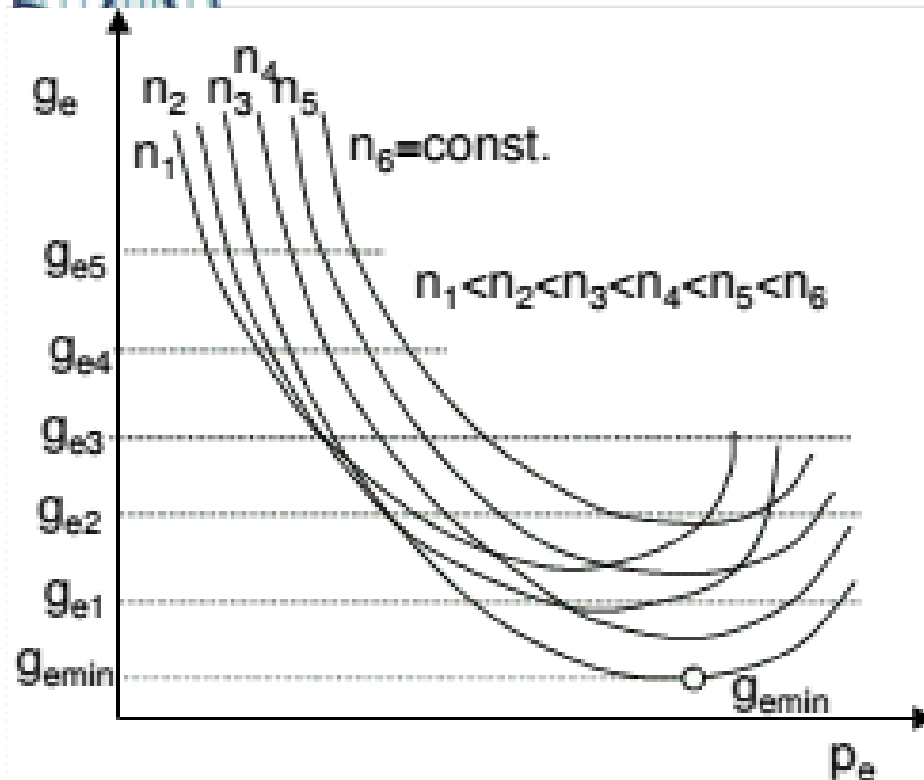


$$g_e = \frac{C}{\eta_e} = \frac{C}{\eta_i \cdot \eta_m}$$

$$P_e = C \cdot p_e \cdot n$$

$$p_e = \frac{P_{e \text{ const.}} \cdot C}{n} = \frac{C_1}{n}$$

УНИВЕРЗАЛНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МОТОРА



$$g_e = \frac{C}{\eta_e} = \frac{C}{\eta_i \cdot \eta_m}$$

$$P_e = C \cdot p_e \cdot n$$

$$p_e = \frac{P_{e \text{ const.}} \cdot C}{n} = \frac{C_1}{n}$$

	benzinski motor	dizel motor
iznad pola (veći p_e)	η_i opada (obogaćenja smeše) η_m raste	η_i opada zbog obogaćenja smeše η_m raste
Ispod pola (manji p_e)	η_i opada zbog porasta pumpnog rada η_m opada	η_i raste η_m opada
desno od pola (veći n)	η_i praktično se ne menja η_m opada zbog porasta p_m	η_i blago opada zbog razvučenog sagorevanja η_m opada zbog porasta p_m
levo od pola (manji n)	η_i opada (slabija turbulencija i neadek. šema razvoda) η_m raste	η_i opada (vihorenje, šema razvoda) η_m raste