

SAVARIA SMI INFELTEHU
Származékos Intézet

Óbuda-László
Tudományegyetem

GÉPÉSZMÉRNÖKI ALAPISMERETEK

Hőerőgépek: Motorszerkezettani alapismeretek



Dr. Bak Árpád
Igazgató, okleveles gépészmérnök

#szombathelyigepez

1

HŐERŐGÉPEK

- A hőerőgépek olyan szerkezetek, melyek a tüzelőanyag kémiai energiáját alakítják hővé, majd mechanikai munkává.
- Hőerőgépekről a gőzgép megjelenésétől (James Watt, 1769) beszélünk.
- A nagyipar a kereskedelem és a szállítás kialakulása létrejötte, széleskörű polarizációt eredményezett és az országok közötti fejlődési különbségekre is meghatározóan hatott.

2

HŐERŐGÉPEK

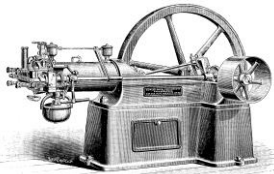

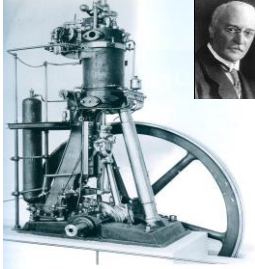
- Hőerőgépek:** szilárd, folyékony, légnemű tüzelőanyagok felszabadítása révén termikus energiát mechanikai munkává alakít.

Az elégetési mód szerint:

- Külső égésűerőgépek:
 - Dugattyús gőzgép
 - Gőzturbina
- Belsőégésű erőgépek:
 - **Belsőégésű motor**
 - Gázturbina



3

Első négyütemű, gázüzemű motor (A.N. Otto) 1876-ban. Manuálisan szabályozható, 6100cm³, 3 HP azaz 2,2 kW

Első dízelmotor 1897-ben. Melynek hatékonysága 26,2% volt. 20.000cm³, 18 LE azaz 13 kW, 154 rpm

4

KÜLSŐ ÉGÉSŰ ERŐGÉPEK HATÁSFOKA

- 1 kg szén elégetése elméletileg **5-8 kWh** munkát ad.
- A dugattyús gőzgépek energiaátalakulás hatásfoka **5-15 %**.
- A gőzturbinák kiegészítő berendezéssel (kondenzátor, tápvíz előmelegítő, levegő-előmelegítő, túlhevítő) alkalmazásával **25-45 %**



$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3600 \text{ kJ} \cdot \text{s} = 3600 \text{ kJ}$

5

BELSŐÉGÉSŰ ERŐGÉPEK HATÁSFOKA

- 1 kg folyékony szénhidrogén (benzin, gázolaj) elégetése **12 kWh munkát ad**.
- Belsőégésű motorokban **25-45 %-os hatásfokkal** alakítható mechanikai munkává



A Tesla Model S akkumulátorcsomag a fedél eltávolítása után, 18650 cella, 85 kWh energiátartalommal – Forrás: <https://gizmo.com/peek-inside-the-battery-of-a-tesla-model-s>

6

BELSŐÉGÉSŰ ERŐGÉPEK HATÁSFOKA

- 1 kg folyékony szénhidrogén (benzin, gázolaj) elégetése **12 kWh munkát ad.**
- 1 kg hajtóanyaghoz 15 kg levegő kell (keverési arány 1:14,7)

Az üzemanyagkeverék 1/15 részét kell csak magukkal vinniük, a többit a környezetből veszik.

- A gázmotorok fajlagos hajtóanyag-fogyasztása (200-600 g/kWh)
- Kis üzemanyag tartállyal hosszú ideig nagy teljesítményt kifejezteni.
- A gép kis fajlagos tömege (0,5-10 kg/kW)

Nagy energia sűrűség

7

GÁZMOTOR, BELSŐÉGÉSŰ MOTOR, ROBBANÓMOTOR

- A hajtóanyag lehet bármilyen gáznemű vagy elgázosítható és **salak nélkül elégethető** anyag.
- A motor belsejében a lángfront sebessége **15-25 m/s.**



8

BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK CSOPORTOSÍTÁSA

- Felhasznált hatóanyag (tüzelőanyag) szerint
 - Benzinmotor (Otto-motor)
 - Dízelmotor (gázolajmotor)
 - Gázmotor (a hajtóanyag normál állapotában gáznemű)
 - Egyéb hajtóanyagú motor (növényi olajok, alkohol, petróleum)
 - Mindenevő motor (gázolajon kívül más folyékony hajtóanyaggal is üzemeltethető)
 - Átváltható motor (2 féle üzemanyaggal is működik, működés megszakítása nélkül átváltható egyikről a másikra)
 - Kettős (vegyes) hajtóanyagú motor (egyeidejűleg gáz és folyékony hajtóanyag)
- Forgásirány szerint
 - Jobb forgású motor
 - Bal forgású motor
 - Változtatható forgásirányú (reverzálható) motor

9

A BELSŐÉGÉSŰ MOTOR MŰKÖDÉSI ELVE: ALAPFOGALMAK

Az **égéshez három feltétel** együttes megléte szükséges:

- Éghető anyag: *hajtóanyag* -> *töltet*
- Oxigén: *égéslevegő tartalmazza*
- Gyulladás hőmérséklet (*motor szerkezeti eleme*)

Munkafolyamat/(munkaciklus) : periodikusan ismétlődő energiaátalakulási folyamat, részei:

1. A friss közeg (töltet) beáramlása a munkatérbe (szívás vagy töltés) **Kiegészítő folyamat**
2. Sűrítés (kompresszió)
3. Égés, terjeszkedés **Fő munkafolyamat**
4. A közeg kiáramlása a munkatérből (kipufogás, kitolás) **Kiegészítő folyamat**

Ütem: a munkafolyamatnak egy löketre eső része

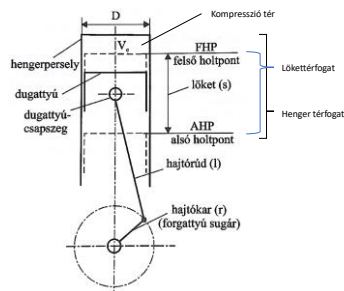
10

A BELSŐÉGÉSŰ MOTOR MŰKÖDÉSI ELVE: EGYÉB KÍSÉRŐ JELENSÉGEK

- A hajtóanyag elporlasztása
- A hajtóanyag keverése, a keverék összetételének szabályozása
- Az égés megindítása (a keverék meggyújtása)
- A töltetcsere során a henger átöblítése
- Az égéstermék esetleges utókezelése (katalizátor)
- Kenés, hűtés.

11

A BELSŐÉGÉSŰ MOTOR ELVI FELÉPÍTÉSE



$$s = 2 \cdot r$$

$$V_k = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot s$$

$$V_H = z \cdot V_k$$

$$V_1 = V_k + V_c$$

A hengertérfogat és a kompresszió térfogat hányadosa a kompresszió viszony

$$\epsilon = \frac{V_1 - V_k + V_1}{V_k - V_1}$$

Értéke: Otto motornál 6-10
Dízel motornál 14-22

12

A NÉGYÜTEMŰ MOTOR MŰKÖDÉSE

benzinmotor

- Levegő és tüzelőanyag keverékét szívja be
- 10-40 MPa-ig kisebb a környezeti nyomásnál
- Nyomás: 1-1,6 MPa
- Hőmérséklet: 350-500 °C
- A sűrítési arányt a benzin kompresszióhatára korlátozza
- A tüzelőanyag 2-3 ms alatt ég
- Égéstermék: 2500 °C
- A tágulási arányt a motor mechanikai célérértéke és a termitikus igénybevétele korlátozza

dízelmotor

- 1,5-2 MPa-tal kisebb a légnyomásonál
- Nyomás: 3-5 MPa
- Hőmérséklet: 550-700 °C
- A sűrítési arányt csak a motor mechanikai célérértéke és a termitikus igénybevétele korlátozza
- A csúcshőmérséklet: 1900-2100 °C
- A csúcnyomás: 6-16 MPa fele

A többhengeres motorok hengereiben egymáshoz képest eltolva játszódik le a négy ütem.

13

Megnevezés	Jelölés	Mértékegység
Hengerátmérő (a henger névleges belső átmérője)	d	m, cm, mm
A löket hossza (löket)	s	m, cm, mm
Dagolyátmérő	r	m, cm, mm
Egy henger löketfogatja	V_h	m ³ , cm ³ , mm ³
Hengertérfogat	V	db
Összlöket-térfogat	V_{Σ}	m ³ , cm ³ , mm ³
Sűrítési arány	ϵ	-
A sűrítési térf. egysége (kompresszió-térfogat)	V_s	cm ³
Löket-furat arány	κ	-
Hengerkeresztmetszet, vagy dagolyaátmérő	A_d	m ² , cm ² , mm ²
Csemeszám	i	-

$$V_h = A_d \cdot s = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot s}{4} = \frac{d^3 \cdot \pi}{4} \cdot \kappa$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot \kappa}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot s}}$$

$$\kappa = \frac{\epsilon}{d^3}$$

$$V_h = V_s \cdot \epsilon$$

$$\epsilon = \frac{V_h}{V_s} = 1 + \frac{V_h}{V_s}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot \kappa}}$$

$$A_d = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{V_h}{s}$$

$$\epsilon = \frac{\epsilon}{2}$$

$$s = 2 \cdot r$$

14

Belső égésű ideális Otto motor körfolyamata

- Adiabatikus sűrítés (1-2):** a motor sűrítési ütemét közelítő folyamat.
- Hőbevitel állandó térfogaton (2-3):** a munkauitem elején lezajró üzemanyag, a tüzelőanyag elégetését és az égéstermék gyors fölmelegedését közelítő folyamat.
- Adiabatikus expanzió (tágulás) (3-4):** a tényleges munkauitemet közelíti.
- Hőelvonás állandó térfogaton (4-1):** a kipufogást és a szívóütemet helyettesíti.

15

A Diesel-körfolyamat munka- és hődiagramja

- Adiabatikus sűrítés (1-2):** a motor sűrítési ütemét közelíti.
- Hőbevitel állandó nyomáson (2-3):** a tüzelőanyag elégetését és az égéstermék fölmelegedését közelíti.
- Adiabatikus tágulás (3-4):** a munkauitemet közelíti.
- Hőelvonás állandó térfogaton (4-1):** a kipufogást és a szívóütemet helyettesíti.

16

Termikus hatásfok

Az Otto-körfolyamat termikus hatásfoka

A Diesel-körfolyamat termikus hatásfoka

Kompresszióviszony ϵ
Fajhőviszony κ

17

A NÉGYÜTEMŰ MOTOR INDIKÁTORDIAGRAMJA

Indikátornak nevezzük azt a berendezést, amivel rögzíten tudjuk egy motor hengereiben uralkodó pillanatnyi p nyomást a Φ hengertérfogat vagy a V hengertérfogat függvényében

- Szívás (1-2):
- Sűrítés (2-3):
- Hőbevitel, égés (3-4):
- Munkavégzés (4-5):
- Kipufogás (5-1):


Indikált munka egy munkauitem alatt végzett munka

Az indikált középpnyomás annak a téglalapnak a magassága, amelynek az alapja a lökettérfogat és területe egyenlő az indikált munkával

$$W_{ind} = P_{ind} V_h \rightarrow P_{ind} = \frac{W_{ind}}{V_h}$$

18

A HŰTÉS



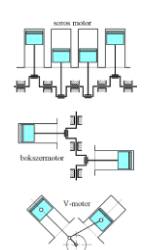

A "felesleges" hő elvezetése történhet:

- Közvetlenül (léghűtés):
 - Menetszel hűtéssel
 - Ventillátoros hűtéssel
- Közvetve (folyadékűtéssel):
 - Termoszifonos hűtéssel
 - Szivattyús hűtéssel

Szivattyús hűtés esetén a motor hőmérsékletet termostát szabályozza.

25

A HENGERSZÁM ÉS A HENGERELRENDEZÉS

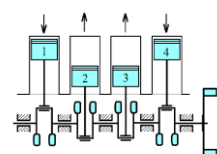




7.18. ábra. Henger elrendezések

a) álló soros motor b) fekvő soros motor
 c) V-motor d) boxer motor
 e) elölhúgyújtós motor f) elöl motor
 g) párhuzamos motor h) X-motor
 i) csillag motor

26

A NÉGYHENGERES SOROS MOTOR GYÚJTÁSI SORRENDSZERE


Főtengelyfajlag	1	2	3	4
0°-180°	↑ szíjke	↑ szíjke	↓ kipufogó	↓ kipufogó
180°-360°	↓ szíjke	↓ szíjke	↑ kipufogó	↑ kipufogó
360°-540°	↑ szíjke	↑ szíjke	↓ kipufogó	↓ kipufogó
540°-720°	↓ szíjke	↓ szíjke	↑ kipufogó	↑ kipufogó

- A tömegterek kiegyenlítése
- Fél főtengely-fordulatonként (180°) van egy-egy munkaütem.

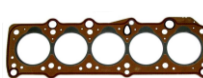
27

A HENGERFEJ

- A nyitott hengert felülől a rácsavazott hengervej zárja le.
- Ebben alakítják ki a szívó- és kipufogócsatornákat és az égésteret.
- Anyaga leggyakrabban öntött alumínium-ötvözet.
- A hengervejt hűteni kell.



Négyhengeres soros motor hengerveje és az égésteret Hengervej a szeleptfedél felől nézve



Soros motor hengervejtömitése

28

A FORGATYÚS HAJTÓMŰ

- A forgattyús hajtómű részei a dugattyú, a dugattyúcsapszeg, a hajtórúd és a főtengely.
- A forgattyús hajtómű a dugattyú egyenes vonalú mozgását átalakítja forgó mozgássá.



dugattyútöltelék, kompressziós gyűrű, olajlejtő gyűrű, olajszívó gyűrű, dugattyúcsapszeg, hajtórúd, csapszegcsukló, hajtórúdföldelő csavarok.

29

DUGATTYÚ

A hengerben mozog a dugattyú feladata:

- Az égéskor keletkező térfogatváltozási munkájának átvittele a csapszegre és haj-törúdon át a főtengelyre.
- Az égésterben keletkező belső energia (hő) egy részének elvezetése a hengervejre.
- A dugattyúgyűrű megtartása és vezetése.
- A hajtórúd felső fejeének egyenesbe vezetése.
- A kétütemű motorokban a be-, ki- és az átömlés vezérlése (a megfelelő rések nyitása).



Dizelmotor dugattyúja

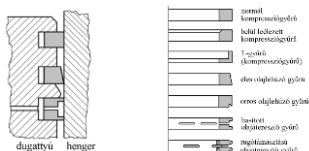


Dugattyú hőmérséklet-eloszlása (Négyütemű benzínmotor)

30

A DUGATTYÚGYŰRŰK

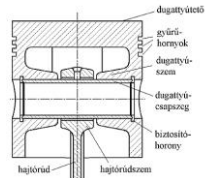
- A dugattyúhornyokban elhelyezett gyűrűk rugalmasan nekifeszülnek a hengerfalnak.
- Feladatuk:**
- A hengertér tömítése
 - A hő (belső energia) egy részének elvezetése a forró dugattyúból a hidegebb hengerfalra,
 - A hengerfalra tapadt olaj visszajuttatása az olajteknőbe
 - A gyűrűk anyaga szürkeöntvény, gömbgrafitos öntöttvas acél



31

A DUGATTYÚCSAPSZEG

- Csuklóként köti össze** az egyenes vonalú mozgást végző dugattyút és a lengő mozgást végző hajtórúdát
- A dugattyúra ható erőt viszi át a hajtórúdra.
- Anyaga szívós, betétben edzhető ötvöztött acél.
- Felülete üvegkemény, ezt cementálással vagy nitridálással érik el.



32

A HAJTÓRÚD

- Összeköti az egyenes vonalú mozgást végző dugattyút a forgó mozgást végző főténgellyel.
- A hajtórúd anyaga nemesíthető ötvöztött acél.
- Bronzpersely
- Hajtórúdszár nyomó, húzó és hajlító igénybevétel.
- keresztmetszete leggyakrabban I alakú,
- Kis tömeget és a nagy merevséget.



33

A FŐTENGELY

- Egyenlőtlen tömegeloszlású** rendszert alkot (a rendszer súlypontja nem esik a forgástengelyre).
- A főténgely forgásakor változó irányú és nagyságú tömegérők ébrednek.
- Ezek kiegyensúlyozására a főténgelyen **ellensúlyok** (sonkák) vannak.
- A motor segédberendezéseinek (olajszivattyú, hűtőventillátor, vízszivattyú stb.) meghajtása
- A vezérműtengely is a főténgelyről kapja a hajtást.
- A főténgely kihajtóvégén van a lendítőkerék, innen jut a nyomaték a meghajtott gépre.



34

A motor kenése



A motorban az egymáshoz kapcsolódó szerkezeti elemek súrlódnak egymással.

- A súrlódási ellenállás veszteség
- Melegedés.
- Kopás

35

DÍZELMOTOROK

A dízelmotorok előnyei:

- Jobb hatásfok
- Alacsonyabb fajlagos hajtóanyag-fogyasztás,
- A terhelés változásakor a fogyasztás kevésbé változik
- A felhasznált hajtóanyag valamivel olcsóbb
- A motor feltöltésére kedvezőbbek a feltételek
- Kevésbé tűzveszélyes.

A dízelmotor hátrányai:

- Nagyobb fajlagos motortömeg
- Bonyolultabb,
- Előállításuk és javításuk drágább,
- Kezelésük, karbantartásuk nagyobb gondosságot igényel,
- A teljesítmény a fordulatszám emelésével való növelésének korlátozottabbak a lehetőségei
- Környezet védelem

36

FELTÖLTÖTT MOTOROK

• A belsőégésű motorok teljesítménynövelési módjai lényegében három paraméter megváltoztatása köré csoportosíthatók:

- A lökettérfogat növelése
- A fordulatszám növelése
- A középnyomás növelése:

A gáztöltet ne csak a **dugattyú szívóhatása** révén jusson be a motor hengerébe, hanem valamilyen töltőberendezés (sűrítő) segítségével.

- Munkaciklus magasabb nyomásszintre kerül
- Nagyobb tömegű levegő jut a hengerbe, több hajtó anyag elégetése.
- Körfolyamat területe nő, nő a középnyomás is.
- 25-50 %-kal is növelhető a motor teljesítmény

37

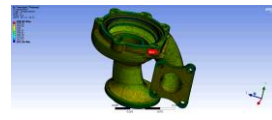
FELTÖLTÖTT MOTOROK

A feltöltött motorok előnyei:

- A motor teljesítménye növelhető
- Csökken a fajlagos fogyasztás, javul a gazdasági hatásfok,
- Kiseb a fajlagos motortömeg
- Légköri nyomásváltozásra (magasság változás) kevésbé érzékeny
- Javulhat a kipufogógáz összetétele

A feltöltött motorok hátrányai:

- Növekszik a motor hőterhelése
- Több az alkatrészek száma, ezért nagyobb a meghibásodás lehetősége
- Egyes esetekben a nyomaték rugalmasság romolhat



38

FELTÖLTÖTT MOTOROK

A leggyakrabban alkalmazott feltöltési módok:

- **Mechanikus feltöltésű a motor:** amelynek a sűrítője (feltöltő berendezése) a hajtást a motor forgattyústengelyéről mechanikai kapcsolat révén kapja.



39

FELTÖLTÖTT MOTOROK

- **Turbófeltöltésű a motor:** a sűrítőt a működéséhez szükséges energiát a motor kipufogógázával hajtott gázturbinától kapja.



40

FELTÖLTÖTT MOTOROK

- **Idegen feltöltésű a motor,** ha sűrítést önálló feltöltőberendezés végez, amelyet az adott belsőégésű motortól függetlenül erőgéppel működtet.



KOMPRESSZOR

41

Golf 1 16VG60 MK1 16VG60 G-Brüder G60



Spirál kompresszor (G-töltő)



42

FELTÖLTÖTT MOTOROK

- **Dinamikus vagy akusztikus feltöltés** a bejutó töltet sűrűségét a szívóvezetékben fellépő nyomáshullámok növelik meg.
- **Vegyes feltöltésű a motor**, amikor az előző feltöltési módok kombinációjával működik.

43

FORGÓDUGATTYÚS MOTOR (WANKEL-MOTOR)

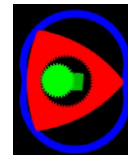
- Első modellt 1924-ben készítették el.
- Közel 30 évig tömítési és gyártási technológiai nehézségek elhárításán dolgozott.

A wankel-motor előnyei:

- Nem kell mozgásátalakítást megvalósítani (forgó-alternáló),
- Nincsenek kiegyenlítettlen tömegerek,
- Nem kell külön vezérmű,
- Fajlagos tömege kisebb a dugattyús motorokénál.

A wankel-motor hátrányai:

- Tömítési, hűtési, kenési problémák,
- Nagyobb fajlagos fogyasztás,
- Rövidebb élettartam,
- Környezetszennyezőbb.



44