

### III. A MOTOR

Gépjárművek hajtására általában kémiai vagy villamos energiát használnak. A kémiai energiát az ún. tüzelőanyagok hordozzák, amelyek általában folyékony halmazállapotúak (benzin, gázolaj) ritkán gázok (pl. propán-bután), de előfordulhat szilárd anyag is (pl. faszéngenerátoros üzem esetén). A tüzelőanyag elégetésével nyert hőenergiát valamilyen munkaközeggel közöljük. Attól függően, hogy a munkaközeg maga az égéstermék (gáz) vagy valamilyen idegen anyag, pl. víz vagy levegő, beszélünk *belső égésű* és *külső égésű* erőgépekről. Mindkét esetben gáznemű munkaközegget kapunk, amelynek segítségével mechanikai energiát állítunk elő. Attól függően, hogy a munkaközegnek a nyomását vagy a mozgási energiáját hasznosítja az erőgép, vannak aerosztatikus (térfogat-kiszorításos) és aerodinamikus erőgépek.

A tüzelőanyaggal működő erőgépek négy fő típusa tehát:

	Aerosztatikus	Aerodinamikus
Belső égésű	gázmotor	gázturbina
Külső égésű	gőzmotor (hőlégmotor)	gőzturbina

A villamos hajtást szintén két csoportba osztjuk:

- külső energiátárolású (pl. trolibusz),
- belső energiátárolású.

Az utóbbinál a tárolt energia lehet közvetlenül villamos energia (pl. akkumulátorban) vagy kémiai energia, amiből közvetlenül villamos energiát kapunk (pl. tüzelőanyag-cellával). Nem tartoznak ebbe a kategóriába azok a járművek, amelyekben villamos motor hajtja ugyan a kerekeket, de a villamos energiát valamilyen belső vagy külső égésű erőgéppel, esetleg felporgetett lendkerékkel hajtott dinamóból vagy generátorból nyerjük. Itt ugyanis az erőgép — a motor, vagy a lendkerék — már szolgáltatja a jármű hajtásához szükséges mechanikai energiát, a villamos rész csak az erőátvitel szerepét tölti be, ugyanúgy, mint mondjuk egy szivattyúból és hidromotorokból álló hidrosztatikus hajtás. Ebben a fejezetben erőátvitellel nem foglalkozunk.

Néhány szó az egyes erőgéptípusokról:

#### *Belső égésű aerosztatikus erőgépek*

A legelterjedtebb gépjárműmotor-fajta. Általában Otto- vagy Diesel-elven működnek. Működési alapelvük, kialakításuk legfőbb jellemzői közismertek. A részletekbe menő ismertetésre a könyv későbbi fejezeteiben kerül sor.

### Belső égésű aerodinamikus erőgépek

A gázturbinákat korábban legfeljebb hajók és vasúti járművek hajtására használták, az utóbbi években közúti járművekbe is beépítik. A gázturbina alapelve: az elégetett tüzelőanyaggal felmelegített, s így kitágulni kényszerülő gáz (levegő + égéstermék) az égéstérből kipréselődve turbinalapátnak ütközik, s az átveszi az áramló gáz kinetikai energiáját.

A gáz „előállítására” két mód van. Eleinte inkább az ún. szabaddugattyús megoldással próbálkoztak (1. ábra), azonban egyszerűsége és jó fajlagos súlya ellenére sem tudott elterjedni (nehezen indítható, túl gyors üresjáratú, részterheléskor rossz hatásfokú stb.).

A mai modern gázturbinához centrifugális légkompresszort és külön égésteret használnak. A kompresszor beindítására villamos motor szolgál, de később egy segéd-turbina hajtja, ami természetesen az előállított gáz kinetikai energiájának egy részét felhasználja (2. ábra), s csak a maradék jut a munkaturbinára. A segéd-turbina tengelyéről egyébként még más segédberendezéseket is hajtani kell, azért van kivezetése. (Miért nem célszerű egyetlen turbinát úgy méretezni, hogy az elegendő teljesítményt adjon a jármű hajtásához is? — egytengelyes megoldás!)

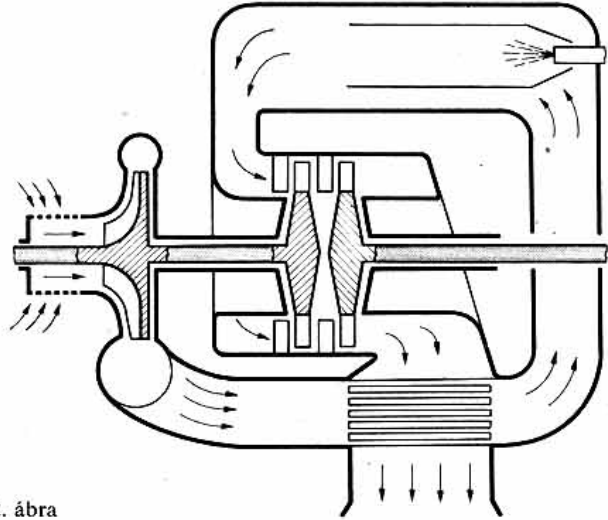
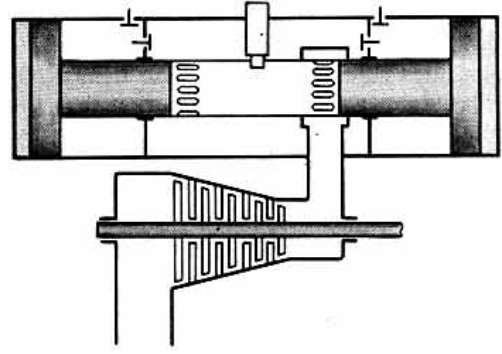
A gázturbina fordulatszáma kb. tízszer akkora, mint egy korszerű dugattyús motoré, ezért a hajtóműben lényegesen nagyobb áttételre van szükség. Gyakorlatilag a hajtómű egy részét már magába a gázturbinába beépítik (egy állandó áttételű bolygóműves reduktor), hogy a továbbiakban a hagyományos hajtómű-elemeket lehessen használni. Természetesen a gázturbina kedvezőbb karakterisztikája miatt lényegesen kevesebb fokozatú sebességváltóra van szükség, leggyakrabban elegendő két fokozat.

A gázturbinák termikus hatásfoka nem kielégítő. Javítására két lehetőség van: hőcserélő beépítése vagy nagyobb nyomásviszony alkalmazása. Az előbbi vagy súlyos radiátorokat, vagy komplikált forgótárcsás szerkezetet (3. ábra) igényel, az utóbbi viszont két vagy több, esetleg sok fokozatú kompresszort és turbinát kíván. A 4. ábrán egy kétfokozatú szerkezet látható.

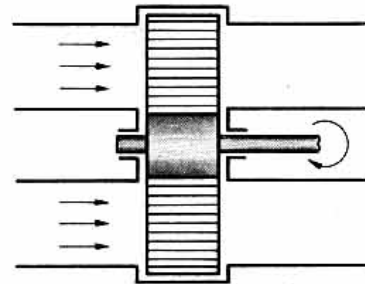
#### A gázturbina előnyei:

- kevés alkatrész, kisebb súly (30—40%), kisebb méretek;
- nincs hűtés, fagyveszély stb.;
- nincs állandóan működő gyújtás;
- kevés a súrlódó, pontos megmunkálást és kenést követelő alkatrész, ezért javítása egyszerűbb;
- olajfogyasztása csekély, mintegy 0,05 g/LEh;
- olcsó tüzelőanyaggal működik, kerozin (tisztított petróleum) is használható;

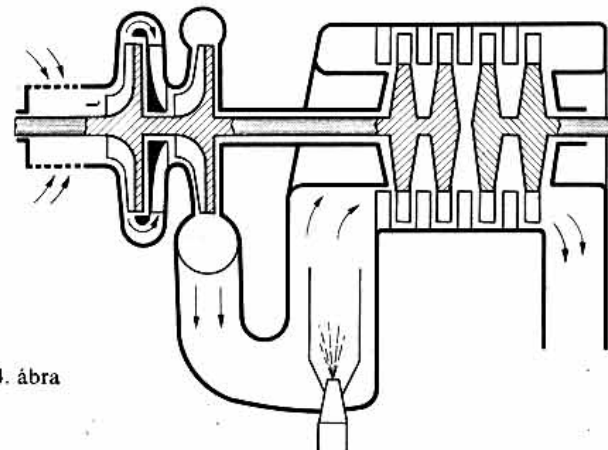
1. ábra



2. ábra



3. ábra



4. ábra

- a gázturbina alkatrészei üzem közben csak forgó mozgást végeznek;
- induláskor nincs szükség tengelykapcsolóra;
- a sebességváltó egyszerűbb, legtöbbször két fokozata van előre és egy hátra;
- még alacsony hőmérsékleten is könnyen indítható;
- gyorsulása kedvezőbb, fokozat nélküli, legnagyobb nyomatékát indításkor fejt ki;
- kezelése egyszerűbb, az indítása, kapcsolása stb. lényegesen könnyebb, mint a dugattyús motoroké,
- karbantartása egyszerűbb;
- a kipufogógázok az Otto-motornál lényegesen kevesebb levegőt szennyező anyagot tartalmaznak, csak tizedét az azonos teljesítményű Otto-motorénak.

#### Hátrányai:

- a hatásfok nem kielégítő.
- az égéstér és a turbinák szerkezetei különleges nagy szilárdságú és hőálló anyagot igényelnek, a nagy szilárdságú anyagok (titán, volfrám, nikkel, króm stb.) drágák, megmunkálásuk nagy hő- és mechanikai szilárdságuk miatt nehéz, illetve drága öntési eljárást igénylő, a gázturbina előállítási ára tehát nagyon nagy;
- nagyok a fordulatszámok: 30 000—70 000 kompresszorfordulat percenként, emiatt különleges csapágyakat kell alkalmazni;
- a munkaturbina nagy fordulatszáma miatt (15 000—30 000 ford./perc) nagy fogaskerék-áttelet kell alkalmazni;
- a kisebb sebességeknél nincs hatásos motorfék;
- megtolással nem indítható az indítómotor hibája esetén;
- üzeme zajosabb, mint a dugattyús motoroké, bár ezt a hibát az utóbbi időben lényegesen csökkentették;
- nagy nyomással távoznak az égéstermékek (fölfelé irányítják a kipufogást);
- élettartama rövidebb, mint a dugattyús motoroké.

#### Külső égésű aerosztatikus erőgépek

Az automobilizmus őskorában sokáig nem dőlt el, hogy a benzinmotor vagy a gőzmotor lesz-e a győztes. A század elején úgy tűnt, a benzinmotor győzött. Néhány éve azonban megint felbukkantak kísérleti gőzmotorok, most már a mai technológiával a háttérben.

A gőzmotor a dugattyús gépen kívül sok kisegítő szerkezetet igényel, többet, mint a belső égésű motor:

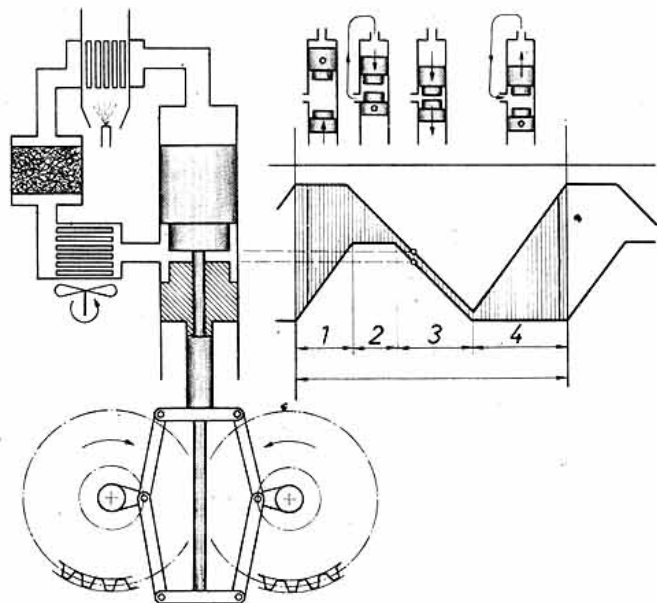
csőkígyós kazán, égő és fűvő, gyújtóberendezés, gőznyomás-, hőmérséklet- és mennyiség szabályozó, elzáró szelepek, indítómotor, tápszivattyú, kondenzátor, ventilátor, olajválasztó stb.

A dugattyús gép kialakítása és elrendezése hasonlít a belső égésű motorokéhoz, természetesen komplikált égéstér, gyújtógyertya stb. nélkül. A hengerek esetleg nem egyforma átmérőjűek: a gőzt először a kisebb (nagy nyomású) hengerekbe vezetik, azután a nagyobb hengerekbe. A kazán legtöbbször 50—100 méteres csőből áll spirálba görbítve. A benne levő víz fél perc alatt gőzzé válik. A gőz nyomása eléri a 40—50 kp/cm<sup>2</sup>-t, hőmérséklete a 300—400 °C-ot. Tüzelésre lényegében bármilyen folyékony tüzelőanyagot használhatunk. Az égés folytonos, egyenletesen erősödő vagy gyengülő, a gőzfogyasztástól függően. A kondenzátor autóhűtőhöz hasonlít, csak annál 2—3-szor nagyobb.

A gőzmotor fajlagos súlya nagyon nagy (4—6 kp/LE). A kenésre — a magas hőmérséklet miatt — nagyon kényes. Fajlagos fogyasztása nagy. Termikus hatásfoka 15—30% között van. Nyomatéki karakterisztikája rendkívül előnyös. Mindkét forgásirányban működik. A kipufogó gázok összetétele kedvező.

Az aerosztatikus külső égésű erőgépek kategóriájába tartozik a hőlégmotor is, az ún. Stirling-motor. Szintén régen ismert elv felújítása. Az 5. ábra mutatja a Stirling-motor elvi felépítését és működését. Négy munkafázisa van (a dugattyúk útdiagramja idealizált!):

1. sűrítés a hideg térben, a két dugattyú között;
2. átömlés a meleg térbe;
3. expanzió;
4. visszaömlés a hideg térbe.



5. ábra

A visszaömlés során a következő folyamat játszódik le: az expandált, de még forró, sőt a kazán által az utolsó pillanatig melegített levegő a regenerátort (nagy hőkapacitású anyag, pl. korund vagy lítium-fluorid) fölmelegíti, a meleg nagy részét leadja, majd a maradék hőt a hűtő elvonja, s a levegő hidegen lép be a két dugattyú közé. Az összesűrített levegő átömlésekor először kicsit lehül a hűtőn átáramolva, de a regenerátorban fölmelegszik a korábban otthagytott hő miatt. A kazánon áthaladva további hőt vesz fel, s így munkavégzésre alkalmassá válik.

Munkaközegként levegő helyett héliumot vagy hidrogént is használnak. A motor teljesítménysúlya 6 kp/LE körül van, fajlagos tüzelőanyag-fogyasztása 210 g/LEh (30%-os összhatásfok).

#### *Külső égésű aerodinamikusan erőgépek*

A gőzmotor és a gőzturbina közötti különbség lényegében csak abban van, hogy a fejlesztett gőzt nem dugattyús gépben, hanem turbinában expandáltatjuk. Közúti járművekbe gőzturbinát eddig még nem nagyon építettek be.

#### *Villamos erőgépek*

Külső áramforrás esetén (trolibusz) a járművön csak a villamos motor(-ok) és a szabályozó-(vezérlő-)berendezések vannak. Általában soros vagy vegyes gerjesztésű egyenáramú motorokat használnak. A vezérlés a következő műveletekre vonatkozik: indítás, sebességszabályozás, villamos fékezés és hátramenet.

Az indításhoz és a sebességszabályozáshoz ellenállásokat használnak, de várhatólag a korszerű szabályozási módok (pl. tirisztor) előbb-utóbb ki fogják szorítani azokat. Nagyobb sebességek tartományában gazdaságosabb az ellenállás-szabályozás helyett a mágneses mező gyengítése (pl. a gerjesztőtekercs egy részének a lekapcsolása, vagy a gerjesztőtekercsek átkötése, vagy ellenállások bekapcsolása a tekercsekkel párhuzamosan, vagy ellengerjesztő tekercs bekapcsolása, vagy — vegyes gerjesztés esetén — a párhuzamosan kapcsolt tekercs áramának csökkentése), illetve — két motor alkalmazása esetén — a motorok kapcsolásának a megváltoztatása (sorosból párhuzamosra).

Fékezéskor a villamos gép dinamiként működik. A fejlesztett áramot általában ellenállásokon emésztik fel, de vegyes gerjesztésű motorokban lehetőség van a rekuperálásra (a hálózatba való visszatáplálásra) is. Ez utóbbi nem teszi fölöslegessé az ellenállásos fékezést, ezért ritkán alkalmazzák. Az ellenállásos fékezést legtöbbször a sebességpedál fölengedése szabályozza. Az ellenállásos fékezés pedálja egyúttal a légféket is működteti (párhuzamos fékrendszer).

Régebben a pedál közvetlenül a kapcsolószekrényt működtette, s így a gépkocsivezetőtől függött, hogy nem terheli-e túl a motort, vagy kihasználja-e optimálisan a motor teljesítményét; a korszerű trolibuszon a motort automata vezérli, a pedál csak a vezető szándékának a közlésére szolgál.

A trolibusz nem alkalmas arra, hogy kiszorítsa a belső égésű motorokat, elsősorban a kötött pálya miatt, de a nagyon nagy üzemeltetési költségek (felsővezeték!) miatt sem.

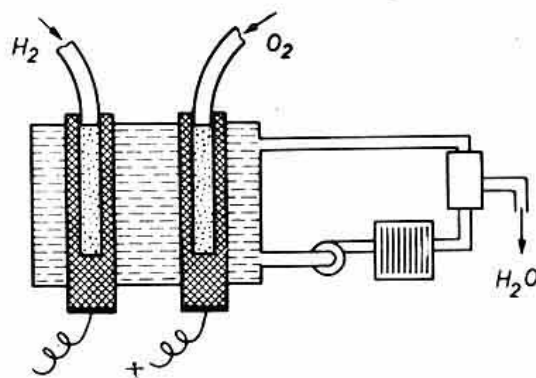
A kötetlen pályát a saját áramforrás jelenti. Sajnos, ma még nem áll rendelkezésre olyan olcsó áramforrás, aminek a súlya is elviselhető lenne. A kísérletek a következő áramforrásokkal folynak:

— Akkumulátor. Kísérleteznek a hagyományos ólomakkumulátorral is, de más fémekkel is próbálkoznak (pl. ezüst-cink).

— Galvántelep. A legkülönbözőbb anyagokat próbálták ki elektródaként, ill. elektroltként (kálium, kén, cink, levegő stb.), a legkülönbözőbb kombinációkban, de üzemszerű felhasználásra még egyik sem került.

— Tüzelőanyag-cella. Neve arra mutat, hogy oxidáció játszódik le benne, de olyan, amelyikben a felszabaduló energiának csak egy részéből lesz hő, nagyobbik részéből elektromos energia lesz (az elektromos vízbontás ellentéte). Legjobban a tiszta hidrogén tüzelőanyagú cellákat dolgozták ki (6. ábra). A kálium-hidroxid vizes oldatába két porózus szénelektroda merül, az egyikbe hidrogént, a másikba oxigént (levegőt) vezetünk be. Az elektrolitba jutó gázok bonyolult folyamat során vízzé egyesülnek, közben az elektródákon feszültség alakul ki. A valóságban igen sokféle elektródát és elektrolitot próbáltak ki, és jó elektrokémiai katalizátor után is kutatnak.

A hidrogén mellett szén, metilalkohol, hidrazin stb. „hideg égetésével” is próbálkoznak, sőt szénhidrogének (benzin) alkalmazásával is. Az utóbbit közvetlenül anódosan még nem sikerült oxidálni, csak



6. ábra

# 1. Belső égésű dugattyús motorok elvi felépítése

Az elvi működést ismertnek tételezzük fel, a jellegesebb karakterisztikákat mégis röviden ismertetjük.

A *belső karakterisztikák* közül a legfontosabb, az indikátordiagram a hengerben lefolyó nyomásváltozást mutatja a főtengely-elfordulás (7. ábra) vagy a dugattyúút, illetve a (relatív) térfogatváltozás függvényében (8. ábra).

A 9. ábrán a négy fő motortípus indikátordiagramját láthatjuk, az összehasonlítás végett azonos méretű és léptékű diagramon.

A legfontosabb *külső karakterisztikák* a következők:

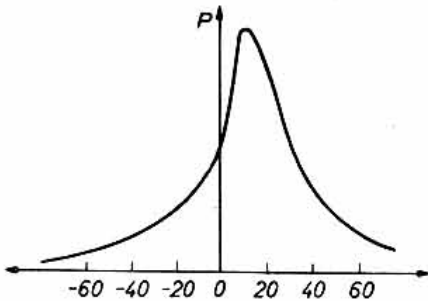
$P=f(n)$  — teljesítmény a fordulatszám függvényében

$M=f(n)$  — nyomaték a fordulatszám függvényében

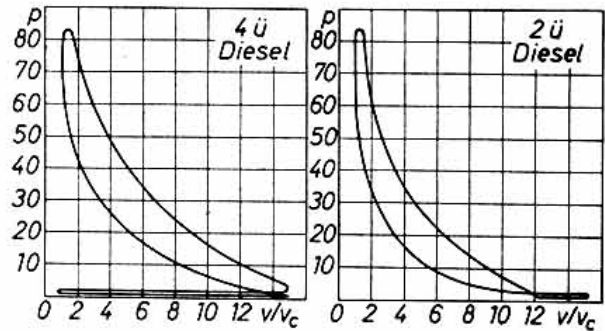
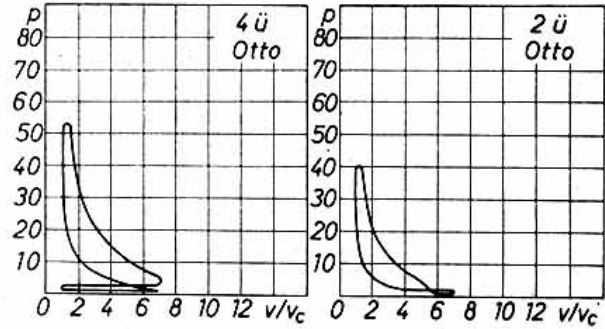
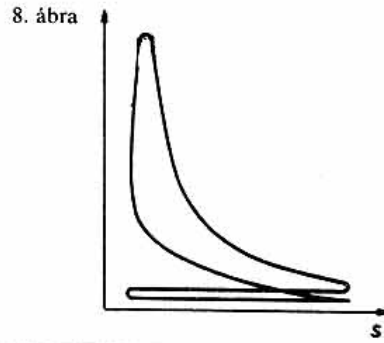
$b=f(n)$  — fajlagos fogyasztás a fordulatszám függvényében.

Ezek a görbék a 10. ábrán láthatók.

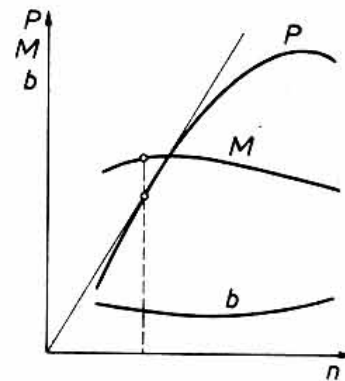
Mindhárom karakterisztika a teljes töltéshez tartozik, azaz a gázpedál teljes benyomásához. Részterheléskor a görbék természetesen módosulnak, a 11. ábra például a nyomatéki karakterisztikát mutatja különböző gázpedálállásoknál.



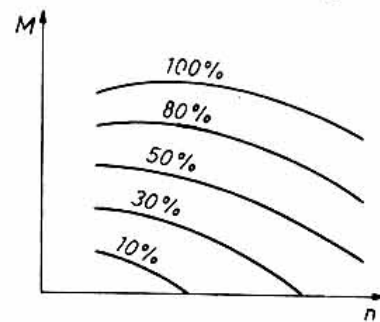
7. ábra



9. ábra



10. ábra



11. ábra