

Ideálisan jó gépnek azt tekinthetjük, amely a beléje vezetett összes energiát felemészti és visszaadja tetszésünk szerint hasznosítható munka alakjában. A valóságban még a legtökéletesebb gép is távol áll ezen ideálisjóságtól. Először is nem emészti fel a bevezetett összes energiát, másodsor meg a felemészített energia fejében sem ad vele egyenlő értékű hasznos munkát.

A hasznos munkának a gépbe vezetett energiához való viszonyát, vagyis azt a számot, amely megmutatja, hogy a gép adta munka hányadrésze a gépbe juttatott energiának, a *gép hatásfoká*-nak nevezzük. A fenti állítás szerint minden gép hatásfoka kisebb az egységénél. De minél jobban megközelíti az egységet, vagyis minél nagyobb valódi tört, annál tökéletesebb a gép. Természetes tehát, hogy a technika lehető nagy hatásfokú gépek előállítására törekszik. E törekvésben elméleti megfontolások az irányadók. Érdeemes megismerkedni azokkal a gondolatokkal, amelyeknek gyakorlati értékesítése jelentékenyen növeli a hatásfokot.

A különböző gépek különböző módokon jut az energia. így a szélmalom a levegő mozgási energiáját, a vízi kerekek, a turbinák a víz mozgási és helyzeti energiáját, a gőzgépek a hőenergiát használják fel. Vizsgáljuk közelebbről ezeket az energiafelvételeket.

A levegőrészek bizonyos sebességgel ütődnek a szélmalom kerekébe. De a sebességüknek megfelelő összes energiájukat nem adják át a keréknek, mert a keréktől bizonyos sebességgel haladnak tovább. Tehát csak a sebességsökkenésüknek megfelelő energiát adják le. Az alulcsapó vízikerekeknél ugyanígy áll a dolog, csak levegőrészek helyett vízfészket kell gondolni.

A felülcsapó vízikerekeknél a víz helyzeti energiája szerepel. A kereknek csak azon magasságkülönbségnek megfelelő energia adódik át, amely magasságkülönbséget a víznek a kerékre hullása előtti és a kerékről leömlése utáni helyzete jelöl meg. Ez csak egy kis tört része annak az energiának, amellyel a víz a tenger színe feletti magasságánál fogva bír, és még sokkal kisebb tört része annak, amellyel a föld középpontjától való távolságánál fogva rendelkezik.

Ilyenformán áll a dolog a gőzgépeknél is. A dugattyúhengerbe magas hőfokú, sok meleget tartalmazó gőz jut, mely a dugattyú-mozgatás közben veszít a melegéből, lehűl bizonyos fokig, de aztán a bennmaradó meleget átadja a külső levegőnek, vagy a kondenzátornak. A gép tehát csak a melegségkülönbségnek megfelelő energiát emészti fel.

Ismerkedjünk meg közelebbről a gőzgépben végbemenő folyamattal.

Ha valamely test a változásoknak egy bizonyos során megy keresztül, de úgy, hogy utolsó állapot a teljesen megegyezik az elsővel, melyből kiindult, akkor azt mondjuk, hogy *körfolyamat*-nak volt alávetve. Természetes, hogy valamely testtel sokféle módon végeztethetünk körfolyamatot. E körfolyamatok közt van egy legnevezetesebb, az úgynevezett *Carnot-féle körfolyamat*.

Képzeld, hogy van egy bizonyos ideális gáztömeg, melynek abszolút (-273°C -tól számított) hőmérséklete T_1 . Ez a gáztömeg olyan edényben van elzárva, amelynek falai nagyon könnyen átbocsátják a meleget és amelynek egyik fala pl. egy könnyen mozgatható dugattyú, úgy hogy az edény térfogata változhatik. Ezt az edényt érintkezésbe hozhatjuk igen nagy térfogatú, jó melegvezető testtel, pl. higannyal, melyről feltesszük, hogy ha meleget von el tőle edényünk, vagy ha meleget ad át neki, azért a hőmérséklete nem változik. Tehát az edényünkben elzárt gáz melegátadása vagy melegfelvétele *izothermikus*an történhetik.

Hozzuk érintkezésbe edényünket ezzel a T_1 hőmérsékletű, nagy meleg-rezervoárral s egyik falára, a dugattyúra, ható külső nyomás kisebbitésével engedjük a gázt egy darabig kiterjeszkedni. A gáz ezen kiterjeszkedése közben állandóan T_1 hőmérsékleten marad, végez bizonyos L_1 külső munkát és ennek megfelelően Q_1 meleget felvesz a rezervoárból. Ezután edényünket elvesszük a hőrezervoártól, körülvevesszük valami olyan burokkal, amely a meleget nem bocsátja át, s ekkor a gázt még tovább engedjük kiterjeszkedni, Ezen kiterjeszkedése közben ismét munkát végez, mondjuk L_2 -t, és minthogy hőt át nem bocsátó edényben, vagyis, mint mondani szoktuk, *adiabatikus*an terjedt ki, lehűlt bizonyos T_2 hőmérsékre. Ekkor az edényről levesszük a külső burkot s érintkezésbe hozzuk előbbi nagy rezervoárunkkal, melynek időközben a hőmérsékletét T_2 -re szállítottuk, aztán a gázt, bizonyos L_3 külső munka kifejtésével, lassan összébb nyomjuk. Eközben a gáz állandóan T_2 hőmérsékleten marad, azaz változása izothermikus; S hogy ez így lehessen, az L_3 külső munkának megfelelőleg, átad bizonyos Q_2 meleget a rezervoárnak. A térfogatkisebbitést csak addig folytatjuk, hogy ha most elválasztjuk edényünket a rezervoártól és körülvevesszük megint a hőt át nem bocsátó burokkal, és L_4 , külső munka végezésével összenyomjuk az eredeti térfogatára, akkor a hőmérséklete az eredeti T_1 legyen.

Ilyen módon a gáz két izothermikus és két adiabatikus változáson át visszajutott az eredeti állapotába Az ilyen folyamat Carnot-féle körfolyamat.

E folyamat közben a gáz, terjeszkedése folytán $L_1 + L_2$ munkát végzett, mi pedig összenyomásakor $L_3 + L_4$ munkát feleltünk ki. Minthogy a kiterjeszkedés térfogata épp annyi, mint az összenyomásé és minthogy a kiterjeszkedés magasabb hőmérséklet, tehát nagyobb középnyomás mellett történt, mint az összeszorítás, következik, hogy a gáz végezte $L_1 + L_2$ munka nagyobb, mint a mi $L_3 + L_4$ munkánk. Azaz a gáz a Carnot-féle körfolyamat végezése közben munkát adott le. Ezt, az energia megmaradása elve szerint, az elhasznált meleg rovására tehetette. Az elhasznált meleg pedig a felvett és leadott meleg különbsége, vagyis $Q_1 - Q_2$.

Ha a körfolyamat közben leadott munkát viszonyba állítjuk a felvett energiával, vagy, a mi egyre megy, a folyamat alatt felemészített meleget a bevezetett meleggel, megkapjuk a folyamat elméleti hatásfokát:

$$h = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Ha még megfontoljuk, hogy a kiterjeszkedésnél és az ugyanolyan nagyságú összeszorításnál végzett munkák úgy

aránylanak, mint a legyőzött nyomások, a legyőzött nyomások pedig ideális gázok esetén arányosak az abszolút hőmérsékletekkel, azt is mondhatjuk, hogy

$$h = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Ki lehet mutatni, hogy a hatásfok ezen kifejezése független a körfolyamatot végző anyagtól, tehát fennáll akkor is, ha ideális gáz helyett vizet vagy gőzt alkalmazunk.

A víz a gőzgépekben a Carnot-féle körfolyamattal részben megegyező körfolyamatnak van alávetve. A víz ugyanis bejut a kazánba, s miután felmelegedett a kazánban levő gőzök nyomásának megfelelő forráspontra, állandó nyomás alatt gőzzé változik. Minthogy a telített gőz hőmérséklete csak a nyomástól függ, és itt a nyomás állandó, azért mondhatjuk, hogy izothermikusan vesz fel meleget a kazántól. Ezután a dugattyú hengerbe jut, kiterjeszkedik, a dugattyút maga előtt tolja, munkát végez. Eközben igaz, hogy ad meleget a hengernek, de mivel nem sokat, mondhatjuk, hogy megközelítőleg adiabatikusan terjed ki. Azután a dugattyú visszamozgásakor körülbelül állandó hőmérséklet mellett jut a kondenzátorba, ott lecsapódik s szivattyúzás útján ismét a kazánba jut. Körpályáját újra kezdi.

Világos, hogy ezen körfolyamat hatásfoka nem egyezik meg a Carnot-féle körfolyamatéval, tehát csak első megközelítésben használhatjuk a gőzgépek elméleti hatásfokának kifejezésére a

$$h = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

képletet, hol T_1 a kazán, T_2 a kondenzátor abszolút hőmérsékletét jelenti.

Világos ebből, hogy a hatásfok, a kazán hőmérsékletétől függetlenül; akkor lenne 1, ha $T_2 = 0$ lenne, vagyis ha a gőz -273°C -on hagyná el a gépet. Minthogy erről a valóságban szó sem lehet, a gép hatásfoka sohasem lehet 1.

Világos az is, hogy a hatásfok annál nagyobb, minél nagyobb $T_1 - T_2$, azaz minél nagyobb T_1 és minél kisebb T_2 . Lássuk, meddig lehet menni a valóságban ezen különbség növelésével.

A fáradt gőz vagy a levegőbe jut, vagy a kondenzátorba. Ha a levegőbe jut, kell, hogy legalább egy-két tized atmoszférával nagyobb nyomású legyen, mint a külső levegő. Az 1, 2 atmoszférás gőznyomásnak pedig körülbelül 105°C hőmérséklet felel meg. Ilyenkor tehát körülbelül 105° -on hagyja el a gőz a hengert s aztán kint hűl le a levegő hőmérsékletére. Ha kondenzátorba jut, alacsonyabb hőmérsékleten hagyhatja el a hengert, mert a kondenzátor vize, hőmérséklete és a benne uralkodó nyomás bizonyos határok közt tetszőlegesen változtatható.

A kondenzátor rendesen kútvízzel, tehát $8 - 15^\circ$ -os vízzel működik. Igaz, hogy mesterséges úton hidegebb vizet is lehetne előállítani a kondenzálás céljaira, de a hűtésre fordítandó munka több lenne, mint a gépnek ebből eredő nyeresége, tehát erre gondolni sem lehet. Aztán, mivel a kondenzálásra nem használhatni határtalan mennyiségű vizet, a használt kis mennyiségű víz nem marad állandóan a kút mérsékletén, hanem felmelegszik. Ha csak azt vesszük is, hogy 1 kg gőz átlag 600 kg kalória meleget visz is a 10° -os kondenzátorba, hol pl. 20 kg víz van szánva minden kg gáz kondenzálására, akkor is körülbelül 28° -kal emelkedik a víz hőmérséklete. Ugyanis a 600 kg kalória meleget tartalmazó gőznek $10^\circ + 28^\circ = 38^\circ$ -ú vízzé hűlésekor szabaddá válik 562, kereken 560 kg kalória meleg, mely a 20 kg víz hőmérsékét $\frac{560}{20} = 28^\circ$ -kal emeli, tehát 38° -ossá teszi.

A valóságban azonban azt sem lehet elérni, hogy a gőz $38 - 40^\circ$ -on hagyja el a hengert, mert ha azt akarnók, hogy a hengerben addig terjeszkedjen ki a gőz, a míg 40° -ra hűl, igen nagy térfogatú hengerekre lenne szükség. Pl., ha 120° -ú gőz jutna a hengerbe s azt 40° -ra való lehűlésig engednők kiterjedni, körülbelül 20-szor nagyobb térfogata lenne, mint kezdetben; a kezdetben 180° -os gőznek meg 100-szor nagyobb térfogata. Az ilyen óriási hengerek előállításai és fenntartási költségét nem érné meg a velök járó haszon, mert ilyen alacsony mérsékleten már a gőznyomás is kicsi. Úgy, hogy a $60 - 70^\circ$ -ig való lehűléskor rendszerint már megnyílik a kondenzátorba vezető szelep s a gőz átáramolhatik. Így tehát a kondenzátor hőmérséklete alsó határául körülbelül a 30°C -t tekinthetjük s a gőznek a hengerben, munka végzés közben való lehűlése alsó határául körülbelül a 60°C -ot.

Lássuk a felső határt, a T_1 -et. A kazán alatt, a szén elégetésével, legfeljebb 1600° -os meleget lehet fenntartani. A kazánt állandóan csak olyan hőfokon tarthatni, amelyet az anyaga minden veszedelem nélkül, a szolgálat felmondása nélkül, elbír. Ez, tapasztalás szerint 600°C . Azt lehetne tehát gondolni, hogy 600° -os gőzt bátran bocsáthatni a hengerbe. Csak a dolog nem úgy áll. Gondoskodni kell az egymáson mozgó, az egymáshoz súrlódó részek olajozásáról. A mai kenőolajok pedig 400-nál magasabb hőmérsékletet el nem bírnak. Ha még meggondoljuk, hogy a víznek 365° a kritikus hőmérséklete s ekkor a nyomása, a kritikus nyomás, 200 atmoszféra, belátjuk, hogy szó sem lehet ilyen óriási nyomásokat kibíró szerkezetekről. Volt idő, mikor 70 atmoszférás géppel kísérleteztek (Alban), de eredmény nélkül, úgy, hogy tanácsosnak látszott $10 - 12$ atmoszférán túl nem menni. Ma tényleg nem is igen készítenek ennél nagyobb nyomás mellett dolgozó gépeket. A $10 - 12$ atmoszférás nyomást pedig a vízgőz már $180 - 190^\circ$ -on eléri, tehát a maximum T_1 -re nézve, víz használata esetén $190^\circ + 273^\circ = 463^\circ$.

Ennélfogva a vízgőzzel dolgozó, dugattyús gépek elméleti hatásfokának maximuma megközelítőleg

$$h = \frac{(190 + 273) - (60 + 273)}{190 + 273} = \frac{190 - 60}{463} = \frac{130}{463} = 0,28.$$

Természetes, hogy a bevezetett energiának még ez a 28 %-a sem lesz hasznosítható munka, mert a géprészek súrlódása, a mozgásáttételek, stb. sokat felemésztenek belőle. Úgy, hogy a ma működő legjobb gőzgépek tényleges hatásfoka csak 17 - 18 %.

Látszik tehát, hogy a vízgőzzel a gépkonstrukciók megengedte $400 - 20 = 380$, vagy $400 - 30 = 370$ °-nyi hőmérsékletkülönbségből csak $190 - 60 = 130$ °-nyi különbséget lehet kiaknázni, vagyis körülbelül egyharmadát.

Ilyenforma gondolatok vezették *Du Trembley*-t arra, hogy a hőmérsékletkülönbség kiaknázása végett a víz mellett más folyadékot is vegyen figyelembe. Úgy okoskodott, hogy a henger fáradt vízgőzét, amely meglehetősen sok meleget visz magával, nem bocsátja a kondenzátorba, ahol majdnem haszontalanul elvész, hanem arra használja, hogy forrásba hoz vele egy olyan folyadékot, amelynek alacsony a forráspontja, pl. étert (35 °), vagy chloroformot (62 °), s ennek a gőzét egy másik dugattyúhengerben épp úgy munkára kényszeríti, mint a vízgőzt. 1848-ban, Lyonban, működésbe is hozott egy ilyen kétfolyadékös, 50 lóerejű gépet s azt érte el, hogy míg a vízgőzzel dolgozó gép óránként egy lóerőre 4 kg szenet fogyasztott, addig a második folyadékkal kombinált gép csak 1,1 kg szenet.

Du Trembley nagy eredményét hamar elfelejtették az emberek, inkább a vízgőzzel működő gép tökéletesítésén fáradtak, mert hiszen még nagy mértékben volt tökéletesíthető. Csak újabban, amikor a tökéletesedés úgyszólván a maximumát érte el, vagyis amikor eljutott addig a határig, amelyen túl már elméletileg sem várható tőle sokat, foglalkoznak megint többfolyadékös gépek készítésével. *Behrend*, *Zimmermann* és *Josse* éter helyett ammóniákat (H_3N) és kéndioxidot (SO_2) ajánlanak. Az ammóniák forráspontja -38 ° C-nál van, gőzének nyomása pl. 15 ° -nál $7,2$ atmoszféra, 60 °-nál $25,8$ atmoszféra. A kéndioxid forráspontja -10 °, gőznyomása 15 °-nál $2,7$ atm., 60 °-nál $10,7$ atm. Az eredményt mutatja az, hogy *Josse* Charlottenburgban egy 150 lóerejű, vízgőzzel dolgozó gépet kiegészített kéndioxidos hengerrel s ilymódon az előbbi szénfogyasztás mellett 200 lóerejű lett a gép. *Schreber* legalkalmasabbnak az etilamint ($C_2H_5NH_2$) tartja, melynek forráspontja 18 ° és mellyel jól ki lehet használni a 80 ° és 30 ° közötti hőmérsékletkülönbséget.

A *Du Trembley* gondolatát tovább folytatva, valamely, magas hőmérséklet mellett forró anyag gőzeivel a 190 °-on felüli hőmérsékletkülönbséget is ki lehetne használni. Ilyen anyag több van. *Schreber* legalkalmasabbnak tartja az anilint ($C_6H_5NH_2$), melynek forráspontja 184 ° és gőzének nyomásai olyanok, (310 °-nál körülbelül 12 atmoszféra), hogy a 310 ° és 190 ° közé eső hőmérsékletkülönbséget jól ki lehet vele használni.

Eszerint a háromfolyadékös gépben az anilingőz útján a 310 ° és 190 ° közötti hőmérsékletkülönbséget, a vízgőz útján a 190 ° és 80 ° közöttit és az etilamin útján a 80 ° és 30 ° közöttit lehet kiaknázni. Vagyis a gőzgép 130 °-os hőmérsékletkülönbsége helyett 280 °-os különbséget.

A *Du Trembley*-féle kétfolyadékös gépben a második folyadék melegítésére csak az első folyadék fáradt gőzének a melege használtatott fel. Azonban értékesíteni lehet e célra a kőszén eléégéséből származó fűtőgázoknak azon melegét is, amelyet haszon nélkül visznek el a kéményen. Úgy, hogy mind a két gondolat értékesítésével a háromfolyadékös gép szerkezete a következő:

A 310 °-on tartott anilinkazán fűtőfelülete olyan, hogy az 1600 °-on hozzájutó fűtőgázok körülbelül 410 °-on hagyják el és így jutnak ahhoz a csőrendszerhez, amelyben a víz forralandó és amelynek a fáradt anilingőz is leadja a melegét. A vízcsöveket, melyek 190 °-on tartandók, 290 °-on hagyják el a fűtőgázok s így jutnak az etilaminhoz, amelyhez a víz fáradt gőze is meleget visz s amely 80 °-on tartandó. Innen körülbelül 180 °-on távoznak a fűtőgázok s ez a hőmérséklet éppen elegendő a kürtő kellő léghuzamának a fenntartására. A fáradt etilamingőz aztán a kondenzátorba jut.

Schreber (*Die Theorie der Mehrstoffdampfmaschinen*, Leipzig, 1903.) kiszámította az ilyen gép elméleti hatásfokát s azt $0,42$ -nek találta, míg a csak vízgőzzel dolgozó gépé, mint láttuk, $0,28$. Kiszámította a háromfajta gép munkájának egymáshoz való viszonyát, és azt találta, hogy egyenlő szénfogyasztás esetén és a fűtőgázak hőmérsékletének egyenlő mértékű kihasználása mellett az egy, két és háromfolyadékös gépek munkái úgy aránylanak egymáshoz, mint $1 : 1,289 : 1,588$.

Így a többfolyadékös gépektől, ügyes konstrukció mellett, a hatásfok növelése, azaz a hőenergia tetemesebb kiaknázása tekintetében sokat várható.