

Tartalmi összefoglaló

A dolgozat elejét a hőerőgépek működési elméletével kezdem. Itt azok a fontosabb momentumok jelennek meg, amelyek egy tagozatos középiskolai osztályban már megérthetőek, az alapokat viszonylag könnyű elmagyarázni. Mérésünk azonban mindenféleképpen fontos a továbbiakban elhangzó vizsgálatokhoz. A működési elmélet alapjait tartalmazó képletek közül csak a legfontosabbak megemlítése a célszerű, így nem bonyolódik túl az elmélet, mely egyébként igen mélyre vezetne a fizika egyes ágaiban. A szakdolgozat magját képező mérés ezért jobban előtérbe van helyezve. A hőerőgépek műszaki fejlődésének ismertetése szintén nagyon fontos, hogy tárgyalásra kerüljön, mert így sokkal könnyebben beépíthető a témakör a középiskolai oktatásban. Ebben a részben vannak felsorolva és a feltalálók nevét is megemlíti a szakdolgozat. A hőerőgépek egyes fajtáinak tájékoztató jellegű leírása igen fontos a szakdolgozat szempontjából, gyakorlatilag az elméleti résznek az egyik legfontosabb szakasza. Itt fogalmazódnak meg a hőerőgépek körfolyamatai, működési karakterisztikájuk és egy pár olyan dolog, amely műszaki szempontból fontos és ritkán lehet könnyen elképzelni ezeket. Hangsúly van helyezve a vizsgált hőerőgép részletezésénél a műszaki paraméterekre és röviden a működésre. A mérés technikai háttér fejezet bemutatja az egyes szenzorokat, ezek karakterisztikáját és működési elméletét. Itt kerül elbeszélésre a virtuális mérés technikai szoftver és egy-két gondolat a hardware eszközökről. A szakdolgozatban újat mondó megoldás egy igen egyszerű forgatónyomaték mérő berendezés, amely tulajdonképpen erre a méréstípusra lett megalkotva. Bár ez nem használható minden erőgép típusnál, de lehet készíteni olyat ennek alapján, amely univerzális nyomatékmérő. Ez az eszköz eltér ugyan a technikában általánosan használható és nem is olyan pontos, de demonstrációs szempontból megfelelő. A szakdolgozat 5.-6.-7. fejezetében az általam végzett mérés kiértékelése és ennek példászerű bemutatása jelenik meg, azaz egyszerűbb megoldás, amelyen egy hőerőgépnek a különböző paraméterei könnyen mérhetőek. Sokkal könnyebben, mintha elméleti számításokkal próbálnám megközelíteni a problémakört és ugyanakkor teljesen hitelesen. A szakdolgozat végén megemlítésre kerül még a műszaki szempontból jelentős függvények, mint a témához kapcsolódó, megemlítendő dolog. Ezeket a méréseket, egy általam készített sűrített levegő által működtetett dugattyús hőerőgéppel, amely viszonylag egyszerű működésű és hasonló az elsőnek forgómozgást előállító James Watt - féle géphez.

Ez a gép alap demonstrációra alkalmas virtuális műszerezés segítségével. Működésének bemutatása a 3. fejezetben kerül elő, de az elméleti működés a 2. részben található. Szerintem a legalkalmasabb demonstrációs gép ez a típus, mivel minden lényeges megközelítés szemléltethető rajta.

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalmi összefoglaló.....	1
Tartalomjegyzék.....	3
1. Hőtani bevezetés	5
1.1. Működési elmélet (hogyan lesz a hóból munka?)	5
1.1.1. <i>A külső égédű hőerőgépek működése:(körfolyamat).....</i>	<i>12</i>
1.1.2. <i>A hőerőgépek szélsőséges példái</i>	
1.2. Történeti áttekintés a hőerőgépek műszaki fejlődéséről.....	15
1.3. Hőerőgépek egyes fajtáinak tájékoztató jellegű leírása	26
1.3.1. <i>A közvetlen kondenzációs gépek.....</i>	<i>26</i>
1.3.2. <i>Kettős működésű gőzgép dugattyúval.....</i>	<i>28</i>
1.3.4. <i>A gőzmotor.....</i>	<i>32</i>
1.3.5. <i>Benzin üzemű motor</i>	<i>34</i>
1.3.6. <i>A diesel motor.....</i>	<i>37</i>
1.3.7. <i>Laval turbina</i>	<i>38</i>
1.3.8. <i>Parsons turbina</i>	<i>39</i>
1.3.9. <i>Gázturbina.....</i>	<i>40</i>
1.3.10. <i>Mozgó alkatrész nélküli hajtóművek.....</i>	<i>42</i>
2. Az általam készített hőerőgép részletes ismertetése	44
3. Méréstechnikai háttér	48
3.1. Szenzorok jellemzése és a dolgozatban történő felhasználási területük.....	48
3.1.1. <i>Nyomás szenzor</i>	<i>48</i>
3.1.2. <i>Nyomásérzékelő működési elmélete</i>	<i>49</i>
3.1.3. <i>Termisztor (a hőmérséklet méréséhez)</i>	<i>50</i>
3.1.4. <i>Gyorsulásmérő</i>	<i>51</i>
3.1.5. <i>Forgatónyomaték mérő</i>	<i>53</i>
3.1.5.1.	
3.1.5.2	

4. Mérés során megfigyelhető fizikai mennyiségek	59
4.1. <i>Mennyiségek</i>	59
4.2. <i>Idealizált grafikonok</i>	60
5. A valóságban mért eredmények kiértékelése	62
6. Műszaki szempontból jelentős függvények	65
7. Módszertani összegzés	67
8. Összefoglalás	68
9. Melléklet	69
10. Hivatkozások, irodalomjegyzék	73
11. Köszönetnyilvánítás	74
12. Nyilatkozat	75

1. Hőtani bevezetés

1.1. Működési elmélet (hogyan lesz a hőből munka?)

A fejezetben szereplő fizikai mennyiségek és állandók

P = nyomás [Pa] N/m^2

T = hőmérséklet [K]

c = fajhő $c = Q/(m\Delta T)$ mértékegysége: [J/(kgK)] gázokra

c_p állandó nyomáson

c_v állandó térfogaton

k = Boltzmann állandó R/N_A mértékegysége: [J/K]

n = molekulák száma db

N_A = Avogadró szám 1 mol anyagban lévő (atomok, molekulák) száma

$(6,02245 \pm 31 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^{23}$ mértékegysége: [db/mol]

Q = hőmennyiség mértékegysége: [J]

R = moláris gázállandó $(P_0 V_m)/273 = 8,31441 \cdot 10^{-5}$ mértékegysége: [J/(molK)]

$V_m = V/n$ moláris térfogat = $2,241383 \cdot 10^{-3}$ mértékegysége: [m^3/mol]

P_0 = normál állapotú nyomás 1 bar = $10\text{N/cm}^2 = 100\text{kN/m}^2$

W = mechanikai munka mértékegysége: [J]

κ = fajhőviszony = c_p/c_v

n' = politropikus kitevő $1 < n' < \kappa$

C_v, C_p = 1 mol gáz hőkapacitása állandó térfogaton és nyomáson

Ebben a fejezetben azok a lényeges folyamatok kerülnek tárgyalásra, melyek a hő, mint fizikai mennyiség, megváltozásával más változások létrejöttét okozzák egy rendszerben. Itt konkrétan nem tér ki a fejezet a mélyebb hőtani folyamatokra csak a hőerőgépek működésének egyszerűbb megértését szolgáló összefüggésekre.

Először tekintsük a termodinamika első fő tételét, miszerint: energia semmilyen folyamatnál sem keletkezik, vagy semmisül meg, hanem csak az egyik energiaformából valamilyen más energia formává alakul át, ez az általános energia tétel.

Továbbá zárt rendszer teljes energiája állandó; nem zárt rendszer teljes energiájának növekedése egyenlő a kívülről, bármilyen formában a „rendszerhez vezetett” energiák és munkák összegével. Ez a hőmennyiségek felvételénél és leadásánál is igaz. [1]

Ezek mellett fontos megemlíteni a második fő tételt, mely szerint: egy izolált rendszer entrópiája valamely spontán önként lejátszódó folyamat során növekszik.

$$\Delta S_{\text{teljes}} > 0$$

Az entrópia, ha egyszerűen akarunk fogalmazni, a rendezetlenséget fedi. A rendezetlenség az anyag elemi építőköveinek (az atomok vagy molekulák) különféle állapotai között lehetséges átrendeződések folytán valósul meg. [2]

Itt a lényeg úgy ragadható meg, hogy a különböző állapotok, sebesség, forgás, „ütközés” és elektrosztatikus vonzás – mely reális gázokra igaz – folyamatosan átrendeződnek, pl.: adott molekula a következő pillanatban ütközés után már más perdülettel, translációs sebességgel rendelkezik és más-más elektrosztatikus kölcsönhatási kapcsolatban áll szomszédjaival. Ezek az igen rövid idő alatt lejátszódó állapot-átrendeződések, melyek oda vezetnek, hogy rendezett munkává a rendezetlen, gyakorlatilag nulla valószínűséggel alakulhat át.

Az entrópia mértékegysége: [J/(Kmol)]

Az entrópia (rendezetlenség a Clausius egyenlőtlenség miatt)

$$dS \geq \frac{dq}{T}$$

dq = rendszerrel közölt hő.

A hőmérséklet növelésével növekszik, csökkenésével csökken.

Igaz továbbá, hogy

$$\Delta S = nR \ln(V_{\text{kiterjedt}} / V_{\text{kiindulási}})$$

,tehát a térfogat növelésével szintén növekszik.

Ezek az egyenletek ideális gázra vonatkoznak, és a második egyenlet izoterm kiterjesztést feltételez. A folyamatok során mindig növekszik, vagy állandó marad az entrópia.

Ekkor két folyamatot különítünk el a valóságban lejátszódó termodinamikai eseményekből.

- Reverzibilis folyamat: mikor a rendszeren olyan változás jön létre, mely változást úgy tudjuk visszaállítani, hogy a rendszer környezetében más változást nem hozunk létre.
- Irreverzibilis a folyamat: ha csak úgy állítható vissza a rendszer eredeti állapota, hogy a környezetben is változás következik be.

Reverzibilis folyamat pl.: ha egy tökéletesen rugalmas labda egy végtelen keménységű padlón pattog, mindig azonos magasságba tér vissza. Tehát energiái folyamatosan veszteség nélkül egymásba alakulnak, először helyzeti energiája van, ez mozgási energiává alakul, majd ez deformálódás után rugalmas energiává, azután ismét mozgási energiává, végül helyzeti energiává, majd kezdődik a folyamat előlről.

Hasonló példa egy végtelen nagy hőtartályban lejátszatott izoterm állapot változás is, ahol a gázt egy munkahengerben összenyomjuk a felére, így a belső nyomás kétszeresére növekszik, ehhez mondjuk 100 J energiát használ fel, és ha terjeszkedni hagyjuk a gázt vissza kapjuk a 100 J-t.

Irreverzibilis folyamat pl.: ha hőtanilag tökéletesen lezárt szobában van egy tartály meleg víz, mely kihűl, és valamennyire megemeli a szoba hőmérsékletét és közben a víz és a levegő hőmérséklete ezen a fokon kiegyenlítődik, ugyanis a levegő részecskék közel nulla valószínűséggel adják vissza a víznek azt az energiát, amit a víztől felvettek.

A továbbiakban meg kell említeni a hőmérséklet és az energia kapcsolatát, (T-Q) kapcsolat A hőmérsékletet abszolút skála, Kelvin fokban mérve az abszolút 0 fok= -273,15 °C, ekkor az ideális gáz molekulái egy edény alján fekszenek, és nem mozognak, a valós gáz molekuláinak viselkedése nem értelmezhető. De bármely 0K-től magasabb hőmérsékleten az atomoknak mozgási energiájuk van, melyet 1 atomra a tömegéből és sebességéből számíthatunk. Ideális gáz esetén ez csak translációs mozgás, valós gáz esetén forgási (rotációs mozgás is), melyhez forgási energia rendelhető.

A hőmérséklethez tehát rendelhető egy átlagos sebesség, vagy egy energia mennyiség is.

A sebesség értékek adott hőmérsékleten a Boltzmann eloszlással szemléltethetőek, de átlagértéke kiszámítható.

$$\bar{v}^2 = \frac{3RT}{M}$$

M= a moláris tömeg, mértékegysége: [kg/mol]

A hőmérséklet tehát rendelhető egy molekula sebességhez is, de energetikai értelmét csak makroszkópikus szinten a molekula sokaság szintjén nyeri el, ahol már az entrópiát is lehet értelmezni, továbbá a gáz belső energiáját.

A belső energia megadásához viszont tudni kell azt, hogy egy molekula milyen mozgási irányokban vagy módozatokban tárol energiát, melyet szabadsági fokokkal jellemezünk jele: f.

Egyatomos gáznál (pl.: Hélium) esetén, f= 3.

Három térdimenziós mozgás-vagy sebességkomponense lehet kétatomosnál (pl. O_2 , H_2) $f=5$, mert a translációja mellett két egymásra merőleges tengely körül valamilyen rotációt is végezhet, és $f=6$, ha többatomos a gáz, itt 3 egymásra merőleges tengely körül is történhet forgás. Így a belső energiát $U = (f/2)NkT$ képlettel magyarázható, a hőkapacitás jellemezhető a

$C_v = (f/2)Nk$ és $C_p = ((f+2)/2)Nk$ mennyiségekkel.

A C_v és C_p értékek mindig szükségesek, ha Q hőmennyiségre kérdezzük rá, mert egy adott hőmennyiséget csak anyag jelenlétében értelmezhetünk, és az anyagnak lennie kell hőkapacitásának is;

Ekkor $Q = C_v\Delta T$ állandó térfogatnál

$Q = C_p\Delta T$ állandó nyomásnál

Ez persze kétféle fajhőt feltételez, melyek közt a Robert-Mayer egyenlet teremt kapcsolatot

$$c_p - c_v = R/M$$

A fejezet első szakaszában leírtak segítenek ugyan az egyes hőtani mennyiségek hőerőgéppel való kapcsolatának tisztázásában, de a középiskolában lehet, hogy az entrópia fogalmát csak emelt órászámú osztályokban lehetne összekötni a gyakorlatban használt gépek működésével.

Ugyanakkor, ha a tananyagban előfordulnak a megemlített fogalmak, akkor a hőerőgépek működését bele lehet vonni, ha kis mértékben is, az óra anyagába, mint a tanár részéről megjegyzendő mindennapos jelenségek.

A hőtani alapfogalmak itt nem kerültek teljesen tisztázásra, de hóból mechanikai munkává alakulás folyamataihoz elegendő bevezetést adnak. A következőkben ezért az állapotváltozásokról és részfolyamatokról, majd körfolyamatokról lesz szó. Ismét az ideális gáz kerül elő modellként, mert erre van viszonylag egyszerű és kidolgozott elmélet, de a fejezet végén a reális gázok példászerű folyamatai is bemutatásra kerülnek.

Állapotváltozások:

Az ideális gáz állapotváltozásai a természetben lejátszódó folyamatok szemszögéből nem pontosan valósulnak meg, igaz ez a mesterségesen előállított hőerőgépekre is.

Megvalósításuk azért nehéz, mert tökéletes ideális gáz, melynek részecskéi közel mérhetetlenül kicsinyek, „véletlenszerűen és kaotikusan ütköznek, sebességük a hőmérséklet emelésével növekszik, egymástól nagy távolságra vannak, mozgásuk az ütközést leszámítva független egymástól”. [2] Gyakorlatilag gömb alakúak és mozgásuk csak nulla Kelvinen áll meg teljesen (csak elméletben létezik).

Az a gáz, mely eleget tehet bizonyos korlátok közt ennek a feltételnek a természetben a Hélium.

Az ideális gázok állapotváltozásai a következők; műszaki szempont szerint megfogalmazva.

- Izoterm: amikor egy végtelen kapacitásúnak tekintett hőtartállyal, az éppen összenyomás alatt lévő, felmelegedni akaró gázt mégis azonos hőmérsékleten tartjuk, mert az összenyomás munkája „hővé alakul”. Ugyan ez a kiterjesztendő gázra is igaz, de ott a hőtartályból vesz fel hőmennyiséget a gáz.

[Gyakorlatilag a gáz hőmérséklete összenyomás és kiterjesztés esetén is változatlan]. (Boyle-Mariotte törvény) $T = \text{állandó}$

- Izobár: állapotváltozáskor a gáz nyomása nem változik, ha a hőmérsékletet emeljük, vagy csökkentjük, helyette a gáz térfogata növekszik, vagy csökken. A gázok részecskéi gyorsabban repülnek, mert hőmennyiséget közölve, energiát is közlünk velük. A gyorsabban mozgó részecskéknél nagyobb helyre van szükségük állandó nyomáson. Ugyanez fordított, ha hűtjük a gázt, és akkor a térfogat csökken. [$p = \text{állandó}$ a gáz, egyik izotermáról a másikra „lép át”].

(Gay-Lussac I. törvénye)

- Izochor: állapotváltozás, amikor a gáznak nincs megengedve a térfogat változás. Ekkor a hőmérséklet növelés a nyomás változását vonja maga után. A hőmérséklet csökkenéskor a nyomás csökken. A gáz szintén egyik izotermáról a másikra „lép át”.

[$V = \text{állandó}$, gyakorlatilag a gáz egy tökéletesen merev falú edényzetbe van bezárva.] (Gay-Lussac II. törvénye).

- Adiabatus: állapotváltozás esetén a gázt semmilyen $\pm Q$ hőmennyiség nem érheti, tehát nem vesz fel hőt, vagy ad le környezetének.

[$Q=0$, ez az állapotváltozás nyomás növekedés esetén hőmérsékletnövekedést is eredményez a gázon, de csak akkorát, amely arányos az összenyomás munkájával, a térfogat változik, nyomás változik, hőmérséklet változik, de csak mechanikai rendezett munkával szerez energiát és „átlépi” az izotermákat]

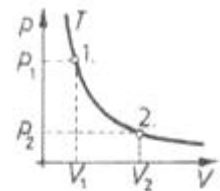
- Politropikus állapotváltozás hasonló az adiabatikushoz, de a $\pm Q$ - hőmennyiség kapcsolatba kerül a gázzal, tehát a környezet felé nyitott.

Valójában ez a folyamat a kulcsa a hőerőgépekben lejátszódó gáz kiterjedésnek és összenyomásnak.

Mert az izoterm és az adiabatikus csak jó közelítéssel valósítható meg, és kettőjük között a politrop folyamat teremt kapcsolatot.

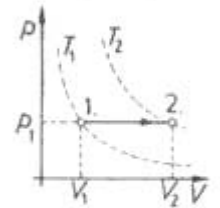
Izotermikus ($T=\text{áll.}$) állapotváltozás (Boyle-Mariotte-törvény):

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = p_3 V_3 = \dots = \text{állandó.}$$



Izobár ($p=\text{áll.}$) állapotváltozás (Gay-Lussac I. törvénye):

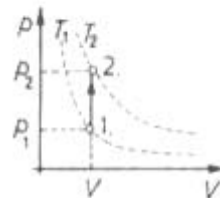
$$\Delta V = V_0 \beta \Delta t \quad V_t = V_0 (1 + \beta \Delta t) \quad \beta = \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$



Izochor ($V=\text{áll.}$) állapotváltozás (Gay-Lussac II. törvénye):

$$\Delta p = p_0 \beta \Delta t \quad p_t = p_0 (1 + \beta \Delta t)$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \dots = \text{állandó.}$$



Adiabatikus ($Q=0$) állapotváltozás:

$$pV^\kappa = \text{állandó}, \quad TV^{\kappa-1} = \text{állandó}, \quad Tp^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} = \text{állandó}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\kappa, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1}, \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1-\kappa}{\kappa}}$$

A négy alapvető állapot változás képletei [3]

Politropikus állapotváltozás:

$$pV^n = \text{állandó}, \quad TV^{n-1} = \text{állandó}, \quad Tp^{\frac{1-n}{n}} = \text{állandó}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^n, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1}, \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1-n}{n}}$$

(Ahol n a politropikus kitevő, n értéke a gyakorlatban megvalósított folyamatoknál:

$$1 < n < \kappa.$$

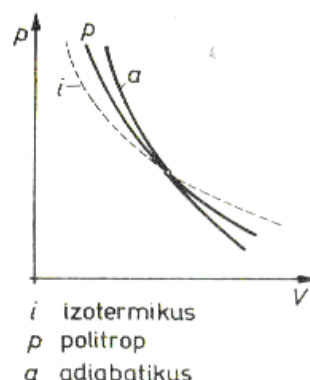
Egyesített gáztörvény:

$$pV = p_0 V_0 (1 + \beta \Delta t) \quad \beta = \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$\frac{p_1}{V_1 T_1} = \frac{p_2}{V_2 T_2} = \dots = \text{állandó.}$$

A sűrűséggel kifejezve:

$$\frac{p_1}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 T_2} = \dots = \text{állandó.}$$



A politropikus állapotváltozás és az egyesített gáztörvény a főbb izotermákkal [3]

A valóságos hőerőgépek politrop folyamatai még kiegészülnek azzal, hogy a Van der Waals erők fellépnek a molekulák között, ez a reális gázokra igaz.

Így a $pV = mRT$

m = ideális gáz tömege, ideális gáz állapot egyenlete

$$(p + (a/v^2) * (v-b)) = RT - re$$

módosul, ez a Van der Waals állapot egyenlet, a és b az adott gáz anyagi minőségétől függő tapasztalati állandók

$v = V/m$ fajlagos térfogat

a/v^2 „nyomás korrekció”

, kohéziós nyomás a vonzóerő miatt. [1]

A tágulási munka kiszámolható lehetne elméletben: az alábbi képletekkel:

Tágulási munka:

$$\text{Bármely folyamatnál: } W = \sum_{i=1}^n p_i \Delta V_i$$

Izobár ($p = \text{áll.}$) folyamatnál: $W = p \Delta V$

$$\text{Izoterm (} t = \text{áll.) folyamatnál: } W = NkT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$\ln x = \frac{10_{\log x}}{10_{\log e}} = \frac{10_{\log x}}{0,43429}$$

Izochor ($V = \text{áll.}$) folyamatnál $W = 0$

$$\text{Adiabatikus (} Q=0 \text{) folyamatnál: } W = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\kappa - 1}$$

Politropikus folyamatnál: $W = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{n-1}$ (n a politropikus kitevő)

A gáz munkájának termikus hatásfoka körfolyamatoknál:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (Q_1 \text{ a folyamat közben az 1-es tartályból felvett } Q_2 \text{ a 2-es tartálynak leadott}$$

hőmennyiség.) [3]

Ezen korrekciók bevezetése az állapotváltozások szemszögéből igen bonyolult levezetésekhez vezetnének, különösen a hőerőgépek tekintetében, ezért ebben a munkában vizsgálat hőerőgép elemzésében ezektől eltekintünk, de arról a 6. és 7. fejezetben lesz szó, egyszerűbb formában. A működési elméletek megközelítése szempontjából a hőerőgépeket két részre osztjuk, külső égésű és belső égésű gépekre.

A külső égésű gőzgép, gőzmotor, turbina, hőlégmotor esetében a fűtő (éghető) anyag nem érintkezik a munkaközeggel, így bármely éghető anyag eltüzelhető egy adott kazánban, ahol a munkaközeg felveszi a hőmennyiséget. A belső égésű motoroknál a munkaközeg érintkezik az éghető anyaggal, a munkaközeg legtöbbször gáz, a levegő nitrogénje, ehhez hozzájárul az égéstermékben megjelenő víz- és széndioxid.

A külső égésű gépek, ezért kevesebb kenőanyagot igényelnek és nem érzékenyek a fűtőanyagra. Bár az atomerőművekben nincs égetés kémiaiilag, de besorolás szempontjából külső égésűnek minősülnek, vagyis a kazán külön áll a munkát végző gépegységtől, a turbinától.

1.1.1. A külső égésű hőerőgépek működése: (körfolyamat)

A kazánban hő termelődik (+Q) hőmennyiség, ez amennyiben gázt melegít fel, akkor hőlégmotorról van szó. Ez egy elősűrített gáz állapot, amely először politrop összenyomáson esett át. Ez izochor módon melegszik a kazánban, ekkor nyomása állandó, a molekulák gyorsabb mozgásba kezdenek.

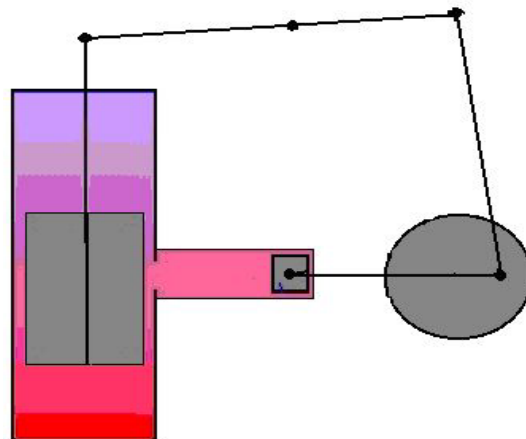
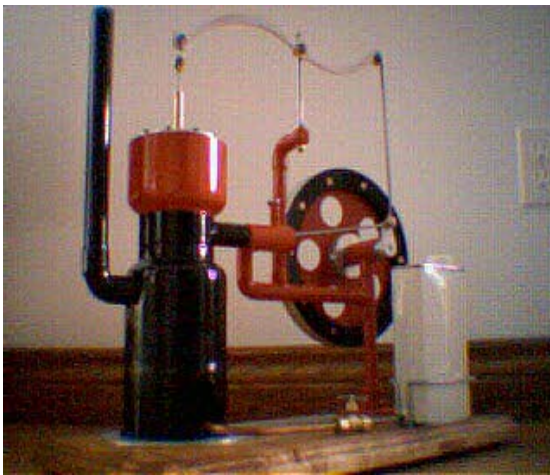
Ez után bekerül a meleg munkagáz a munkavégző egységbe, ahol politrop módon kiterjeszkedik és a molekulák egy része mozgási energiáját átadva a dugattyúnak, vagy turbinakeréknek lassulást szenved és lehűl. A rendezetlen mozgású molekulák energiája, mivel előre elrendelt irányba mozdulhat csak el, átalakul rendezett mechanikai munkává F erőt fejt ki s-úton, $Fs = W$.

De a lehülés nem olyan szintig megy, hogy a kazánba a táplálási hőmérsékletet elérje, ezért hűteni kell izobár módon, majd komprimálni politrop folyamattal, ahol szintén melegedni fog, akkor ismét hűteni kell, majd vissza a kazánba.

A térfogati munka kisebb a kazánba táplálási oldalon, mint a munkaegység oldalán, ezért a mechanikai munkavégzés fenntartódik. A kazánból hő elvonódik, egy része munkaerővé alakul, más része a hűtőbe kerül.

A hűtésre szükség van, mert hűtés nélkül nem elegendő a munkaegység oldalán képződött munka a betáplálási oldal munkafelvételének fedezéséhez. Így az irreverzibilis hűtési folyamat elkerülhetetlen. Irreverzibilis, mert az energia innen már nem nyerhető vissza rendezett munkává, spontán megy végbe, és határt szab az elérhető hatásfoknak.

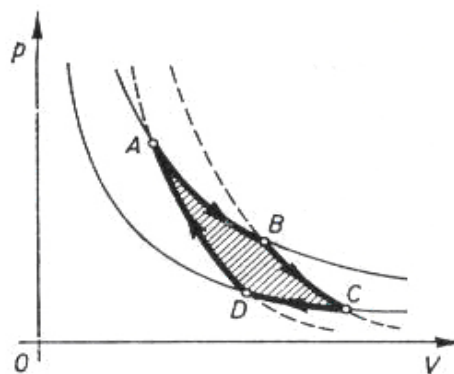
Ilyen hőgépet már építettek a Carnot-féle körfolyamatra hélium munkaközeggel, (Stirling-motor)



[4]

1. ábra. Stirling-motor

, ahol politrop változások helyett az A-B pontban adiabatikus szerepel, mint kiterjesztés, B-C pont izoterm hűtés, C-D adiabatikus sűrités, D-A szakasz izoterm összenyomás. Bár erre a körfolyamatra meghatározták, hogy a kalorikus gépek hasznos munka-termelésének hatásfoka [$\eta = 1 - (T_{\text{hűtő}}/T_{\text{kazán}})$], mégis ez a körfolyamat nem terjedt el.



Carnot féle körfolyamat elméleti sémája [4]

Az adiabatikus összevonást, izoterm összenyomást kompresszorral kell végezni, és ezeknek a megvalósítása a jelenlegi technikai szint mellett a súrlódások miatt nagyobb hőveszteséggel járna, mint amennyit nyerni lehetne a körfolyamattal.

Ezért elterjedtebb a víz és folyékony munkaközeg elpárologtatása, mely az említett Van der Waals erők, legyőzését követeli meg hőmennyiség befektetésével, amely ugyan nem nyerhető vissza, és a hűtőbe jut, mint párolgási-kondenzálási hő, ugyanakkor a hatásfok is kisebb, mert a hűtő és a **kazánból kijövő gőz** hőmérséklet különbsége kisebb.

A kazán hőmérséklete nem a láng hőmérséklete, hanem a kilépő munkaközegé minden esetben. A hűtő hőmérséklete minden esetben a munkagépből kijövő adott nyomású kondenzálódó munkaközeg hőmérséklete.

A gőzgépek így működnek és a körfolyamatuk, mely zárt, ugyanolyan, mint a hőlégmotoré, de nincs izobár folyamat a hűtés oldalon, hanem ott „izobár kondenzáció” van. A térfogat változások a kazánból kilépő és belépő adott anyagmennyiség figyelembevételével víz esetén, normál nyomáson 1200-szoros. Ha nem normál nyomás van, hanem mondjuk X bar, akkor (1200/X) a kilépő gőz térfogata a belépő vízhez képest. Ez levezethető, ha $P_1 V_1 = P_2 V_2$ izoterm állapotváltozással közelítjük. Ezekről a 4. fejezetben még esik szó.

A belső égésű motorok benzinmotor, diesel motor, azaz – dugattyús hőerőgép – gázturbina torlósugár gép esetén a hajtóanyag belső térben, a munkaközegben ég el, folyamatai hasonlóak a hőlégmotorhoz, de termodinamikai hűtőjük nincs, mert az a környezet. Az a hűtő, mely a gépjárművekben van, főleg a dugattyús változatok igénylik, ezt a csak üzemi hűtőt, azért, hogy a hengerbe ne dagadjon bele a dugattyú a hirtelen felmelegedéstől.

Az egyes motortípusok körfolyamatai és műszaki munkaütemei szintén a 2.3 fejezetben kerülnek tárgyalásra. Megjegyzendő, hogy a belső égésű gépek hatásfokának számításánál nem az üzemi hűtő hőmérsékletét tekintjük hűtőnek, hanem a motort elhagyó füstgáz hőmérsékletét, 300-700 °C-ig. A kazán hőmérséklete a robbanás pillanata utáni munkaközeg hőmérséklete, 1500-2500 °C-ig. [7]

Ez versenyfeladatok esetén is sokszor hiba.

Példák a külső égésű és belső égésű gépek hatásfokára

tegyük fel $\eta = 1 - (T_{\text{hűtő}} / T_{\text{kazán}})$,

Külső égésű: gőz a munkagépbe $T = 200 \text{ } ^\circ\text{C} = 473 \text{ K}$

kondenzátor $T = 100 \text{ } ^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$

$\eta = 21,14 \%$ gyakorlatban kb. $\eta = 15-18 \%$

Belső égésű: $T_{\text{robbanás}} = 2300 \text{ }^{\circ}\text{C} = 2573 \text{ K}$

$T_{\text{füst}} = 500 \text{ }^{\circ}\text{C} = 773 \text{ K}$

$\eta = 69,95 \%$

, mivel 2573 K-en igen magas egy ezred másodperc alatt is a hőcsere a hengerfallal, ezért nem optimális a munkavégzés, és a beszívott égetésre előkészített levegő-üzemanyag keverék politrop besűrítése nagy energiával jár, ezért a gyakorlati hatásfok=25-30-45 %.

1.1.2. A hőerőgépek szélsőséges példái

A legegyszerűbb hőerőgép a rakéta, mely már a középkori Kínában is ismert volt. Legegyszerűbb esete a légkörtől is függetlenül égő lőpor, vagy nitrocellulóz, nitroglicerin alapú hajtóanyag betöltése egy zárt papír, vagy fémcsőbe, melynek egyik vége egy fűvókászerű kiképzéssel a szabadba nyílik.

Indításkor a hajtóanyag égni kezd, nagy nyomású égéstermékek magas hőmérsékleten képződnek. Ezek a fűvókán átjutva politrop állapotváltozás során lehűlnek, nyomásuk lecsökken, térfogatuk növekszik, és igen nagy sebességre tesznek szert. Ennek a reakcióereje tolja a rakétát, aminek növekedni fog a sebessége egy út megtétele után. A rakéta a legegyszerűbb, de professzionális szinten igen bonyolult lehet, és csak az elve az egyszerű.

A legbonyolultabb hőerő-rendszer, a természet globális termikus folyamata, az eső, szél, képződése, melynek leírása meteorológiai probléma is egyben.

Így tekinthetjük a vízkereket és a szélturbinát, ha nem is hőerőgépnek, de annak egy részelemének.

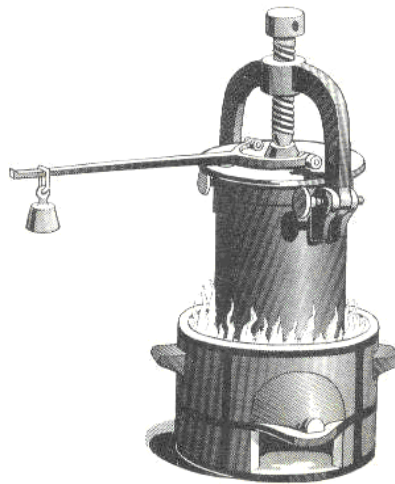
A szél nem magától fúj, hanem a hő és nyomáskülönbségek miatt, és a víz sem magától kerül fel a hegyek tetejére, hanem párolgás és felemelkedés, valamint kondenzáció útján, amelyet, a Földet jellemző termodinamikai folyamatok irányítanak.

1.2. Történeti áttekintés a hőerőgépek műszaki fejlődéséről

Ebben a részben csak a korszakalkotó állomások megemlézése történik, kevés technika történettel. Ez a rész felhasználható az iskolai oktatásban szemléltetésre mind a hőerőgépek változásai, mind pedig a feltalálójuk ötleteinek megismertetésében.

Az egyes feltaláló munkásságát és korának történelmi, társadalmi és műszaki hátterét kiadhatja a tanár a diákoknak otthoni munkának, pl.: tanuló-projektek, tanuló körök dolgozatainak formájában.

1. Az ókorban Héron kísérletezett (i.e. 120) a gőz erejének munkára fogásával. Ő alkotta meg a róla elnevezett labdát, amely egy apró üst felett tömített csuklókon forgó kicsike gömbből állt, melyen fűvókák helyezkedtek el. A forgástengelyre merőleges irányban és enyhén elhajlítva, így ha az üstben a víz forni kezdett a labdába gőz jutott a légköri nyomástól nagyobb nyomáson, a fűvókákon ez áthaladva kisüvített a szabadba és a fűvóka rakétahajtás elve alapján forgásba hozta a gömböt. Mondhatjuk, hogy ez volt az első reakciós turbina, kis mérete miatt ezt az eszközt kortársai és néha ő maga is játékszernek tartották. Bár a technikai fejlettség megengedte volna azt, hogy létrehozzanak egy valódi, gyakorlatban is alkalmazható, néhány lónak az erejével felérő turbinának a megvalósítását, de maga a kor és a társadalom ezekben az eszközökbe még nem hitt.
2. Denis Papin, (1647-1712) francia matematikus, professzor egy túlnyomásos kukta fazekat szerkesztett magának (1687), melyben gyors főzést valósított meg. Ezt a kuktafazekat egy fedéllel teljesen el lehetett zárni a külvilágtól.

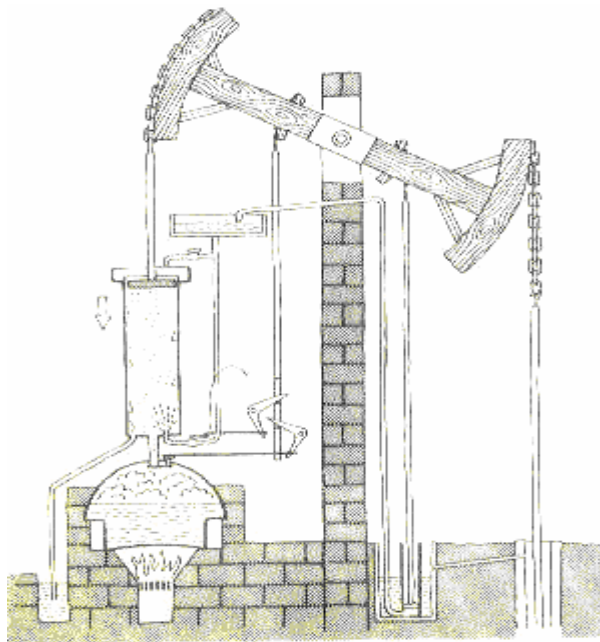


2.ábra. Papin-féle fazék (kukta) [5]

Egyszer főzés közben rajta felejtette a kuktát a tűzön, később a tűz kialudt, a kuktában lévő víz kihűlt és lecsapódott. A kuktában „vákuum” keletkezett és a légnyomás ereje a kuktafedőt annyira leszorította, hogy utána nem lehetett levenni.

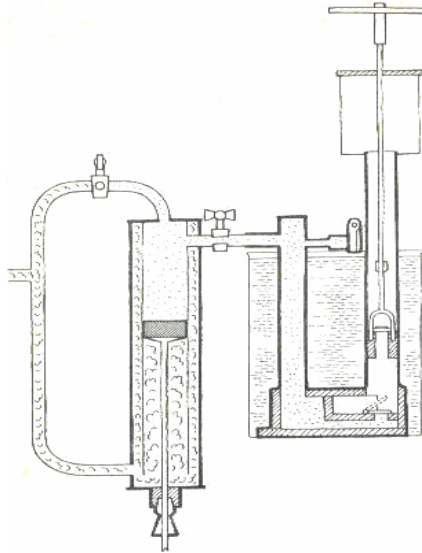
Ekkor gondolta azt, ha ez a fedő egy dugattyú lenne, amely képes mozogni, ezt még erőgépnek is lehetne használni. Gyakorlatilag a dugattyús gép elmélete ekkor született meg.

3. Thomas Savery (1650-1715) a vízemelő gőzgép elméleti és gyakorlati megalapozója (1699), ez a gép dugattyú nélküli, két-három csapon kívül más mozgó alkatrészt nem is tartalmaz, ezért igen hosszú élettartamúak lettek volna.
4. Thomas Newcomen (1664-1729) a himbával felszerelt dugattyús, légköri erő által működtetett közvetlen kondenzációs gőzgép megalkotója (1712), amely többnyire vízpumpa húzó gőzgépének hajtására szolgált. Később többen tökéletesítették.
5. James Watt (1736-1819) a Newcomen féle gép tökéletesítésére gondolt, mert azt vette észre, hogy ezek a gépek lassan és sok szenet fogyasztva működnek. A glasgow-i egyetem alagsorában, ahol pályájának kezdetén műszerészkedett volt dolga egy ilyen kis gőzgép-moddelllel és hosszú éjszakákat töltött azzal, hogy miért nem működik. Mert a Newcomen típusú gép, ha kis méretben építik meg igen érzékeny a rosszul beállított paraméterekre. Ezért Ő korán rájött, hogy a kondenzátort külön kellene választani a munkahengertől. 1765-ben megalkotta a külső közvetett kondenzátoros gőzgépet.



3. ábra. Newcomen típusú gép [5]

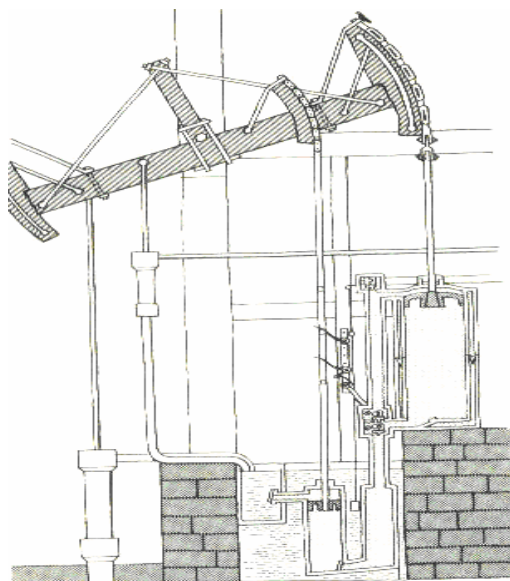
Ennek a gépnek a modelljét kezdetben „erőemelésre” használták.



4.ábra. A Watt-féle kísérleti gép [5]

Később nagyobb gépet is szerkesztett, amely még szintén nem volt képes forgómozgást előállítani, de 1768-ban szabadalmi kérelmet adott be III. György királynak. 1769-ben már 120 darab. Newcomen - féle gép működött Angliában, ezeknek általában 185 cm átmérőjű dugattyújuk volt, és igen nagy teljesítményűek voltak. Watt nem tudott ekkorát készíttetni, ezért ő kezdetben a hatásfok javítására törekedett.

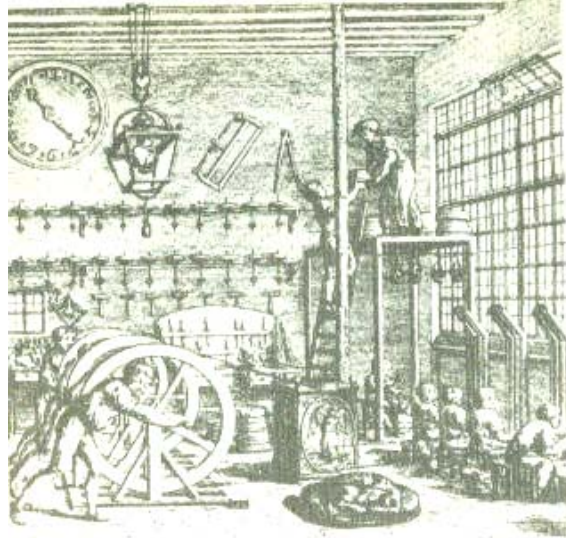
Később megismerkedett Bultonnal, az üzletemberrel, ő nagyon támogatta Wattot és 1774-ben Bulton gyárában elkezdett működni az első fűjtatókat hajtó gép, de vízszivattyúzáshoz is alkalmazták.



5. ábra. James Watt - féle fűjtató hajtó, vagy szivattyú [5]

A Watt gépek jelentősége, hogy a dugattyú mindkét oldalát a nagy nyomású gőz mozgatja és a légkör hatása mellőzve van a szerkezetből. Ez plusz 1 atmoszféra, később felemelték kettőre és a külső kondenzátor használata is sokat javított a hatásfokon.

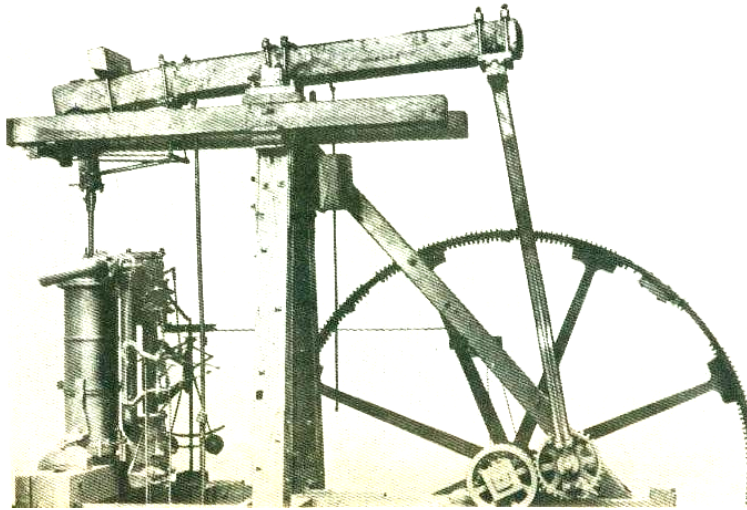
Ez idő tájt igen nagy szükség lett volna fogó mozgásra, mert Franciaországban is sok helyen hajtották kézzel a köszörűgépeket, fonógépeket, de a helyzet Angliában sem volt külön.



6. ábra. Izomerőt használtak a forgómozgás előállítására [5]

1779-ben Watt kitalálja a forgó gép hajtást és ezzel kezdődik a hőerőgépek igazi gyakorlati jelentősége. Ekkor már 40 darab Bolton-Watt gép működik Angliában, melyeket még mindig csak szivattyúzásra alkalmaznak, mivel nem tudnak forgómozgást előállítani.

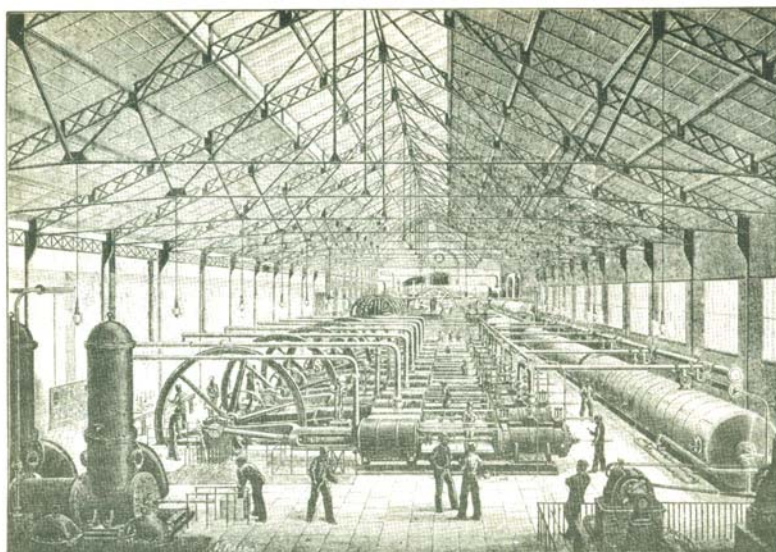
1781-ben szabadalmat kap az új 1779-ben felállított prototípusra. 1782-ben az első forgótengelyes gép piacra kerül. A legelsőt a Bardley vasműben állítják fel és a malomkerekek helyett már ez hajtja a kovácsoló kalapácsokat. Később ez a gép tette lehetővé már tökéletesített formákban, hogy Anglia fél évszázad múlva a „világ műhelye” legyen.



7. ábra. A James Watt - féle forgó mozgást előállító gép [5]

Tulajdonképpen a dolgozatban vizsgált hőerőgép is hasonló a Watt-féle gépéhez, de kisebb eltérések a szerkezeti felépítésben vannak.

6. Carl Gustav Laval (1845-1913) idejében 1883-ban nyílt meg Londonban az Edison féle villanyerőmű mellett Edward B. Ellington hidraulikus energia rendszere, mely 50 bar nyomású a Temzéből felszivattyúzott víz segítségével darukat, szállító szalagokat és zsilipkapuk munkahengerét mozgatta 93 %-os hatásfokkal. Tehát a villamos energia és a víz által közvetített hidraulikus munka is rendelkezésre állt a fogyasztók részére. Franciaországban ezidőtájt a Párizs St. Fargeau utcai kompresszor telep sűrített levegővel látta el a város bizonyos ipar negyedeit viszonylag igen jó hatásfokkal.

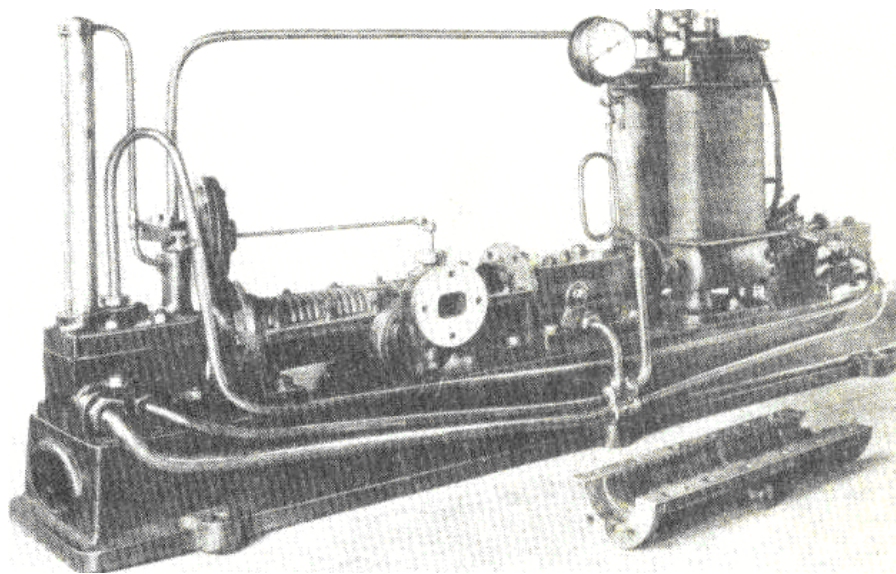


8. ábra. A kompresszor ház [5]

Ezek a hálózatok többnyire dugattyús gépeket hajtottak, melyek hasonlóak voltak Watt forgótengelyes gépéhez.

A villamos generátorokat, víznyomó gépeket és kompresszorokat valamilyen eszköznek hajtania kellett; ezek az eszközök az akkori kor legjobb gőzgépei voltak, melyek Watt gépeinek tökéletesítéséből adódtak. Igen korán rájött Laval egy ilyen gép javítása közben, hogy ezek bonyolult működési elvvel bírnak, és ezért végig gondolt egy egyszerűbb rendszert a túlnyomásos gőz munkára fogására. 1883-ban megszerkesztette turbináját és a turbina gőz ellátáshoz szolgáló tölcéses fűvókát, melyet ma is használnak a hangsebesség feletti áramlás eléréséhez szélcsatornáknak és kisebb eszközökben. A turbina, melyet feltalált az akciós gőzturbina, előnye, hogy igen kis tömegű és helyigényű, hátránya, hogy hatásfoka nem nagy és igen gyorsan forog. A turbina az évek során hatékony volt generátorok és centrifugális szivattyúk hajtására.

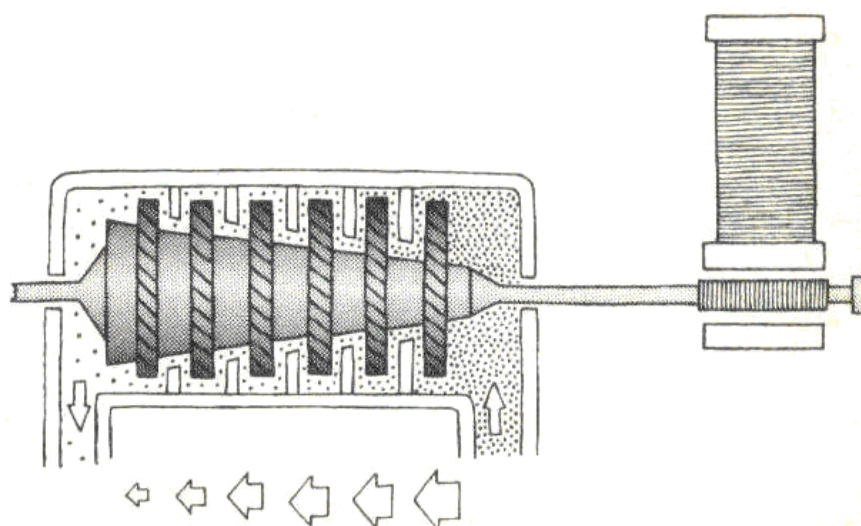
7. Charles Algernon Parsons (1854-1931) 1884. április 23. szabadalmi oltalmat kapott a réstúlnyomásos turbina terveire. Az első gőzturbinája rögtön egy dinamóval összekötve épült, fordulatszáma 18000 f/perc volt és 100 V feszültség mellett 75A áramerősséget hozott létre a dinamóban.



9. ábra. Dinamóval összeszerelt turbina prototípus [5]

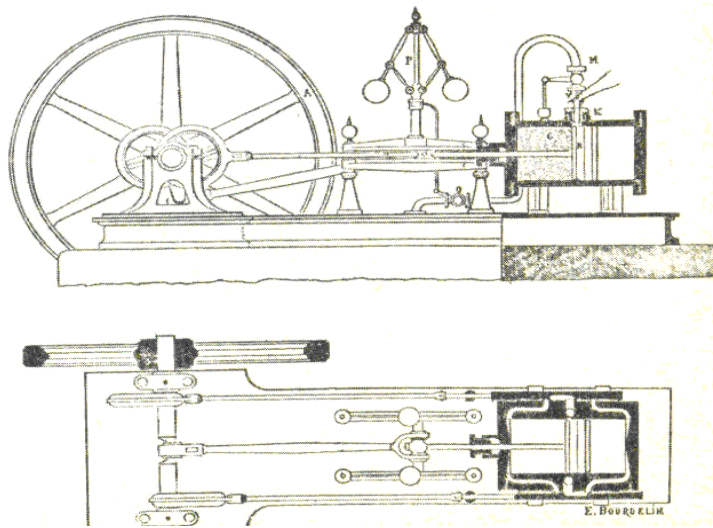
1897. június 21. Spitheadben hadihajó felvonulás volt Viktória királynő 60 éves uralkodásának megünneplése alkalmából. Parsons ekkor mutatta be turbina nevű 30 m hosszú, 44 tonnás hajóját, melyet 1894-ben munkatársaival épített, gőzturbinával felszerelve.

A felvonulást tulajdonképpen megzavarta, mert senki nem hívta meg és nem is tudtak róla. Ekkortájt a Kék Szalag, Atlanti-óceán leggyorsabb hajója címért 37-40 km/óra sebességgel haladó utasszállító és kereskedelmi hajók versenyeztek hagyományos gőzgéphajtással. A felvonuláson résztvevő hajók szintén még a hagyományos gépeket használták, maximum 45-50 km/óra sebességük volt. Parsons belépett az ünneplő hajók közé és elindult a vezérhajó irányába, ekkor elkezdtek üldözni a kor legjobb hadihajói, de mindegyiket lehaladta. Kis idővel később kiderítették ki volt, és az Admirális azonnal pénzt ígért a titokért, mielőtt más kezébe kerülne. 1899-ben már megjelentek az első gőzturbinás hadihajók.



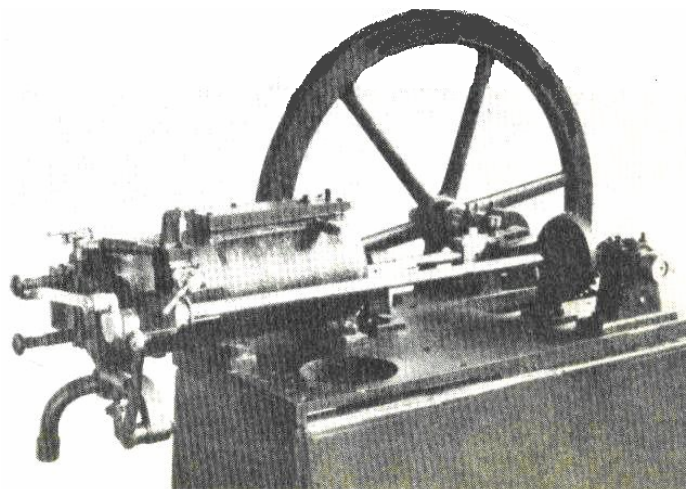
**10. ábra. A turbina, amely a hajót hajtotta,
de itt egy dinamóra szerelt változat sémája látható [5]**

8. Etienne Lenoir (1822-1900) A belga feltaláló egy kettős működésű gőzgépet alakított át, hogy levegőt és városi gázt vezet a hengerbe. Egy 20 %-os henger feltöltés után a forgás periódusának megfelelően a holtpontra elhagyó dugattyú előtt egy Ruhmkorff-féle szikrainduktorral robbantja fel a keveréket. Az így kialakuló nyomás hátra löki a dugattyút és ez a másik hengertérben is ugyanígy lejátszódik. Így a forgás folytonossá válik, a gép működik. Ez a kísérlet 1852-ben történt. Megszülettek a belső égésű hőerőgépek első példányai, és nincs szükség kazánra, gőzre. 1861-ben megkezdték a gyártását.



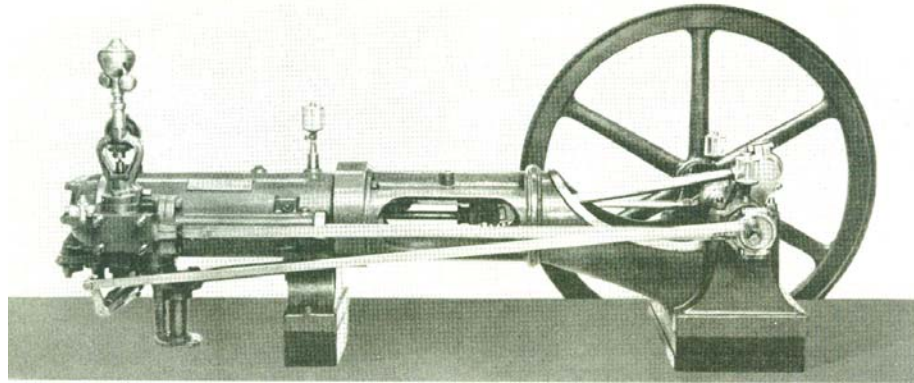
11. ábra. A Lenoir gázmotor [5]

9. August Nicolaus Otto (1832-1891) német gyarmatáru cég ügynöke és érdeklődő önjelölt kutató. 1861 után beszerezett egy Lenoir-féle motort, kísérletezett a gyújtásindítással, és a gáz adagolás szabályozásával. Később atmoszférikus nyomású görög oszlopfőre emlékeztető motort szerkesztett. Ez keltette fel Eugene Lagen német mérnök-vállalkozó figyelmét és ketten újból a Lenoir-féle 2x2 ütemű motort tanulmányozták és 1876 június 5-én szabadalmat adtak be. A „Csendes Otto” nevű motor terveivel, ezzel elkészült az első négyütemű motor. 1877. augusztus 4-én szabadalmi oltalmat kap. Az első példányok 500 kg-osak és csak 2,2 kW-os teljesítményűek. Manapság egy 500 kg-os négyütemű motor 1000 kW feletti teljesítménnyel rendelkezik.



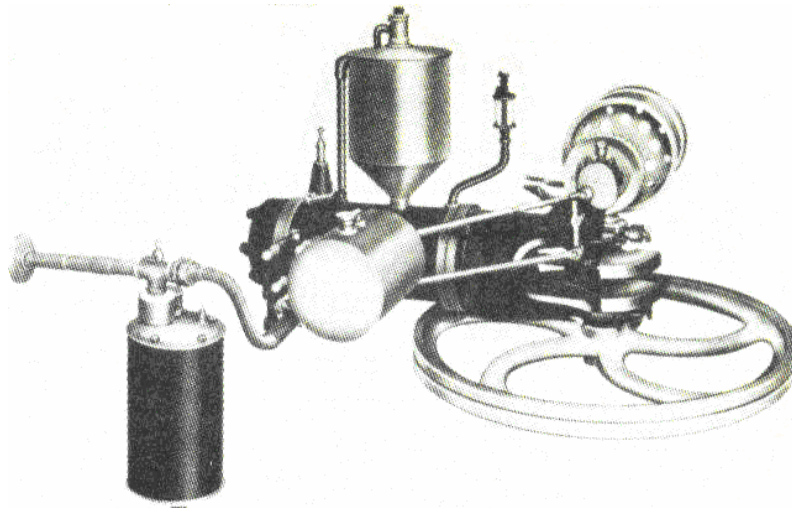
12. ábra. Otto-Lagen féle motor [5]

10. Karl Benz (1844-1929) német géplakatos, magányos feltaláló. Ismerte az Otto-féle motort és az igen tekintélyes méreteit is. A motor felgyorsítására gondolt. 1878-ban megépítette a mai kétütemű motorok elődjét, de csak 1879-ben kezdett működni az igen precíz alkotás.



13. ábra. Első kísérleti kétütemű motor [5]

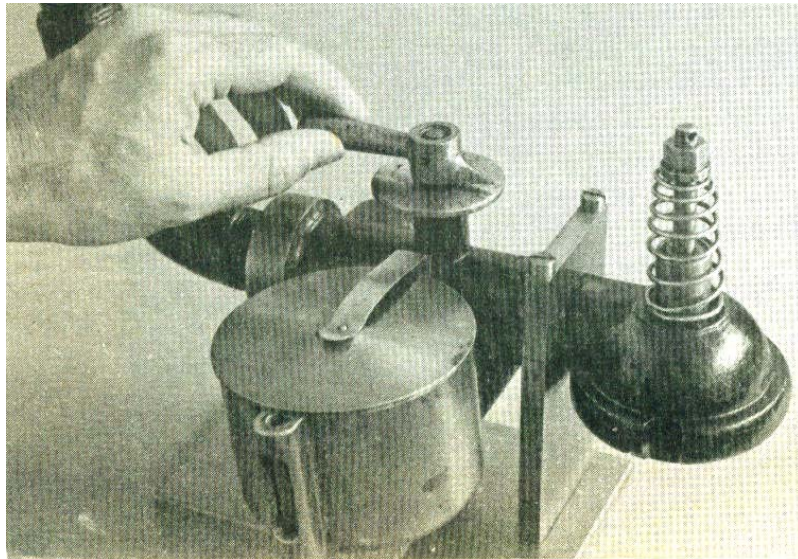
Később Benz elkezdett egy négyütemű motort is tervezni, ugyanakkor azon dolgozott Gottlieb Daimler is. Mivel közel azonos gépszerkezetet terveztek, amely a mai négyüteműek teljes konstrukcióját már tartalmazta, vita alakult ki. Később a szabadalmukat elfogadták és a verseny a járműbe szerelhető változat kifejlesztésére tevődött át.



14. ábra. Benz-gépkocsi motor (108kg, 0,64kW) [5]

11. Nagy előrelépést jelentett Bánki Donát (1859-1922) és Csonka János (1852-1939) találmánya. 1893. február 11. szabadalom beadása a világ első porlasztójára.

Ezek után a 0,01 kW/kg teljesítmény-súly viszonyú gépek majdnem két nagyságrendet javultak 60 év alatt. Jelen korunkban az injektor kezdi háttérbe szorítani a porlasztó jelentőségét az 500 cm³ feletti motorok esetében.



15. ábra. A Csomka-Bánki-féle porlasztó [5]

12. Diesel Motor: Rudolf Diesel (1858-1913)

Hőtani folyamatokat tanulmányozott, hogy miként lehetne nagyobb hatásfokú és stabilabb gyújtású gépeket előállítani. 1893-ban megalkotta a kompresszió gyújtású belső égésű hőerőgépet. Ez a szerkezet egy zömök gőzgéphez hasonlított lassú forgással és négyütemű működéssel rendelkezett. Mivel még az akkori technológia nem ismerte fel, hogy a fűtésre használt olajt ebben a gépben fel lehet használni, ezért az első ilyen motor mogyoró olajjal működött.

Gyakorlatilag a bio - diesel megoldás hamarabb létezik, mint a gázolajos, de az akkori kor a növényi olajjal való működtetést még nem tekintette jelentősnek. Viszont egy pár év múlva igen elterjedt lett ez a motortípus és a gázolajt, fűtőolajt fel lehetett használni forgási energia ellátásra. A későbbiekben a hajók és tehergépjárművek meghatározó energiaforrása lett.

13. Gázturbina

Az első gázturbinákat Angliában építették a II. világháború idején. Először kísérleti jelleggel. Sokan úgy gondolták, hogy a repülőgépeken történő alkalmazásuk nem lesz jó, pedig pont ezzel a céllal kezdtek foglalkozni velük. Az elvek már régóta megvoltak, 1892-ben **Kuminszkij** ötlete volt.

Mivel, hogy a gőzgépbe vezetett éghető gáz és levegő keveréke működteti a gépet, és így alkotta meg Lenoir a belső égésű motorokat. Ugyan így lehetne egy turbina kereket is forgásra bírni levegő és éghető gáz hatásával.

Az első sikeres kísérletek 1940-ben kezdődtek, melyeket repülőgépek hajtóműveként akartak elsődlegesen alkalmazni. Sokan úgy vélték, hogy a saját tömegét sem bírja el, nem hogy a repülőgépet.

A kísérleti eredmények azonban igen jól sikerültek, 1941-ben már repült gázturbinás gép, de igen rövid élettartamuk volt ezeknek a hajtóműveknek, kb. 20-25 óra és ezek mellett nem voltak megbízhatóak. Többnyire a szerkezeti elemek és a konstrukció hibájából gyakori volt a meghibásodás. Menet közben ezért csak stabil nagy szárnyakt alkalmaztak az első repülőgépeken, melyek segítik a siklást motorleálláskor. Ez a szárny azonban nem teszi lehetővé a nagy sebességek elviselését.

Azonban mindezek mellett igen nagy jelentőséggel bírt a későbbiekben, mert a jelenkori polgári és katonai repülés szinte csak gázturbinás hajtóművekkel dolgozik, de a légsaváros hajtású benzines repülőök még mindig elterjedtek.

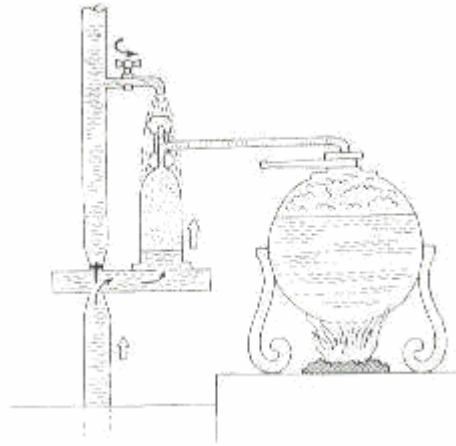
1.3. Hőerőgépek egyes fajtáinak tájékoztató jellegű leírása

1.3.1. A közvetlen kondenzációs gépek

A legelső hőerőgépek közvetlen kondenzációs elven működtek, alapját Thomas Savery kapitány fektette le, először vízemelő gépeket működtettek vele. Ezekben a gépekben nem volt fémdugattyú, hanem hengerében a vízoszlop mozgott fel-le, viszonylag lassan. A vízoszlop lefele mozgásakor gőzt engedtek a hengerbe, ez a vizet olyan magasságig nyomta, amely annak a vízoszlopnak a magasságával egyezik meg, aminek a hidrosztatikai nyomása egyenlő a gőznyomással.

A munkahengerben lévő gőzt hűtéssel csapatták le, kondenzálták be, ez később belevegyült az emelendő vízbe. A szívómélységet az határozta meg, hogy a bekondenzálódó gőznek a hőmérséklete mekkora maradt a hűtés után, így kiszámolható, hogy 20Celsius fokos hőmérsékletre való hűtés esetén a telített vízgőz parciális nyomása 2,333 kPa, a légköri nyomás viszont 101 kPa és ez kb. 9 és fél méter mélyről való felszívást eredményez.

A légköri nyomás hatására ugyanis megtöltődik a munkahenger vízzel. Ez a berendezés ezért csak vízszivattyúzásra volt alkalmazható. Ezt a vízszivattyúzást bányákban végezték.



16. ábra A Savery –féle bányaszivattyú [5]

A közvetlen kondenzációs gépek másik családja, ahol már fémdugattyú helyezkedik el a hengerben pl.: a Newcomen típusú gőzgépeknél. Egy mérlegszerű billenő rúdon (himbán) a munkagép az egyik oldalon, a szivattyú a másik oldalon helyezkedett el, a szivattyút a bánya mélyére helyezték, mert ennek a gépnek is a fő alkalmazási területe a bányavíz elszivattyúzása volt. A szivattyút a himbával egy hosszú rúd kötötte össze, amely 50 méter is lehetett. Tehát gyakorlatilag nem szívóhatáson alapult ennek a szivattyúnak a működése, hanem egy nyomós kúthoz hasonlóan felnyomta a vizet a szivattyúban elhelyezkedő bórdugattyú. És mivel egy-egy húzásra körülbelül másfél köbméter vizet emelt ki, ezért a himba túloldalára egy igen erős gépet kellett felszerelni. Ennek a gépnek a kazánja közvetlenül az egyetlen munkahenger alatt helyezkedett el.

A kondenzációt kezdetben itt is a hengerfal hűtésével oldották meg, de mivel a henger körülbelül 10 köbméter térfogatú volt ezért, ennek a gőzmennyiségnek a kondenzáltatása a hengerfal hűtésével igen lassú művelet volt. Így a hengerbe történő vízbefecskendezés segítségével oldották meg a hűtést. Kezdetben kézzel működtették a gőz beeresztést a kazánból és a vízbefecskendezést is, ezt a manuális vezérlést később a himba működésének üteméhez állították és automatikussá vált a folyamat. Ekkor elérhető volt a percenkénti 12 adag víz felhúzása. Mivel itt többnyire a gőz kondenzációját használták arra, hogy a munkagépbe a dugattyút a légnyomás betolja és egyben ez volt a munkavégző ütem, mindig adódtak olyan problémák, hogy a vízbefecskendezés után a hengerfal hideg maradt és mikor újabb gőzfeltöltésre került sor akkor a friss gőz szintén kondenzált, így óriási gőzfogyasztása volt ezeknek a gépeknek.

Sokáig nem gondoltak arra, hogy a külső légnyomás helyett a gőz túlhevítésével előállítható túlnyomást használják a munkadugattyú mozgására.

Az 1700-as évek elején többnyire ezek voltak az elfogadott technikai módszerek. Később James Watt a kondenzátort különválasztotta a munkahengertől első modelljeiben és ekkor nagyobb hatásfok-növekedést ért el. Ezek a kondenzációs gépek még mindig többnyire víz húzó üzemmódra voltak tervezve és a himbát még most sem nélkülözték.

1.3.2. Kettős működésű gőzgép dugattyúval

A gőzgépek között ez a típus igen nagy ipartörténeti karriert futott be és a dolgozat vizsgálati tárgyát is ilyen gép képezi. A gép őseit James Watt alkotta meg, de később mások igen sokféle átalakítást végeztek rajta. Gyakorlatilag a munkadugattyú mindkét oldalát kihasználja az egy fordulat alatt lejátszódó munkaütem.

Az első fél periódusban a gőz nyomást fejt ki a dugattyúra, mely nyomás lehet állandó a teljes fél periódus időtartama alatt, de lehet a gőz beáramlását a fél periódus felére, negyedére vagy nyolcadára korlátozni. Ezen utóbbi esetekben a működési hatásfok növekszik, ugyanis a gőz expanziója is munkát fejt ki, míg az előzőekben említett esetben csak a beáramló gőz állandó nyomása fejt ki munkát, és a terjeszkedés hatása nincs kihasználva. Ezeket, a változatos munkafolyamatokat a vezérlő szelepek körhagyós vezérlése teszi lehetővé. A régebbi korokban excentert használtak a vezérlő szelep mozgására és itt a vezérlő szelep végezte egyben a gőz beeresztését és a dugattyú túlsó felén elhelyezkedő, már munkát végzett fáradt gőz kiengedését. A viszonylag később megjelenő típusoknál ezek külön vannak választva. Ilyen az általunk vizsgált gép is, de ennek működéséről az 2. fejezetben lesz szó.

Tehát röviden, ha összefoglaljuk a működést, akkor egy fél periódusban a henger egyik felét nyomja a gőz, e közben a másik egyre jobban szűkülő hengerürből ürül a gőz, a két tér részt a dugattyú választja el. A következő fél periódusban viszont a másik oldalon áramlik be a gőz, és így lejátszódik egy teljes fordulat. Ennek a géptípusnak ezért két holtpontja van, mégpedig a hengerben elhelyezkedő dugattyú egyik, illetve másik szélső helyzete.

A holtpont fogalma úgy közelíthető meg, hogy a gépet, ha a holtpontra állítjuk meg, nem képes magától elindulni, csak külső hatás segítségével. Mivel a holtpont helyén nincs munkavégzés, ezért ezeket a gépeket egy átsegítő eszközzel látják el.

Ez az átsegítő egy lendkerék, melynek méretét a gép teljesítményéhez és fordulatszámához igazítva határozzák meg. Itt a méret a lendkerék tehetetlenségi nyomatékát jelenti. A dugattyú és a hajtókar meg a lendkerék egy rendszert alkot és viszonylag igen bonyolult számítások szükségesek ahhoz, hogy egy-egy gőznyomás értéknél milyen fordulatszám lesz a meghatározó.

Az egyes meghatározó fordulatszámok a gép „saját rezgései”, bár a saját rezgés kifejezés ebben az esetben nem túl helyes, mert a rezgés-periódus ideje erősen függ a gőz nyomásától és több helyen is előfordul a fordulatszám növekedésével, a saját rezgések megjelenése, tehát több ilyen saját frekvencia elképzelhető, míg egy egyszerű rugó és tömegrendszerben többnyire egy saját frekvencia van. A gép saját frekvenciáján való működtetése lehetőséget ad a teljesítmény maximalizálására, de erről a 9. fejezetben lesz részletesen szó.

A kettős működésű dugattyús gőzgépek jellemzésénél mindig célszerű megemlíteni a működés profilját, előnyeit és alkalmazási területét. Mivel a gép lendkereke igen terjedelmes és az egész eszköz súlya is nagy, ezért ezeket a gépeket munkagépeknek használták és ezen az alkalmazási területen kiváló tulajdonságokkal rendelkezik ez a típus. A berendezés sajátossága, hogy viszonylag alacsony a fordulatszáma és nagy a nyomatéka, ezért nem szükséges sebességváltómű beépítése olyan fordulatok ellátásához, ahol nagy nyomatékot kell kifejteni, de az eszköznek viszonylag alacsony sebesség elég a haladáshoz. Ezek a munkagépek traktorok, daruk, exkavátorok, úthengerek, dózerek.



17. ábra. Az eszközök ilyen géphez hasonlítottak [6]

A diesel ütemű motorok elterjedése előtt csak és kizárólag ilyen kettős működésű gőzgépeket építettek a munkagépekbe. Másik alkalmazási terület volt a mozdonyok hajtása, mely 1904-től Richard Trevithick ötletétől 1825-ig Robert Stephenson munkásságáig csak kísérleti jelleggel használták, később majdnem 150 évig meghatározó maradt. A gőzmozdony használata igen korszakalkotó jelentőségű volt, és a kettős működésű gőzgépet ezért sokan tökéletesítették. A harmadik alkalmazási terület a légsűrítő kompresszorok és nagy nyomású vízhálózat szivattyúinak meghajtása az 1800-as években. Az évek során kb. 25-30 féle különböző elrendezést fejlesztettek ki, mely a műszaki élet más-más területein voltak használatban.

1.3.3. A gép hőtani folyamatai

Ha a géphez használunk kondenzátort, akkor zárjuk a körfolyamatot és így a folyamatban résztvevő vizet mindig visszanyerjük. Azonban sokszor alkalmazták ezt az elrendezést, amikor csak a kazán és a munkát végző gép volt megépítve a kondenzátor rész nem, ekkor a gőzt a szabadba, vagyis a környezetbe vezették ki. Ez utóbbi elrendezést a mozdonyok és föld-munkagépek működtetésénél használták. Ilyenkor általában számolni kell kazánkőképződéssel is. Ennek a fél-körfolyamatnak és az elsőnek említett teljes körfolyamatnak a hatásfoka általában megegyezik.

A kondenzátoros elrendezés mindig olyan helyen volt használatos, ahol a hő veszteséget használni akarták fűtésre és vízmelegítésre, ugyanakkor nem mobil egységek voltak ezek, mert a víz visszacsapató kondenzátornak igen nagy helyigénye van. Tehát az ipari létesítmények, erőművek többnyire visszanyerték a körfolyamat során a vizet és így cselekszenek a mai napig is, de ma már turbina van gőzgép helyett, míg a mobil létesítmények a környezetbe vezetik el az elfáradt gőzt, és a vizet mindig pótolják a kazánban.

A körfolyamat első lépésben a folyékony víz, körülbelül szoba hőmérsékleten belép a kazánba. A nyomása a kazán üzemi nyomásával egyezik meg. Ezt egy tápvíz pumpa végzi. A kazán alsó csőhálózatában a víz felmelegszik az adott nyomáshoz tartozó forráspontig, pl.: ha az üzemi nyomás 15 bar, akkor 200 °C-ra. Ezek után a víz elforr és 15bar nyomású gőz lesz belőle, ez telített vízgőz. Ha ezt vezetjük a gépbe, akkor gőzként viselkedik és a munka végzése során már folyékony fázis is megjelenik a hengerben, ez sokszor lassítja a gép forgását, ezért alkalmaztak túlhevítőt, ami telítetlen gőzt vagy „vízgázt” eredményez.

A túlhevítés során $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölé emelik a hőmérsékletet, ez vízgázszerűen viselkedik, mert $374,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett a víz túl van a kritikus hőmérsékleten, és itt nem jelenik meg folyadék fázis. Jelen korunkban csak túlhevített gőzt használnak az erőművekben. Gyakorlatilag az első részfolyamat a kazánban zajlik. A folyadékból gőz, túlhevítés esetén „gáz” lesz. Ezek a légnemű anyagok persze nem ideális gázok, tehát a munkavégzés részfolyamatában mindig politropikus folyamathoz hasonló fog játszódni.

A munkavégzés részfolyamata – ez a második folyamat – amikor a gőz belép a munkahengerbe. Ilyenkor két megvalósulási eset lehetséges. Az egyik, ha a gőz a teljes fél periódus idején áramlik a munkahengerbe, ekkor a gőz hűlése a kazánban játszódik le, tehát visszahatás történik a kazán felé. Mivel ott hőtermelés folyik, ezért a lehűlő gőz visszanyeri a hőmennyiségét és gyakorlatilag a hőmérséklet igen kicsit fog változni. Igen finom hőmérővel a kazán gőz- csőhálózatban periodikus 1-2 tized fokos ingadozás kimutatható lenne, mely ingadozás a henger periodikus gőz feltöltődésével azonos időbeni lefutású. De ekkor igen kis hatásfok érhető el.

Jobb hatásfok akkor valósítható meg, ha ebben a második részfolyamatban hagyjuk a gőzt terjeszkedni a hengerben, vagyis a fél periódus negyed részéig töltődik be a gőz, majd a szelepek lezárnak, és a fél periódus végéig tágul a gőz. Az állapotváltozás ekkor közel politrop, majd a gőz távozik a szabadba, és nem záródik a körfolyamat a szó szoros értelmében. De úgy is mondhatjuk, hogy a természetben záródik, mert ott úgy is kihűl és víz lesz belőle, ami beépül a földi vízháztartásba, ahonnan a betápláló vizet is nyerjük a géphez.

Azonban, ha zárjuk a körfolyamatot, ott kondenzáció játszódik le és a gőz vízzé alakul. Ezt a vizet később a vízpumpa ismét a kazánba nyomja vissza. Gyakorlatilag a gőzgép körfolyamatában mindig fázis átalakulás megy végbe, ezért nem lehet a működésüket a gázok állapotváltozás-görbéivel szemléltetni, csak többnyire a munkavégzés részfolyamatát. Ezért szemléletesebb az az elgondolás, hogy a víz folyékony állapotból gőzzé való átalakulásakor igen nagy térfogat növekedés játszódik le, ez normál nyomáson kb. 1500 szoros növekedés. Ha ezt nem normál nyomáson vizsgáljuk, hanem mondjuk 10 bar-t feltételezve, akkor a $P_1V=P_2V_2$ egyenlet értelmében 150- szoros térfogat növekedés, de a nyomásunk ekkor kb. tízszer nagyobb, mint a légköri nyomás, ami alkalmas arra, hogy munkát végezzen.

A gőzgépek viszonylag rossz hatásfoka annak köszönhető, hogy kicsi a kazán és a fűtő gőz hőmérsékletének különbsége az $\eta=(T_{\text{kazán}} - T_{\text{hűtő}})/T_{\text{kazán}}$ egyenlet itt is érvényes, mint a hőerőgépek hatásfokának maximuma.

De általában még ez a határfok sem érhető el, mert az anyagok tulajdonsága olyan, hogy azok a cseppfolyósítható gázok, vagy maguk a folyadékok, melyeknek elforralásakor viszonylag nagy térfogat adódik, azoknak igen magas a forrás hőjük, pl.: a víznek 15 bar nyomáson 200 °C-on 1940,7 kJ/kg.

Azoknak a folyadékoknak viszont, amelyeknek alacsony a párolgási hője, mint az etil-éternek 376,83 kJ/kg, viszonylag kis térfogat növekedése van az elforraláskor. Ezek a mutatók persze szorosan összefüggnek a molekula mérettel. A befektetett hőmennyiség, amit a fázis átalakítás elvégzése érdekében adunk a rendszerhez 90 %-ban a kondenzátorba kerül, és a munkafolyamatban nem vesz részt. Ezért ez hő veszteségként jelenik meg, amely viszont szükséges ahhoz, hogy a körfolyamatot zárni lehessen a vízpumpa segítségével.

Összefoglalva elmondható a gőzgépek körfolyamatáról, hogy a munkavégzéshez mindig térfogat változásra van szükség, vagyis jelen esetben kis térfogatú folyadékból nagy térfogatú gőz képződik. Ez tovább tágulva munkát végez, majd hűtve cseppfolyós lesz kisebb nyomáson, ezt visszapumpálva újból készen áll a gőzzé alakulásra. A gép működésének lényege abban nyilvánul meg, hogy pl.: 1 kg kazánba pumpált víz 10 bar nyomáson 150-szer kisebb munkavégzésbe kerül, mint az ebből létrejövő, gőz által végzett munka. Így a gép tud működni, de persze fűteni kell a kazánt.

1.3.4. A gőzmotor

Működése gyakorlatilag teljesen megegyezik a gőzgépével, ami a kalorikus folyamatokat illeti. A kettős működésű gőzgéptől szerkezetében és működési profiljában viszont eltérések vannak. Mivel az 1880-as évektől az elektromos világítás kezdett teret nyerni, ezért erőművek és villanytelepek létesültek, ahol generátorokat kellett forgatni, és ezek nagyobb fordulatszámot igényeltek. Míg a gőzgépek fordulatszáma 60 fordulat/perctől 800 fordulat/percig terjedt, addig a gőzmotoroké 100-tól 5000-ig, de a forgatónyomatékuk sokkal kisebb.

A megjelenő új villamos generátorok még nem háromfázisú rendszerek voltak, hanem dinamók, vagy sokfázisú, öngerjesztés elven működő tekercsek, melyeket Jedlik Ányos később Henry Wilde alkalmazott a gyakorlatban. A fordulatszám igény kb. 30 fordulat/sec volt, ami 1800 fordulat/percnek felel meg.

Ennél a fordultnál már egy kettős működésű gőzgépnek gyorsító fogaskerék rendszere van szüksége, amely rontja az átviteli hatásfokot. Ezért egy olyan gépet fejlesztettek ki a gőzgépből, amit közvetlenül egy tengellyel lehet csatlakoztatni a generátorhoz. Így több angol és német üzem mérnökei kifejlesztették az egyes gőzmotor típusokat. Az évek során kb. 30 féle elrendezést, szabadalmaztattak, de a működésük főbb jellemvonása mindig közös.

A gőzmotorral végzett körfolyamat ugyan azonos a gőzgép működésénél említettekkel, de itt a hengerben mozgó dugattyúnak csak az egyik oldalát éri a gőz, a másik oldal mindig légköri nyomáson van, vagy gyenge vákuumban. A gyakorlatban nem használják a teljes hengerű kitöltést, hanem mindig expandál, vagyis tágul a gőz a munkatérben, ezért jobb a hatásfoka. Mivel csak az egyik térperiódusban történik munkavégzés, ezért ha csak egy hengeres a gép akkor, nem holtpontja, hanem holtperiódusa van. Ezt egy terjedelmes lendkerékkel vagy több elemi gépegység soros kapcsolásával lehet kiküszöbölni.

A megvalósított berendezések ezért lehetnek boxer, 3-as csillag, soros és V struktúrájúak, mint a későbbiekben a benzinmotoroknál. Ha körhagyós vezérlést választunk, akkor az előbb említett elrendezésekben a körhagyók egyes hengerekhez tartozó vezérlő szárait 120 fokos szögben elfordítva elérhető, hogy ne legyen holtpont a gépegységben. Ehhez legalább három hengeresnek kell lennie a gépnek, de lehet ettől több is, pl.: 90 fokos elforgatásnál már négy henger üzemelhet négy vezérlővel és egy körhagyóval. Ha a vezérlő szelep egyben a fáradt gőz kieresztését is végzi, akkor viszonylag lassú járású gépet kapunk, még ha két külön vezérlőre van osztva a gőz be- és kieresztése, akkor az üzemi fordulatszám felgyorsul és több hengeres változatoknál a holt periódus és holtpont kiesése miatt nincs szükség lendkerékre vagy, ha mégis felszerelik, akkor a forgatónyomaték pufferoló hatása a cél. A gőzmotoroknál ezért legtöbb esetben nincs, vagy csak egy kitüntetett saját frekvencia fordulhat elő.

A gőzmotor nem sokáig volt meghatározó, mert az 50 Hz-es hálózatban, és háromfázisú generátorok megjelenésével állandó 3000 fordulat/perces fordulatra volt szükség. Erre a célra jobb gépnek bizonyult a gőzturbina. Ezekről a későbbiekben lesz szó. A közlekedésben szintén nem terjedt el, mert a mozdonyok nyomaték igénye ettől nagyobb volt. Az éppen megjelenő személyi járművek viszont biztonságtechnikai okok miatt nem részesítették előnyben a kazánt a járművön, ezért a közlekedésben a belső égésű motorok jelentek meg.

1.3.5. Benzin üzemű motor

Régebben benzin helyett városi gáz (CO és H₂) volt az üzemanyaguk a kísérleti Lenoir féle gépeknek, melyeket gőzgépek átalakításával építettek. A gáz-levegő keveréket Ruhmkoff féle szikrainduktórral gyújtották be a holtpont közelében és szintén a kettős működésű gőzgépek voltak alkalmasak erre a célra az 1860-as évek elején. A Lenoir féle gépek körfolyamata gyakorlatilag egyezik a többi belső égésű dugattyús gép körfolyamatával, azzal a kis eltéréssel, hogy benzingőz helyett gáz a tüzelőanyag.

A körfolyamat szintén csonka folyamat, mert a záródása a környezetben zajlik le. A folyamat nulladik részfolyamata a levegő beszívása, ekkor nincs nyomás, hőmérséklet és térfogat változása a beszívott levegőnek. Majd a szívószelep lezár, egy politrop sűrítés zajlik le, majd a szikra begyújtja a levegő-gáz keveréket és izochor felmelegedés zajlik le. A légnemű keverék ekkor más izotermákra kerül, majd expanzió lép fel. A harmadik részfolyamat a tágulás (expanzió) szintén politrop folyamat, méghozzá igen nagy a hőátadás a légnemű munkaközeg és a hengerfal között. A negyedik részfolyamat a légnemű munkaközeg kijutása a környezetbe, és ott lehűlés zajlik le izobár módon. (A műszaki ütemek ábrái a mellékletben találhatóak 1. mellélet kép)

Valójában a Lenoir motor egy négyütemű motor, beszívás, sűrítés, robbanás és expanzió, kipufogás, műszaki folyamatok különíthetők el. A termodinamikai folyamatok politrop sűrítés, izochor robbanás, politrop expanzió, izobár kihűlés.

- Igen fontos különbség a (gőzgépek, gőzmotorok és turbinák, vagyis) külső égésű gépek és belső égésűek (pl. benzinmotor) között, hogy míg a gőzüzemű gépek valamely folyadékot vagy magasabb hőmérsékleten párolgó anyagot használnak munkaközegként és egyben külső kazánban, állítják elő a gőzt, addig a belső égésű motorok és gázturbinák a légkör nitrogén tartalmát használják munkaközegként és a légköri oxigén segítségével, égetik el a fűtőanyagot egy belső hengerűrben vagy égéstérben.

A benzinmotorok három nagy kategóriája a dugattyús kétütemű és négyütemű, majd a forgó dugattyús Wankel-motor megjelenésével vált teljessé. A dugattyús négyütemű motor mely, ha normál szívórendszerben áll, akkor a körfolyamatai teljesen megegyeznek a Lenoir-féle motorral. A különbség az, hogy a Lenoir-motor kettős működésű gőzgép jellegű, míg a normál szívó- négyütemű a modern kivitelben inkább a gőzmotor elrendezéséhez hasonlít, tehát a dugattyúnak csak az egyik felét éri a munkaközeg nyomása.

A négyütemű motor kapcsolható soros, csillag, V vagy boxer alakban, mint a gőzmotorok, de itt, ha nincs is holtpontja egy erősebb terhelés következtében, mégis megáll a motor, tehát egyszerű megfogalmazással „lefullad”. Ez minden belső égésű dugattyús motorra igaz, mert a gőzmotornál a nyomás alatt álló gőz még ki nem hűl, addig erőt fejt ki a dugattyúra. Míg a belső égésű motornál ez a nyomás az igen gyors hengerfal közti kalorikus hő kapcsolat miatt gyors hűlést ad, gyakorlatilag tized másodperc alatt lecsökken az üzemi nyomás.

A gyors kalorikus hő kapcsolat detonációs hőmérséklet nagysága miatt jelentős, mert a detonáció pillanatában 2500°C és 25 bar nyomás lép fel. Ez a kipufogás idején már csak $400\text{-}500^{\circ}\text{C}$ és 1-2 bar. A kalorikus hatásfok a fejezet végén kerül ismertetésre. [7]

Mivel a hengerűrben igen gyors a lehűlés, ezért bizonyos fordulatszámok alatt nem működhet egy ilyen motor, de ez a kétütemű és a Wankel-motorra is igaz, sőt a diesel motorra is. Minél nagyobb a hengerűr, amit cm^3 -ben mérünk, annál lassabb járású a motor és annál alacsonyabb a maximálisan elérhető fordulatszám is. Ezek a fordulatszámok nagy átlagban sok motort vizsgálva 600 f/perctől 20000 f/percig terjed. Az előbbi egy 10000 cm^3 -s motor, míg az utóbb egy 1 cm^3 -s motor esetében igaz.

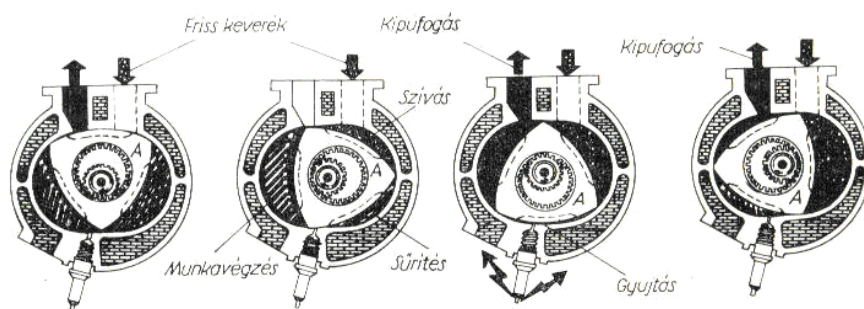
- A kétütemű benzinmotorok később jelentek meg, mint a négyüteműek. Kifejlesztésük indoka az adott motortömeghez tartozó nagyobb teljesítmény elérése volt. Az igen jó teljesítmény-súly viszonyt (amit kW/kg-ban adunk meg) az ütemek összevonásával sikerült elérni, vagyis a munkaközeg levegő benzingőz keverék beszívása és sűrítése egy ütemben játszódik le és a robbanás-expandálás a sűrítéssel egy időben, játszódik le. Ennek a motornak két részre van osztva a motorblokkja, a henger alatti forgattyútér ugyanis nem olajteknőben helyezkedik el, mint a négyüteműeknél, hanem egy zárt tér, ahol a lefelé mozgó dugattyú besűríti a munkaközeget és a sűrítés végén az éppen felfelé induló dugattyú pozíciójában a dugattyú feletti térbe áramlik. Ez az átáramló rés szemben áll a kipufogó réssel, így az átáramlás a dugattyú feletti teret átöblíti. Mivel a kétütemű motorban nincsenek szelepek, ezért a nagy teljesítményt a két ciklus összevonódásával éri el.

Míg a négyüteműekben minden második teljes fordulatban történik (expanzió) munkavégzés, addig a kétütemű motor minden egyes teljes fordulatában van munkavégzés. Gyakorlatilag egy 1kg tömegű négyütemű motor fele olyan teljesítményű, mint egy 1 kg-os kétütemű.

Általában feltevődik a kérdés, hogy a kétütemű motorok miért rosszabb hatásfokúak, mint a négyüteműek, mikor ugyan olyan körfolyamatot végeznek? A kérdésre a válasz bonyolult, mert a kétütemű gépek az átöblítés pillanatában igen sok elégetetlen üzemanyagot juttatnak ki a kipufogócsőbe. Ez tulajdonképpen a magyarázata annak a jelenségnek is, hogy a kétütemű jármű kipufogócsöve mindig olajos és koszos. Ilyen indokkal turbófeltöltőt csak a szelepes négyüteműekre lehet szerelni, és ugyanez a magyarázata a kétüteműek katalizátor felszerelésének hiányára is. Bár katalizátor felszerelést csak négyütemű gépeken végeznek, azon motorok sem lehetnek normál szívó motorok, mert a katalizátor csak a sztöchiometrikus benzin levegő keveréknél működik jól ez (1: 14,6 → benzin : levegő). Ezt az arányt injektor állítja be a modern motor rendszereknél.

A kétüteműek általában soros építésben épülnek, vagy magányosan állnak, nyomatékuk kisebb, mint a négyüteműeknél, fordulatszámuk nagyobb. Ezt a karaktert a későbbiekben négyütemű motorok forgószelepes változatával próbálták elérni, hogy egyesítsék a négyüteműek és kétüteműek jó tulajdonságait, többnyire verseny-motorkerékpárokból.

- A Wankel motor



18. ábra. A Wankel - motor műszaki ütemei [5]

Ebben a motorban nincs henger, sem hagyományos értelemben vett dugattyú. A benne elhelyezett forgó dugattyú három részre osztja az ellipszishez hasonló kosárgörbe keresztmetszetű dugattyú teret. A dugattyú tér közepén egy tengely halad keresztül, mely kívülről fogazott. Ezt a tengelyt a belülről fogazott, közel háromszög alakú dugattyú veszi körül úgy, hogy csak a tengely dugattyú fogazott 3-4 fog kapcsolatban áll egymással.

Mivel a háromszög dugattyú kb. 15 fokból álló belső pereme kapcsolatban áll a 8 fogú tengellyel, ebből az következik, hogy kapcsolatuk nem kényszer.

A dugattyú súlypontja ezért ellipszis pályán mozog a tengely körül, miközben minden harmadik tengely körüli fordulat után egyszer maga a dugattyú is megfordul saját tengelye körül. A körfolyamat szintén megegyezik a dugattyús gépekével, de a négy műszaki ütem alatt lejátszódott folyamatból három ütem mindig egy dugattyú tengely körüli fordulat alatt történik, tehát négyharmad ütemű a működés. Mivel a négy ütem három tengely körüli fordulatot eredményez, ezért ezek a gépek igen nagy fordulatszámok elérésére képesek.

Elterjedését azonban az olajozás máig nehezen megoldott, bonyolult rendszere és a forgó dugattyú gyors kopása gátolja. Viszont igen jó felpörgési karakterisztikája és stabil rázkódásmentes járása van. Hatásfoka eléri a négyütemű motorét, elviseli a turbó feltöltést, katalizátor köthető hozzá és viszonylag kis tömegéhez igen nagy teljesítmény társul.

1.3.6. A diesel motor

Az alapvető tulajdonságai ennek a motortípusnak, hogy eltérően a benzin üzemű motoroktól nem szikra, hanem kompresszió gyújtású. A kompresszió gyújtás művelete abban áll, hogy ez a motor 5-8 bar sűrítés helyett 15-20 bar sűrítést végez és teljesen tiszta levegőt szív be, majd sűríti. Az üzemanyagot, mely gázolaj az összesűrített levegőbe 200 bar nyomáson fecskendez be. Ekkor ez meggyullad és 2000 °C hőmérsékleten ég, majd a nyomás emelkedik 25bar-ról 50-60bar-ra, és az égési hőmérséklet eléri a 2600 °C-t. Mindez a folyamat már a dugattyú lefelé mozgása idején zajlik, tehát az expanziós folyamat elején. Emiatt a diesel motor körfolyamata egy bizonyos ponton eltér a szikragyújtású benzin üzemű motorokétól. Ugyan négy műszaki ütem van itt is (beszívás, sűrítés, robbanás-expanzió, kipufogás), de a robbanás-expanzió folyamata nem csak egy gyors izochor és politrop részből áll, hanem az izochor felmelegedést, egy izobár kiterjedést növekvő hőmérséklettel követ, majd ezek után történik a politrop kiterjedés.

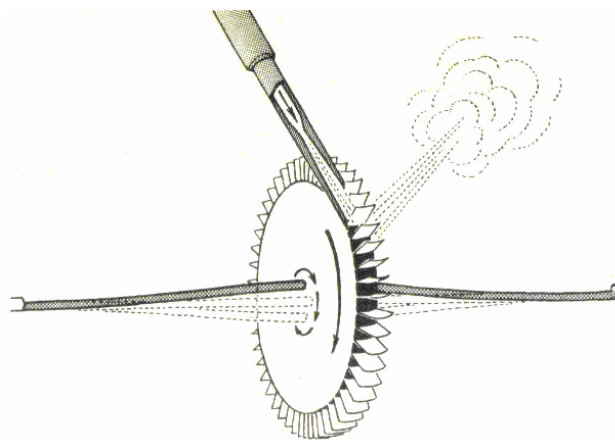
Mivel a sűrítés nagyobb, ezért nagyobb az égési hőmérséklet, ami ráadásul elnyújtott formában lép fel, ezért a kalorikus hatásfok pár százalékkal nagyobb, mint a benzinmotorok esetén.

A súly-teljesítmény arány viszont rossz, ezért vagy nagy tömegű munkagépekbe telepítenek ilyen erőforrást, vagy turbókompresszort használnak elősűrítésre, mely 1-2 bar nyomású levegővel látja el és így a sűrítés 25bar helyett 30bar-ra emelkedik, ami gyorsabb égést eredményez a hengerűrben, és így a fordulatszám növekszik, a nyomaték állandó marad. [7]

Természetesen az elősűrítést a füstgázok viszonylag nagy nyomásával működtetett kis gázturbina energia termelése végzi, mely egy légsűrítő turbinát hajt, ami hasonló a porszívókban elhelyezett lapátkoszorúkhöz. A diesel motor viszonylag nagy nyomatékkal és általában kisebb fordulatszámmal dolgozik, kb. 400-3000 f/perc.

1.3.7. Laval turbina

Létrejöttét annak köszönhetjük, hogy már régen felmerült a kérdés, hogy az igen gyors fordulatszámokat, igénylő munkagépeket hogyan lássák el forgási energiával (pl.: centrifugál szivattyúkat, ventilátorokat, generátorokat). Ez a turbina típus az akciós turbinák közé sorolható, sőt legjellemzőbb képviselője és elődje a meglévő hasonló típusoknak.



19. ábra. Laval- turbina belső szerkezete [5]

A turbina be van tokozva egy rövid csőbe és csak egyetlen koszorúkerékből áll, amit 1-4 db Laval-féle fúvóka 10-60 fokos dőlésszögben a koszorúkerék lapát kiképzésétől függően körbevesz. Ezeken, a fúvókákon átáramlik a gőz a koszorúkerékre és 10-bar nyomású gőz esetén kb. 500 m/s kerületi sebességgel forgatja. Ugyanis a kiáramló gőz sebességének a felét elérő koszorúkerék sebességénél a gép teljesítménye maximális.

Ez a turbina igen kis tömegű a teljesítményéhez képest, kb. 5 kW/kg bar gőzzel való ellátásához igen nagy kazán szükséges.

Mivel nem tartalmaz gyorsan kopó alkatrészeket konstrukciója folytán, ezért 100000 üzemórát is működhet jó méretezésnél. Fordulatszáma 70-100000 f/perc lehet, ezért egy-két fogaskerékből álló osztó művel látták el generátor és szivattyú hajtás esetén. Az osztómű viszont a géprendszer gyenge pontja, amely gyorsan kopik, ennél a fordulatszámnál, ezért ez a turbina típus igazából nem terjedt el.

1.3.8. Parsons turbina

Ez a turbina típus a ma használatos gőzturbinák alapja. A technika történet folyamán nem sokat változott csak igen kis tökéletesítésen ment át, melyre a mai erőművekben történő alkalmazás során az 1-2 %-os hatásfoknövelésre volt szükség. Mérete a teljesítményhez képest kicsi, de viszont igen merev, nehéz ellenálló szerkezeti elemekből áll. A súlyteljesítmény viszonya mindezek mellett igen jó, átlagosan 1 kW/kg.

Fordulatszáma alacsonyabb, mint a Laval-féle turbina koszorúé, kb. 30-60 ezer f/perc és a nyomatéka 2 vagy 3-szor nagyobb, ezért igen elterjedt az erőműi használata.

Maximális teljesítményét a maximális fordulatszámok 2/3-ánál éri el. Ennek a turbinának a másik neve a réstűlnyomásos turbina.

A réstűlnyomás elve abban áll, hogy minél gyorsabban pörög a turbina, annál nagyobb a gőz áramlási ellenállása a gépezetben. Tehát a rendszer annál gyorsabban forog, minél nagyobb nyomású gőz éri, de annál nagyobb ellennyomást fejt ki az őt mozgató gőzre, ezért a gőz nyomásával igen jól szabályozható. Azonban nemcsak az erőművekben, hanem a diesel motor előtt a hajókban volt elterjedve. Később az atom-meghajtású hajók és tengeralattjárók motorja lett.

Az alapmodell áramlási tere a lapátokkal együtt egyre jobban kisebbedik a gőz áramlási irányával egyező irányba. Gyakorlatilag egy fúvókára emlékeztet a hosszmeteszete, melyen egy tengely halad át, amin mozgó turbina kereknek vannak, és ezt a külső tokból belógó álló terelő turbinák veszik körül.

A forgást a mozgó turbinákra gyakorolt nyomás és sebességből fakadó erő adja, így a Laval fúvókákhoz hasonlóan az áthaladó gőz nyomásesést szenved, míg a sebessége növekszik. A nyomásban tárolt energia itt viszont nem alakul át teljesen sebességi energiává, mint egy sima fúvókánál, hanem nagy része forgatja a turbinát. A kiáramló gőz igen „szelíden” jön ki, de még meghajthat egy kisebb teljesítményű Laval-féle turbinát.

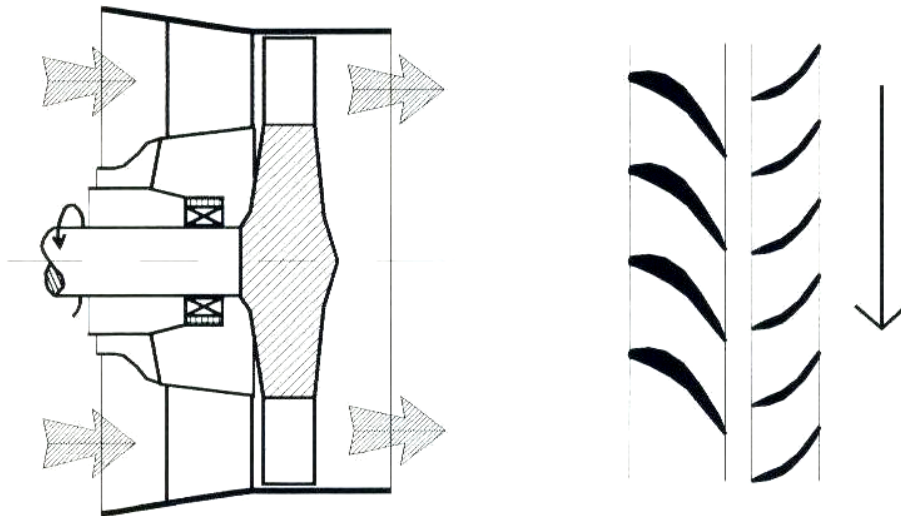
A modern turbinákban ezért egyesítik a kétféle eszközt és így összetett gép hozható létre. Ez igen jó hatásfokú és adott gőznyomás esetén teljesen állandó fordulatszámmal és nyomatékkal rendelkezik.

1.3.9. Gázturbina

A Parsons turbinának egyfajta alkalmazása a belső égésű konstrukcióra, tehát itt nincs gőzkazán, hanem a beszívott levegő a munkaközeg. Ugyanakkor tartalmazza a Laval turbina alapelveit is.

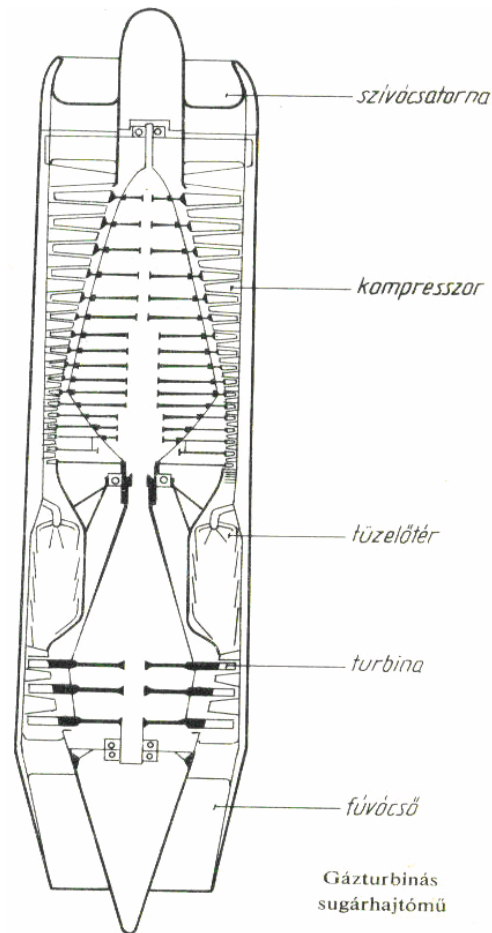
A hasonlóság a Parsons-féle turbinához abban áll, hogy vannak álló és mozgó turbina lapátok viszonylag nagy számban. Eltérés, hogy a munkatér hosszmeteszete nem egyre szűkül, hanem bővül, egyre nagyobb lapátokat tartalmazva.

A Laval-turbinához abban hasonlít, hogy a munkaközeg oldalról ívesen csapódik a lapát kerekre és a nagy sebességgel áramló közeg akció-reakció erejét használják ki, nem a nyomás esést.



20. ábra. A munkaturbina hosszmeteszete [9]

Gyakorlatilag csak részben működik benne a réstúlnyomás elve és részben az akció-reakció hatás. A gázturbina gép, ha repülőgépet hajt közvetlen, akkor csak a gázgenerátor rész van jelen, mely egy turbinás kompresszorból, égéstérből, szűkítő részből és az előbb említett munkaturbina részből áll.



21. ábra. Gázturbinás sugárhajtómű [8]

A működés folyamat: első lépésben – ezek nem műszaki ütemek, mint a dugattyús belső égésűeknél – a turbinás kompresszor összesűríti a levegőt politrop módon. Ez a turbina Parsons turbina, tehát szűkülő hosszmetsetet mutat, de ez nem munkát végez, hanem forgatni kell, hogy besűrítse a levegőt kb. 3bar-ra. Ezek után a levegő az égéstérbe jut, ahol azt kívülről hűti – mert itt nincs üzemi hűtő. Az égéstérbe kívülről, lyukakon át jut be, ahol üzemanyag befecskendezés van és állandó tűz ég (nincs robbanás) és nyomása nem változik, az égés izobár módon megy végbe. Majd kívülről a munkaközeg által hűtött szűkülő részbe jut, itt 3bar-ról 0,5bar-ra csökken a nyomás politrop folyamattal, és sebessége 100 m/s-ról 1000 m/s-ra növekszik, hőmérséklete 2700 °C-ról 700 °C-ra süllyed. A nagy sebességű gáz beleütözik a lapátkerekbe, és megforgatja őket, ami a légsűrítő kompresszort hajtja. Majd a meleg munkaközeg távozik a környezetbe, és izobár módon kihül.[9]

Ha után égetés van, akkor még nem engedik a szabadba távozni a munkaközeget, mert kb. 6 % oxigént még tartalmaz, ezt egy után égető tartályban egy újabb izobár felmelegítés alá vetik, és fűvókán keresztül politrop folyamattal kivezetik a szabadba. Ekkor az 1000m/s-ról 500 m/s-ra csökkent munkaközeg sebességet újból 1000 m/s fölé gyorsítják. Gyakorlatilag így lehet átlépni a hangsebességet és a 200000 kW teljesítményt egy olyan turbinánál, ami kb. 50 m³ levegőt szív be egy másodperc alatt.

A gázturbinákat azonban néha a gázgenerátor után szerelt többfokozatú munkaturbinával látják el, ami már nem a sűrítőkompresszort hajtja, hanem más munkagépeket. Ezek lehetnek propellerek, kerekek, szivattyúk, generátorok. A belső égésű dugattyús motorokkal szemben az előnye az, hogy nem „fullad” le egy hirtelen nyomaték növekedés esetén, mert a munkaközeg képes az álló turbinák és éppen megállt mozgó turbinák közt áramlani.

1.3.10. Mozgó alkatrész nélküli hajtóművek

Amikor már a gázturbinás repülőgép a hangsebesség feletti tartományba ér a turbinák forgása megközelíti a 70-100 ezer f/perc értéket, ez igen magas és mivel $v^2/r = a$ és $F = ma$ képletek értelmében, ahol (v^2) a turbina legkülső (pl. 1 gramm) részének sebessége, (r) a forgástengelytől mért sugár, (a) a kicsiny tömeg centripetális gyorsulása, (m) a tömeg = 1 gramm.

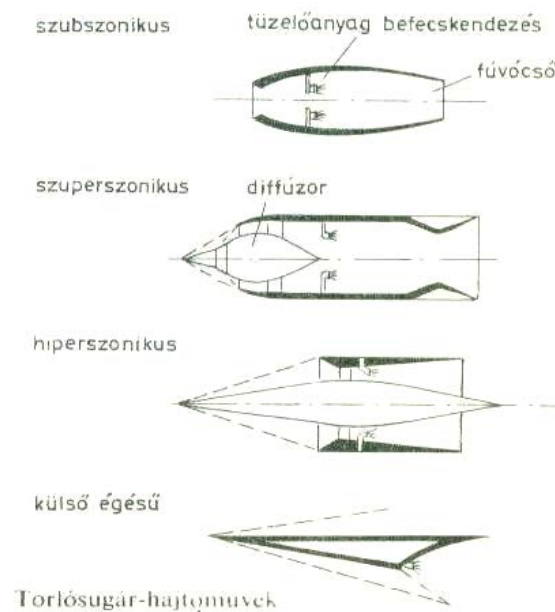
Kiszámítható, hogy $v=1000$ m/s sebességnél, ami még csak 500 m/s-os gépsebességnél adódik (ha a turbina kerék 50 %-os dőlésű), hogy $r=0,3$ m esetén: $F = (v^2/r)m = (1\ 000\ 000\ (m^2/sec^2) / 0,3m) \cdot 0,001\ kg = 3333,33\ N$ erő hat erre a kis fém részre.

Egy bizonyos fordulat fölött, mely a repülőgép sebességéből adódik, nem lehet nagy gázturbinát készíteni, mert a szerkezeti elemek szétszakadnak. Ilyenkor vagy kis turbina készül és kis teljesítményű, vagy el kell hagyni a forgó alkatrészt.

A 70-es évektől a szuperszonikus változatok megjelentek, később robot repülőgépekbe építették be, mert igen olcsó és nem kár, ha odavész felderítés közben. Az ötlet persze nem volt új, elődjei a világháborús német V-1 hajtómű, mely torlósugar elven működik, de a hajtóműbe áramló levegő a beáramlás után nem juthat ki elől a szabadba, csak üzemanyagot elégetve hátul a fűvókán, mert elől a beáramló toroknál visszacsapó szelepek vannak. Ezért a hajtómű lükető áramlással halad előre. Szubszonikus tartományban maximum 500-600 km/h-val halad és ekkor 100 Hz az ütem.

A szubszonikus, de már nem pulzáló torlósugar-hajtómű kísérleti jelleggel készült, de szintén nem terjed el, mert bár olcsóbb, mint más hajtómű, nem elég megbízható az elől történő visszaégés kivédésében. Ugyanis sebessége nem elég nagy, hogy a beáramló levegő az égés térben hátraszorítsa a fúvóka felé a lángot. Gyakorlatilag pont a visszacsapó szelepek hiányoznak belőle a megbízható működéshez. Nagyobb sebességen 900-1500 km/h értéknél a már említett szuperszonikus hajtómű bevált.

A hangsebesség 3-5-7-9 szeresénél végzett kísérletekben már nem jöhet szóba a forgó alkatrészes gázturbina, ezért ekkor csak a hiperszonikus torlósugar-hajtómű lehet jó. Még, további sebesség növekedés érdekében hiperszonikus külső égésű hajtómű tervezése javasolt. Ez tulajdonképpen egy speciális repülőgép test, melynek a hátsó részén egy beöblösödés van, szárnya teljesen csökevényes és a hajtóanyagot a géptesten kívülre a has oldalra fecskendezik. Ezt az áramlás besodorja az öblösödésbe és ott elég. A gépet 10-12 szeres hangsebességre tervezték a volt szovjetkutatók. Később az USA-ban is, de csak terv maradt, mert a 12 szeres hangsebesség 20 °C-os levegőben normál nyomáson $12 \cdot 343,8$ m/s, 4125,6 m/s, ami 14852,16 km/h.



22. ábra. Torlósugar-hajtóművek [8]

Viszont a hiperszonikus változat máig kísérletezés alatt van, pl. 2004-2005 között a NASA X-43A gépe, mely elég kisméretű, kb. 4 m, elérte a hangsebesség 9 szeresét, közel 100 km magasan.

A hiperszonikus és külső égésű hajtóművek ugyanis csak 20 km felett képesek repülni és fontos, hogy legalább 1200 km/h sebességgel már rendelkezzenek.

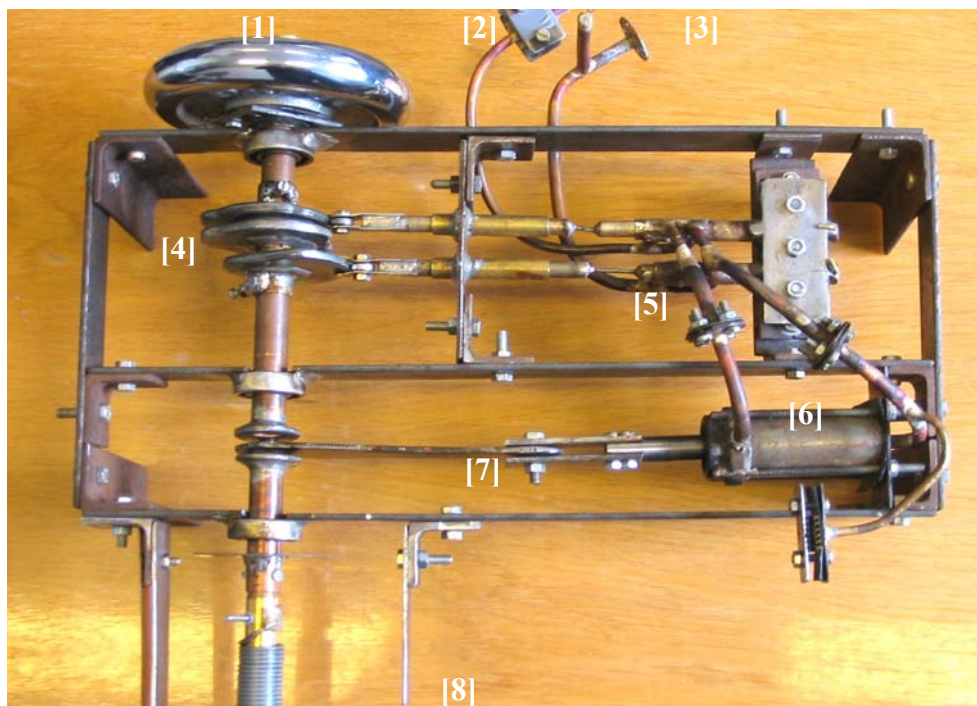
A torlósugar-hajtás elve és munkafolyamatai ezen példák után a következőkkel foglalható össze. Mindig egy alap kezdősebességnél kezd működni, ez 50 km/h. A szubszonikus típusnál ehhez elég egy katapult, a szuperszonikus típust repülőgépről indítják, minimum 200 km/h sebességnél. A hiperszonikus típust segéd-hajtómű rakéta, vagy kis gázturbina gyorsítja legalább 500 km/h sebességre. Munkafolyamatai ütem nélküliek folyamatos égéssel.

Először politrop spontán légsűrűsödés a torlónyomás hatása miatt a hajtómű elején, innen kapta ez a hajtómű család a nevét. Majd beáramlás az égéstérbe, itt nincs változás, a nyomás 3-5 bar, később égés izobár módon, utána kiáramlás, a kiszélesedő fúvókán politrop folyamat. Kiáramlás után a környezetben izobár kihülés. A lényeges szempont, hogy a beáramló oldal (torok rész) általában 20 %-al kisebb keresztmetszetű, mint a fúvóka peremének keresztmetszete. Így a torlónyomásból adódó fékezőerő mindig kisebb, mint a fúvóka tolóereje.

2. Az általam készített hőerőgép részletes ismertetése

A működés teljesen hasonló, mint a 1.3.2-es pontban leírtak, tehát a Watt-féle gép közvetett kondenzátoros módon, ugyan olyan, mint ez a gép. Különbség ott van, hogy ebben az esetben a mérések nem gőzzel, hanem sűrített levegővel történtek, mely levegőt lánggal melegítettük elő.

A körfolyamat nem volt bezárva, így a körfolyamat csak bizonyos részfolyamatát tudtuk vizsgálni, ez a politrop kiterjeszkedés és munkavégzés. Mivel nem gőz volt a munkaközeg, ezért a kondenzátor és a vízpumpa is kimaradt az elrendezésből.



23. ábra. A vizsgálat tárgyát képző gép fényképe

A gép méretei:

Szélesség: 18 cm

Magasság: 15 cm

Teljes hossz: 37,5 cm

Lendkerék átmérő: 12 cm

Lendkerék súly: 1,5 kg

Tengely hossz: 23 cm

Nyomatékmérő tengelyének hossza: 14 és 11 cm

Löket hossz: 4 cm

Henger átmérő: 2,7 cm

A munkapad magassága: 10 cm

Vezérlők átmérője: 0,8 cm

Körhagyók 6 cm – 1 cm eséssel kieresztő felől

6 cm – 0,5-0,5 cm beeresztő felől

Teljes súly: 4,5 kg

Henger kitöltés: 50 %

A gép főbb részei:

- [1] Lendkerék
- [2] Beáramló munkaközeg hőmérséklet.
- [3] Kiáramló munkaközeg hőmérséklet
- [4] Körhagyók
- [5] Vezérlő szelepek
- [6] Munkahenger
- [7] Lengőkar
- [8] Forgatónyomaték mérő

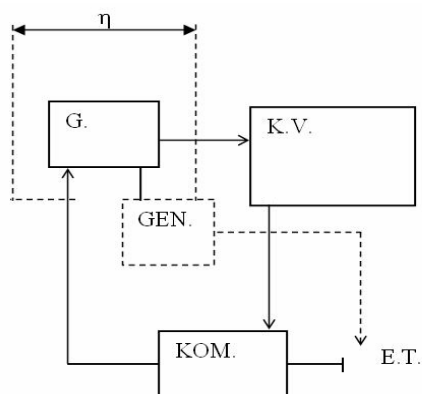
A munkahengert nem egy összevont vezérmű látta el sűrített levegővel, és vezette el a már munkát végzett levegőt, hanem a szemléletesség kedvéért és az átláthatóság miatt osztott vezérmű van felszerelve két külön körhagyóval. A munkahenger kettős működésű, de csak a hátrafele mozgó dugattyú esetén történik nyomásmérés.

A munkavégzés folyamatai:

A sűrített levegő megérkezik a beáramló csövön a vezérműhöz, mivel a géplökés előfordatással indul, ezért már mozgásban van, így a vezérmű is mozog. Adott pillanatban a vezérmű a körhagyó által megadott fázisban, mikor a dugattyú éppen elhagyja a holtpontot kinyit és megkezdődik a sűrített levegő beáramlása a hengerűrbe, eltolja a dugattyút. Eközben a dugattyú másik oldalán lévő hengerűrért felelős áramlási ágban a beeresztő vezérlő lezár, a kieresztő rész nyit ki, és kiáramlik az ott lévő levegő a fél periódus lejátszása után.

Az előbb említett folyamat fordítva történik és azaz oldal, amelyik az előbb kiürült, az töltődik és a feltöltött oldal fog kiürülni.

Igen fontos, hogy minden tökéletes szinkronban játszódjon le, különösen a holtpont elérése után már nem kaphat ellenlökést a kiürülő oldalról a dugattyú, mert ez fékezést eredményez, majd megálláshoz vezet.

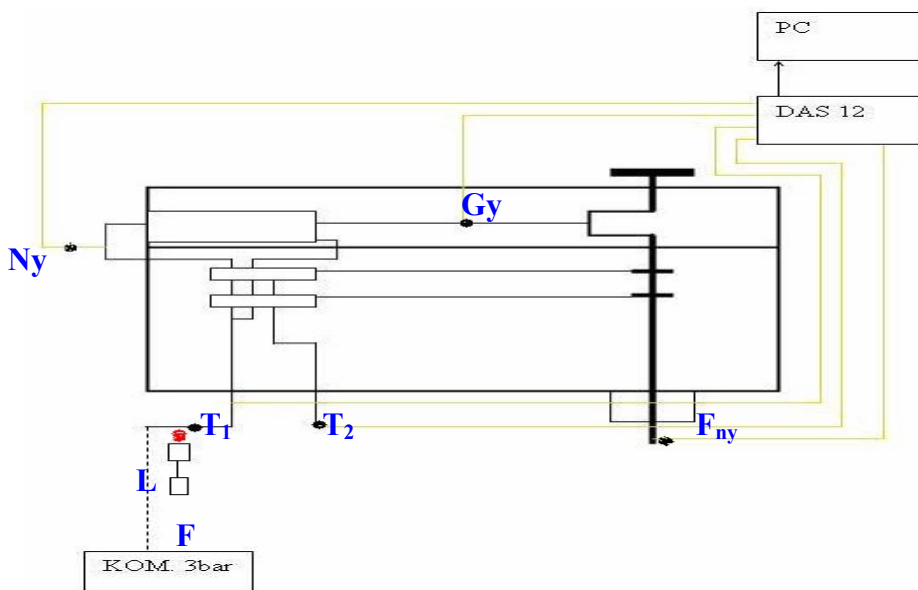


24. ábra. A gép működési sémája (η a hatásfok, amit mértünk)

Vázlat a gép és környező egységeiről

Amennyiben a teljes hatásfokot szeretnénk megadni a gép esetén, akkor az ábrán feltüntetett GEN egység beépítése szükséges lett volna. Az a generátor, mely ET elektromos teljesítményt szolgáltat a levegőt sűrítő kompresszor számára. De meg lehet ezt a dolgot azzal is kerülni, hogy a generátor helyett közvetlenül hajtana a G. gép a kompresszort, de ez 10 % hatásfok mellett nem működne.

A generátoros változat meg még rosszabb eredményt hozna (η -hatásfok, KV-környező világ, vagyis környezet, KOM. – kompresszor).A következő ábrán tekintsük meg a szenzorok elhelyezkedését a gépre szerelve és a hő betáplálás helyét.



25. ábra. A szenzorok elhelyezkedése a gépen

A 24. ábrán. a következők szerint (ny – nyomás szenzor, gy – gyorsulás szenzor, T₁ és T₂ a két termisztor T₁ fűtött oldali, T₂ a környezetbe kiáramló munkaközeg felőli oldal, F_{ny} – forgatónyomaték mérő)

PC – személyi számítógép

DAS 12 – „intelligens adatgyűjtő”

KOM. 3 bar – A 3 bar nyomást szolgáltató kompresszor

3. Méréstechnikai háttér

3.1. Szenzorok jellemzése és a dolgozatban történő felhasználási területük.

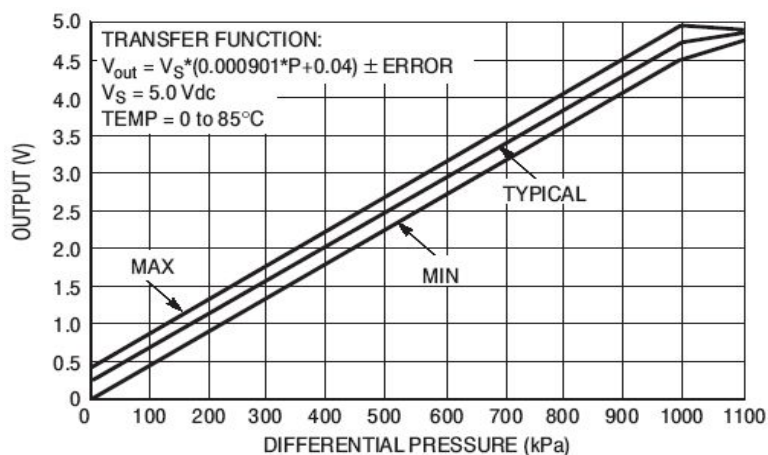
3.1.1. Nyomás szenzor

Az MPX5999D működési tartományának táblázata

1. táblázat [10]

Karakterisztika	Jele	Min.érték	Tipikus	Max. érték	Egység
Nyomás tartomány	Pop	0	-	1000	KPa
Feszültség ellátás	V _s	4,75	5,0	5,25	V _{dc}
Áram ellátás	I _o	-	7,0	10	mAdc
Nulla nyomáson vett offset (0-85 ⁰ C)	V _{off}	0,0880	0,2	0,313	V _{dc}
Teljes kimeneti lépték „	V _{FSS}	4,587	4,7	4,813	V _{dc}
Teljes lépték tartomány „	V _{FSS}	-	4,5	-	V _{dc}
Érzékenység	V/P	-	4,5	-	mv/kfa
Pontosság (0-85 ⁰ C)	-	-	-	±2,5	%V _{FSS}
Hangolási idő	t _R	-	1,0	-	ms
Kimeneti áramforrás a teljes kimeneti léptékben	I _{o+}	-	0,1	-	mA
Bemelegedés	-	-	20	-	ms

Az érzékelő legnagyobb, még pontosan mérhető nyomás maximuma 10 bar= 1 000 000 Pa nyomás ez a kísérleti gépben kielégítő. A reagálási idő 1 ms, tehát 1 ezred másodperc alatt képes mintát venni a nyomásváltozásból, ez 3-10 fordulat/sec eseten elegendő. A kimeneti feszültség a nyomás függvényében kb. 10 kPa-1000 kPa így lineárisan változik.

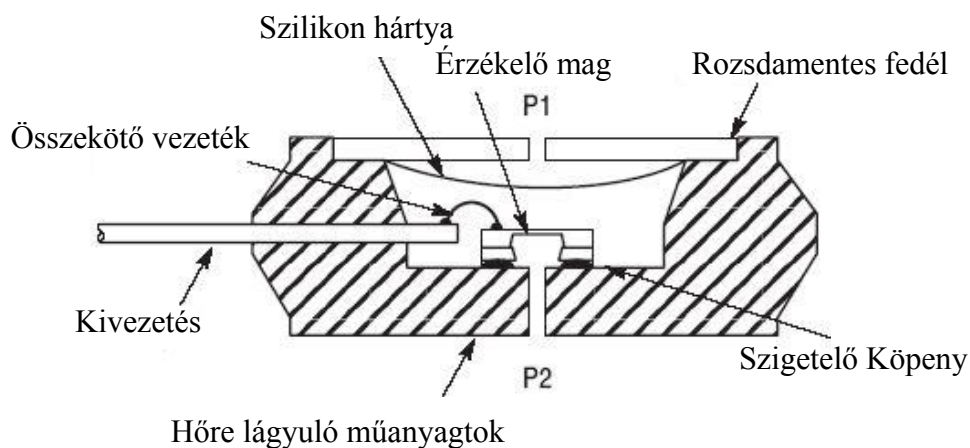


26. ábra. A nyomás szenzor karakterisztikája [10]

Ez linearitás viszonylag tökéletes kalibrációra ad lehetőséget, és a számítógépes feldolgozásban egyszerű a jel kezelése.

3.1.2. Nyomásérzékelő működési elmélete

A nyomásérzékelő egy műanyag tokban elhelyezett, igen jól elszigetelt piezó elektromos lapocskából és a külvilágtól elválasztó szilikon hártából áll. (2ábra)



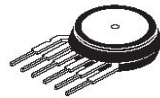
27. ábra. A nyomásszenzor keresztmetszete [10]

P1 = Mérendő nyomás

P2 = Külső nyomás

Tehát a mérendő közeg nem érintkezik közvetlenül az érzékelő piezo-elektromos részével, hanem egy zárt légrézre fejt ki nyomást és ez hat a szenzor magjára. A szenzor magjában nyomás hatására erők ébrednek és piezo-elektromos hatás képződik a kristályban. Ez feszültség ingadozást eredményez, amely rá szuperponálódik a tápfeszültségre, ami jelen esetben 5V.

A nyomás szenzornak 6 db kivezetése van (27. ábra), ebből 3 db láb is elég a jelen mérés kivitelezésében 1 db földelés, 1 db + 5V tápfeszültség, 1 db jel kimenet.



MPX5999D
CASE 867

28. ábra. A nyomásszenzor tokozása

A jelek feldolgozását a PC végzi. A kalibrálás és a szoftveres hozzárendelés után kPa-ban jelennek meg a nyomás értékek az idő függvényében. Így képet kaphatunk a munkahengerben lejátszódó nyomásváltozásról.

3.1.3. Termisztor (a hőmérséklet méréséhez)

A kísérleti gépünkön két helyen mérünk hőmérsékletet. A munkaközegbe lépő és kilépő hőmérsékletet a gép által felhasznált hőmennyiség kiszámításához kell tudnunk.

Mivel a hőmérsékletek nem haladják meg a kb. 150 °C-ot, ezért használhatunk termisztort.

-
- Működés

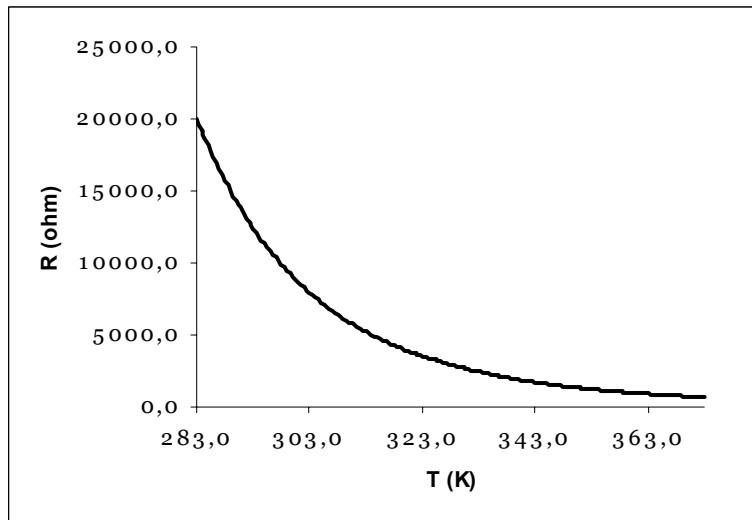
A termisztor általában csökkenti ellenállását a hőmérséklet növekedésével.

$$T = \frac{1}{A + B \ln r} \quad A = 1,042 \cdot 10^{-3} \text{ [1/K]}$$

$$B = 2,515 \cdot 10^{-4} \text{ [1/K]}$$

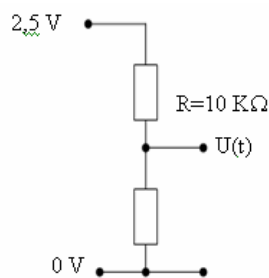
$$R = e^{(1/BT) - (A/B)} = e^{-(A/B)} e^{(1/BT)}$$

$$R(T) = R(I_0) \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$



29. ábra. Termisztor karakterisztikája (saját grafikon)

A termisztor ellenállás értékeinek változását a számítógép számára felhasználható jelekké, feszültség jellé kell átalakítani, ezt mutatja a 29. ábra.



30. ábra. A termisztor kapcsolási rajza

A feszültség értékek akkor adott hőmérséklethez rendelhetők. A szoftver segítségével adott feszültségekhez történik a kalibrálás, és lehetővé válik a hőmérséklet időbeni változásának nyomon követése.

3.1.4. Gyorsulásmérő

A gyorsulásmérő felhasználását a periódus idő és a fordulatszám meghatározása miatt kellett a gépre szerelni.

A műszer a pillanatnyi gyorsulás értékét mutatja a $a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$ ebből ugyan kiszámolható az út-idő grafikon is, de a dolgozat célja gyorsulásmérővel nem ez volt.

Az ADXL 105 EM-1 típusú gyorsulásmérő főbb adatai és működése:

2. táblázat [11]

Érzékenysége	200 mV/1g , itt 1 g (gyorsulás)= 10 m/s ²
Sávszélessége	DC-100 ± 5 %
Zaj	10 mg/rms
0 g-nél fellépő kimenet	+2,5 ± 0,1 Volt
Linearitástól való eltérés	±0,2 %

A gyorsulásmérő külső megjelenésében egy integrált áramkörhöz hasonló tokozást mutat. Az érzékelő belsejében a gyorsulás irányával párhuzamos irányban álló kb. 1 mm hosszúságú gerenda áll. Ez a kis gerenda két oldalon rugószerű felfüggesztéssel van rögzítve a tokozásban. A rugók közül az egyik megnyílik a másik össze nyomódik és köztük az (m) tömegű gerenda, így néhány tized mm-t változtatja a helyét, ha bizonyos mértékű gyorsulás fellép a rendszeren.

Ez a helyváltoztatás, a gerendáról lelógó felület és az álló felületek közti feszültség változással mérhető, ugyanis a tokozáson belül két álló felület is el van helyezve, mely felületek így kondenzátort alkotnak, és a köztük lévő távolság változásával változik a síkkondenzátor kapacitása.

$$\text{Kapacitás } C = \frac{Q}{U}$$

$$\text{síkkondenzátor } C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

C= Farad

U= Volt

Q= Coulomb

ϵ_0 = a vákuum dielektromos állandója $8,854187 \cdot 10^{-12}$ [As/Vm]

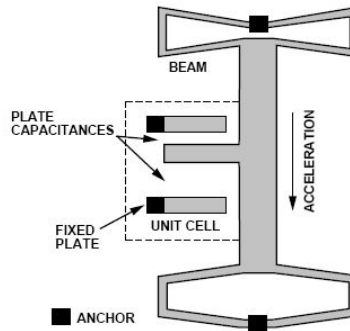
A= m²

D= m

Tehát, ha a feltöltött kondenzátorban Q= állandó, akkor a c(kapacitás) megváltozása – mely (d) változására vezethető vissza – U változását vonja maga után.

A mérés lényege ezért egyszerű, de összetett folyamatot alkot. A gyorsulás az (m) tömegű gerendára hat, mely a tömege miatt a rugókat nyomva erőt fejt ki és a rugók a gerendára ellenerőt.

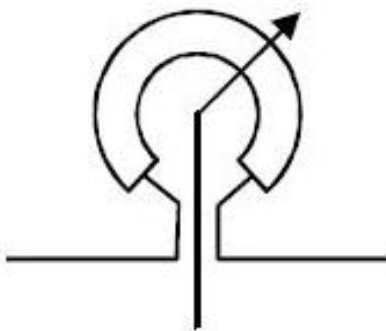
Ez az erő a rugó és a gerenda alkotta rendszerben elmozdulást eredményez, mely elmozdulást síkkondenzátorral mérjük és a síkkondenzátor feszültség változását a belső áramkör 5V-os előfeszítése mérhető feszültségváltozásokká alakítja, ezek a feszültségértékek már kalibrálhatók a gyorsulásra. Az adatfeldolgozásnál itt is szoftvert alkalmazunk. A gyorsulásmérő belső szerkezetének vázlata (30 ábra).



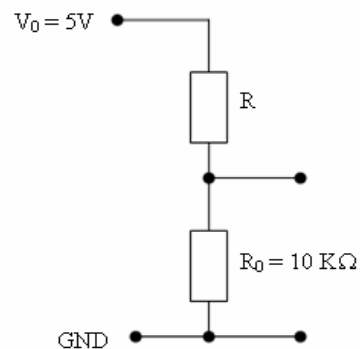
31. ábra. A gyorsulás mérő belső szerkezete

3.1.5. Forgatónyomaték mérő

A nyomatékmérő alapját egy forgó ellenállás elfordulása alkotja.



32. ábra. A forgóellenállás mérő



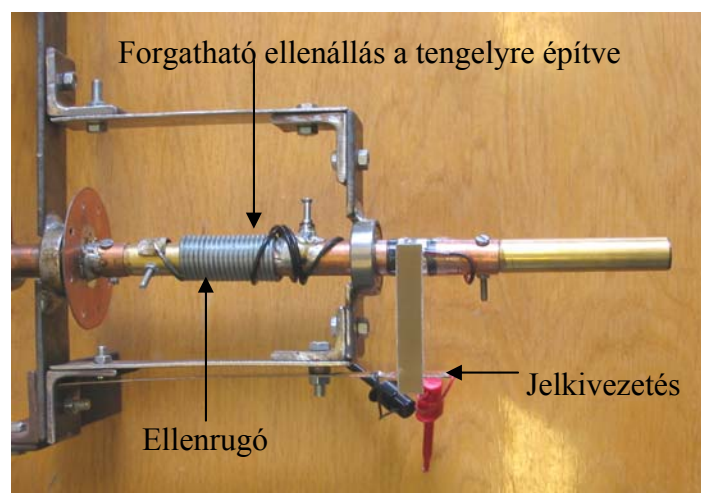
33. ábra. A forgató-ellenállás PC-hez való illesztése

A forgatónyomaték mérőt általában olyan berendezéssel látják el, ami a torziós csavaró erőket ohmikus ellenállás növekedésével mutatja. Igen ritka, műszaki eszközök ezek, többnyire szilícium vegyületek. De alkalmazható piezo-elektromos kristály, ha a feszültségzigetelés biztosított, ezt a legtöbb esetben nehéz megvalósítani, ezért az előbb említett módszert használják. Különösen olyan gépek esetén, ahol az elvégzett munkát előre kiszámolják. Vagy az utólag kiszámolt értékeket használják fel a tervezendő munka energiámenységének felmérésében. Ezek a munkagépek a bányászatban használt exkavátorok, markológépek és szállító teherautók.

Mindegyikben el van helyezve egy tengelybe beépített forgatónyomaték-mérő, ez segít a gépek túlterhelésvédelmében és az említett teljesítmény szükséglet kalkulálásában. Forgatónyomaték mérőt szoktak használni a gépészet olyan területein, ahol arra kíváncsiak a motortervezők, hogy egy erőgép - amely lehet hőerőgép is, jelen korunkban többnyire belső égésű dugattyús hőerőgép (benzinmotor, dieselmotor), - teljesítmény maximuma milyen nyomatékok mellett jelenik meg. Erre lehet példa egy kétütemű benzinmotor a maximális forgatónyomatékának a 80%-nál jelenik meg a maximális teljesítmény. Ugyanezt a módszert alkalmazzák kihajtással felszerelt gázturbináknál is, de alkalmazható a módszer elektromos erőgépeknél is aszinkron vagy szinkron motoroknál.

A vizsgálandó sűrített levegős hőerőgépeknél nem alkalmazhattunk ilyen precíziós mérőműszereket, ezért a forgatónyomaték-mérést közvetett módon végeztük. A forgástengely palástján elhelyezett csavarrugó szögelfordulását detektáltuk egy forgatható ellenállás segítségével, így meghatározott forgatónyomatékokhoz ohmikus ellenállást tudtunk rendelni (jelentőségének leírása a későbbiekben megtalálható).

Ha a rendszer részletes fizikai értelmezését nézzük, akkor két szabadon elfordulható tengelyvég közé felszerelt csavarrugó segítségével mindig előállítható bizonyos forgatónyomaték, ha a gyakorlatban alkalmazni akarjuk, akkor azt a kérdést kell megoldani, hogy ezt hogyan lehet műszeresen kiértékelhetővé tenni. És ezért a kiértékeléshez szükséges volt a tengelybe beépíteni egy forgatható ellenállást. Tehát a forgatónyomatékot a rugó elfordulásával mérjük, ez egyben a tengely elfordulása is. A tengely elfordulását a forgóellenállás ohmikus változásával mérjük. Így kalibrálható be a későbbiekben a forgatónyomaték-mérő berendezés.



34. ábra. A forgatónyomaték-mérő fényképe

Ezt az elrendezést régebben is használták, de a csavarrugó mellé két tárcsa is el volt helyezve, amelyen lyukak voltak fúrva, egy kisegítő lengőkarral fényvillanásokat idéztek elő, abban a fekete dobozban, amelyben ezt az egységet elhelyezték, így ha egy megfigyelő beletekintett a dobozon fúrt lyukba a tárcsákat abban a pozícióban látta, amilyen forgatónyomaték éppen fellépett a rendszerben.

A rendszer gyakorlatilag automatikus stroboszkóp vezérléssel működött. Ez az 1880-as évektől 1930-ig jelentett nagy segítséget azoknak a gépészeknek, akik adott fordulatszám és adott nyomaték figyelése mellett a gép teljesítményét akarták meghatározni. Így lehetett a hajók, az elektromos generátorok és a gőzmozdonyok teljesítményét a forgatónyomaték és a fordulatszám segítségével adott célfeladatra illeszteni.

3.1.5.1. Forgatónyomaték mérő kalibrálása

A forgatónyomaték mérőt a gépen felszerelve kell kalibrálni, ez a kalibrálás alkalmas arra, hogy a középiskolásoknak bemutassuk, hogy miként kell egy műszaki egységet a hétköznapi gyakorlatban elvégezni.

Gyakorlati lépések:

A gépen elhelyezkedő hajtókart rögzíteni kell, ekkor a lendkerék és a dugattyú nem mozdul meg, ezt a műveletet egy gyorsszorítóval lehet elvégezni. A forgatónyomaték mérő kihajtás felőli oldalán, felszerelünk egy 1 méter hosszúságú rudat, a forgástengelytől mért 1 méteres távolságban egy dinamó métert akasztunk be a rúdon fúrt lyukba, mellyel a rudat húzni kezdjük a gép általános forgásával ellenkező irányba, ekkor leolvassuk a forgatónyomaték mérő belsejében elhelyezett forgó ellenállás által mutatott értéket, amely Ohmban adódik, hogyha multiméterrel mérjük, ehhez a számítógép segítségével rendelünk a későbbiekben forgatónyomaték értéket.

Ezt akkor alkalmazzuk, amikor virtuális méréstechnikai kiértékelést végzünk; egyébként a kiértékelést kalibrációs görbével is elvégezhetjük (manuális módszer), ilyenkor az ohmikus értékek a függőleges tengelyen a forgatónyomaték értékek, amelyeket ehhez rendelünk hozzá a vízszintes tengelyen található ezek a kalibrációs függvény tengelyei. Az adott erőhöz adott ohmikus ellenállás tartozik. Mivel a rúd hossza 1 méter volt ezért Newton méterben (Nm) kapjuk meg.

3.1.5.2. A teljesítménymérés művelete

A forgatónyomaték ismeretében, amit Nm-ben adunk meg és ha ismerjük a fordulatszámot, amit 1/sec adunk meg és megszorozzuk 2π -vel, ugyanis a kettő π , ha egy méter a kör sugara, az ehhez a sugárhoz rendelhető körnek a kerülete, akkor a mértékegység, amit a szorzások elvégzése után kapunk Nm/sec. Ez átváltható J/sec-má, ez a teljesítmény, ezt a számítógép segítségével az idő függvényében ábrázoljuk. Ezek után meg tudjuk kapni a P-t diagrammot, ami a teljesítmény felvázolása az idő függvényében. Amennyiben a középiskolai szemléltetésben arra vagyunk kíváncsiak, hogy hogy hozható össze az egyes fizikai mértékegységek (dimenziók) egy végső mértékegység megalkotásában, ez a teljesítményszámolás alkalmas rá.

Abban az esetben, amikor egy sűrített levegős-hőerőgépet vizsgálunk, de lehet elektromos erőgép is, vagy lehet áramló közeggel hajtott víz esetleg szél erőgép a módszer alkalmas arra, hogy ezeknek a teljesítményét meghatározzuk. Ebben az esetben egy nehezen mérhető mennyiséget, mint a forgatónyomaték könnyebben mérhető fizikai mennyiség segítségével mérünk, amellyel közvetetten teljesítményt határozunk meg.

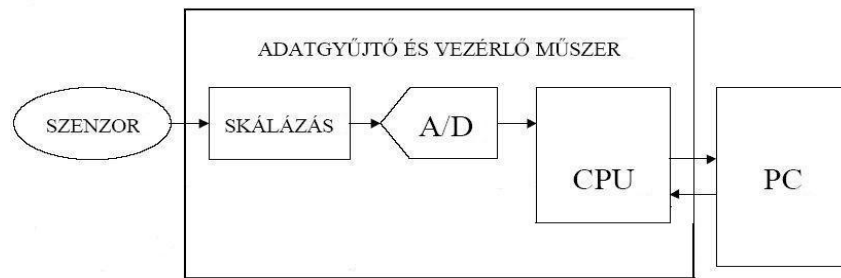
3.1.6. A szenzorok jeleinek számítógépes feldolgozása

A mérések során a szenzorok jeleit digitálisan értékeljük ki. Bár a szenzorok jeleit egy erre kifejlesztett apró cél-számítógéppel és folyadékkristályos kijelzővel is meg lehetne jeleníteni. Viszont a szenzorok jelének mintavételét szinkronban végezni csak virtuális műszerrel lehet. Így a későbbiekben a kiértékelés párhuzamosan történhet, amely különösen fontos egy olyan rendszer esetén, mely igen gyorsan változik időben.

Gyakorlatilag a gyors változások is ennek a mérés technikának a használatát követelik meg, ugyanis a rendszerben a nyomás igen gyorsan változik, amely csak a számítógéphez köthető gyors mintákat szolgáltató szenzorral valósítható meg (MPX5999D jelen esetben).

A szenzorok jelei többnyire analóg jelek, ezeket digitalizálni kell egy A/D konverter segítségével, de előtte skálázást végez a műszer, mely bizonyos értékekhez számokat rendel, vagyis (től-ig) határt hoz létre. Majd a mért adatok a PC-be jutnak, ahol a tényleges kiértékelés a szoftver és hardware segítségével megtörténik.

Rövid vázlattal kifejezve:



A zárójelbe tett egység egy célszámítógép, mely a számítógép PC számára feldolgozható jeleket generál a szenzor analóg jeléből. Ez „intelligens adatgyűjtő”, mely szigorú időzítést is lehetővé tesz, és ezek mellett egy kis időre rögzíti is a mért értéket, hogy ha a PC-vel elveszti a kapcsolatot.

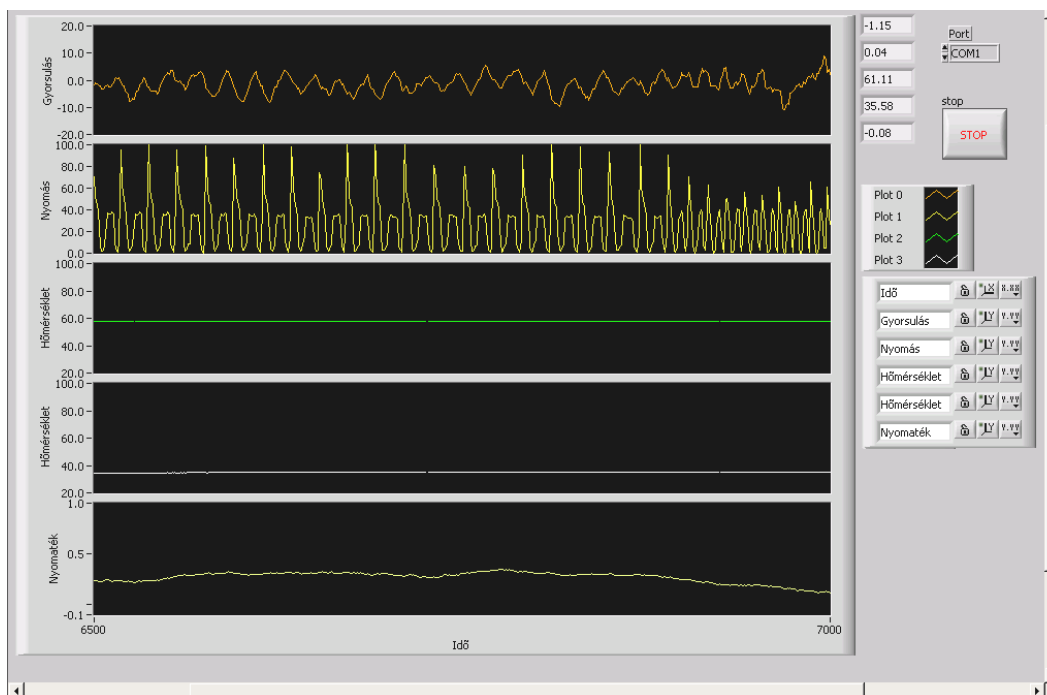
Jelen esetben a DAS 12 mikrokontroller-alapú intelligens adatgyűjtőt használtuk a szenzorok és PC összekötésére. Az összegyűjtött adatokkal a továbbiakban a számítógép végez műveletet.

A virtuális műszer túlnyomó része szoftveresen van megvalósítva, amely gyors megváltoztathatóságot engedélyez. Előnyei csak megfelelő szoftverfejlesztő rendszerek esetén érvényesülnek. A C és C++ alapú rendszerek igen nagy felkészülést igényelnek, ezért középiskolában dolgozóknak a speciális virtuális műszerfejlesztő szoftverek előnyösebbek, pl. a Labview 6.0 vagy 6i, melyek igen elterjedtek. A vizsgált hőerőgép esetén a 6.0 verzió volt használatos.

Ennek a műszerfejlesztő programnak az előlapja tartalmaz egyszerű számkijelzőket „mutatók kijelzőket, hőmérőt, tolópontenciométert és két vagy 3 dimenziós, rendkívül sokoldalú grafikus kijelzőket”. [12]

Az előlap elkészítése úgy történik, hogy milyen műszereket szeretnénk elhelyezni egy műszeres dobozban, mely a számítógép képernyőjén jelenik meg, de a valóságban is létezhetne, ugyanakkor pont úgy működik, mint a valóságos mérő és kiértékelő egység.

Azonban nagy előnye, hogy az adatokat rögzíti teljesen szinkronizálva, az egyes műszereket és későbbi függvény műveleteket tesz lehetővé, pl. Excel-be való adatsor átmásolás után.



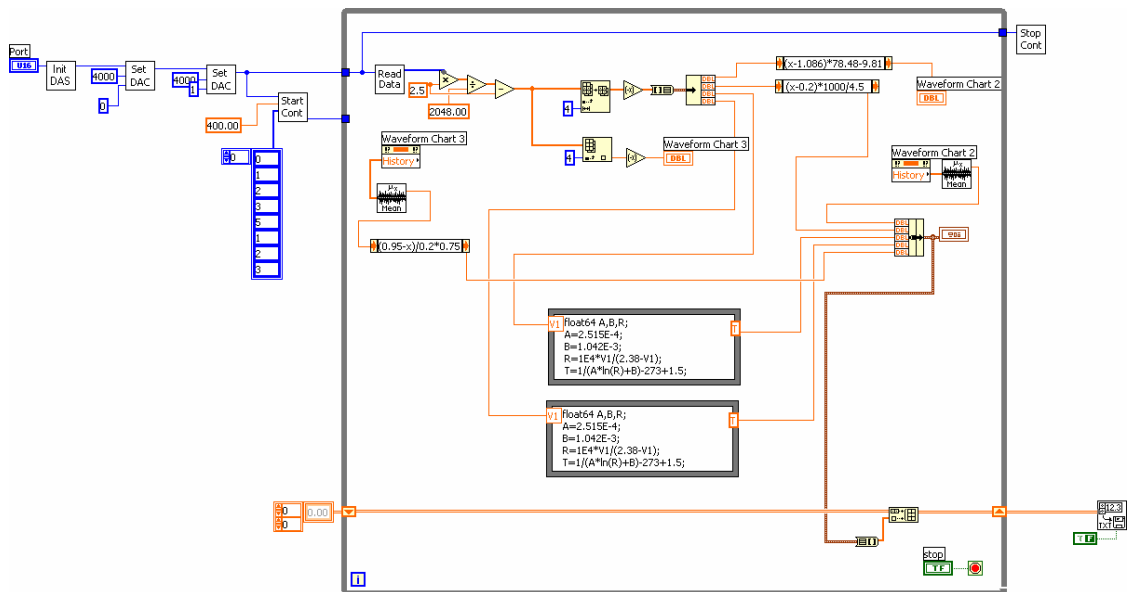
35. ábra. A virtuális műszer előlapi panelje mérés közben

Az előlapon 5 fizikai mennyiségének a változását az idő függvényében, ezek a gyorsulás, nyomás, beáramló és kiáramló munkaközeg hőmérséklet és forgatónyomaték.

Az előlap elkészítése után a műszer belsejét hozzuk létre, amely egy blokk vázlaton belüli algoritmusokat jelent. Így a bemenő jeleken a program ilyen algoritmusban hajtja végre a műveleteket.

A program blokk-vázlatát rajzolni kell, a műveleteket grafikus szoftver kódok „ikonok” alkotják. Ezek lehetnek A/D konverterek, jelkettőzők, átalakítók, jelerősítők, jelkivonók, összeadók, indító óra-jel parancs, munkaasztali kivezetés. Az egyes műveleteket össze kell kötni és rákötni az előlapon jelképezett műszer ikonjára.

A jelet feldolgozó kalibráló algoritmust külön meg lehet adni a szenzor karakterisztikáját ismerve. A mi esetünkben ilyen a termisztort kezelő algoritmus parancsa.



36. ábra. A virtuális műszer belső működését reprezentáló blokk-diagramm

Az így létrehozott műszer belső felépítése nem marad a diákok számára rejtett dolog, ha a középiskolai alkalmazásra gondolunk. Tehát a G-nyelvű programozás előnyeit fel lehet használni, hogy a mérést végző személy a mérés problémájára koncentráljon, és ne vegyen el időt a program hibakeresése túlságosan.

4. Mérés során megfigyelhető fizikai mennyiségek

Ebben a fejezetben bemutatásra kerül, hogy az elméletben kiszámolható munkafolyamatok hatásfokát és más paramétereket, melyek a gépre jellemzőek, hogyan lehet a bonyolultság mellőzésével, a virtuális mérés technika segítségével, egyszerű grafikonokkal, képletekkel és megfogalmazásokkal leírni.

4.1. Mennyiségek

Mivel nem teljes zárt és visszacsatolt körfolyamatról van szó, ezért a mért mennyiségek csak a munkát végző gép egységre vonatkoznak, beleértve a hatásfokot is.

Mért mennyiségek:

(P)=nyomás..... (Pa)

(T belépő).....(K)

(T kilépő) hőmérséklete...(K)

(a)= a hajtókar gyorsulása; ebből a fordulatszám meghatározása történt

a periodikus csúcsok felhasználásával (-sin) függvény (m/s^2)

(M)= forgató nyomaték (Nm)

Szoftveresen származtatott mennyiségek f =fordulatszám = (1/s)

$P = Mf\pi$ = teljesítmény (Nm/s)

q = levegő (munkaközeg áramlás)

$q = V_h f P_{max} = (m^3/s)$ P_{max} = itt bar-ban, mértékegység nélkül abszolút értékben

Q = hőmennyiség időegység alatt = $(T_b - T_k)(c_v + c_p/2)q\rho \dots\dots\dots (J/s)$

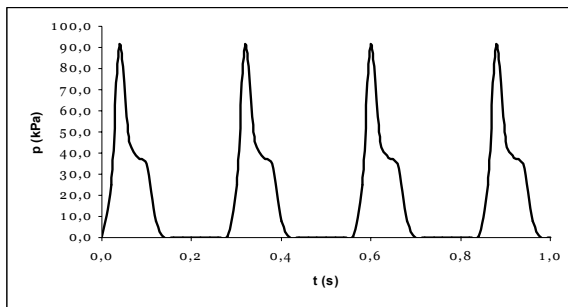
ρ = sűrűség P_{max} -on = $1-3 \text{ kg/m}^3$

$\eta = (P/Q)$

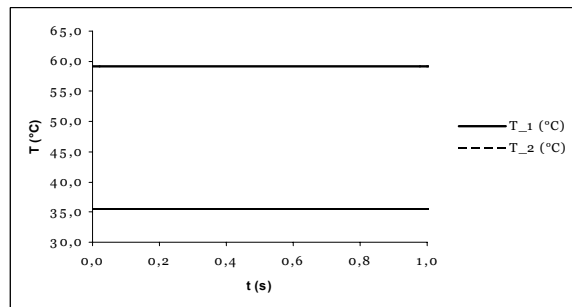
Ezeket a számításokat Excel műveletekkel végeztem el, ugyanis nem egyszeri adatok, hanem az időben folyamatosan lettek regisztrálva. Ezért mindig pillanatnyi: fordulatszám, nyomás, hőmérséklet, hőmennyiség, áramlás-erősség, hatásfok és nyomatékról beszélünk.

4.2. Idealizált grafikonok

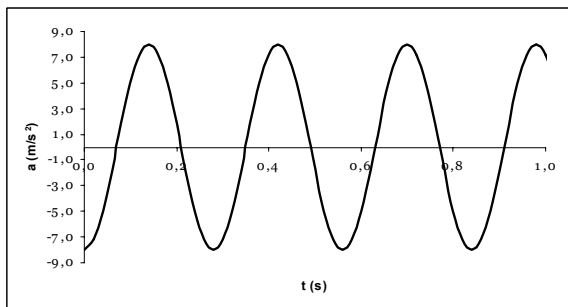
1.grafikon



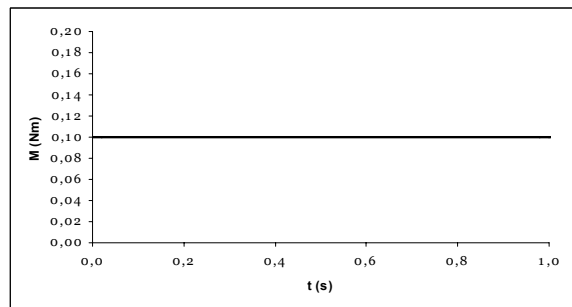
2.grafikon



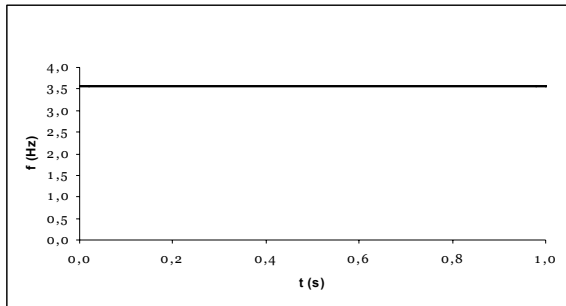
3.grafikon



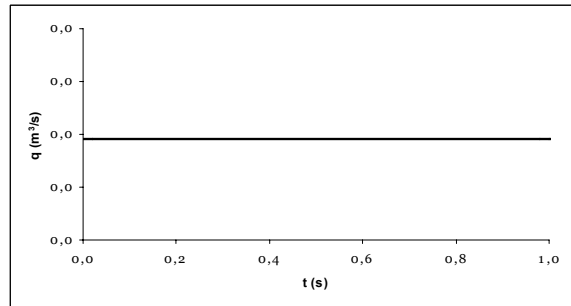
4.grafikon



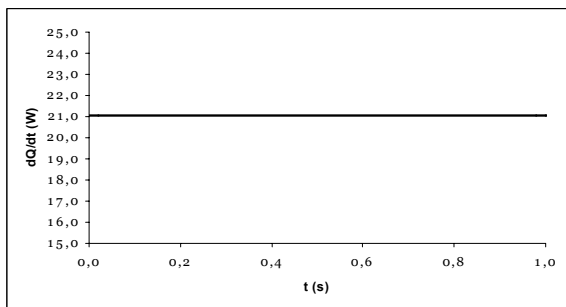
5.grafikon



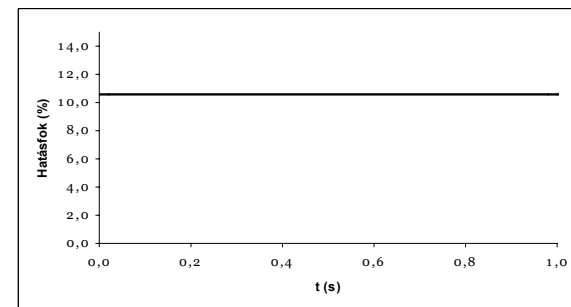
6.grafikon



7.grafikon



8.grafikon



1. grafikonon lehet látni a nyomásváltozást, ahogy egy maximális értékről politrop kiterjeszkedéssel csökken, majd egy hirtelen csökkenés látható, ahogy a hengerből kiürül a munkát végzett levegő.
2. grafikonon látható a hőmérséklet különbség az idő függvényében, mely a hőmennyiség meglétére enged következtetni. T1 a melegebb, T2 a hidegebb.
3. grafikon a gyorsulás-függvény, amennyiben teljesen ideális a gép és egyenletes a forgás, akkor szinuszosan változik.
4. grafikon a forgatónyomatékot mutatja. Ha egyenletes a terhelés, akkor az időben konstans érték.
5. grafikon a fordulatszám. Értéke konstans, mivel állandó a gyorsulásnak a szinuszos változása is.
6. grafikon az áramlás. Az áramlás értéke szintén állandó, mivel a forgás és a nyomaték is állandó.
7. grafikon a hőmennyiség változása időben felvázolva, állandó, ha a fordulatszám és az áramlás állandó.
8. grafikon a hatásfok. Ideális gép esetén a fent említett értékek állandóságából adódik, hogy a hatásfok is állandó lesz.

5. A valóságban mért eredmények kiértékelése

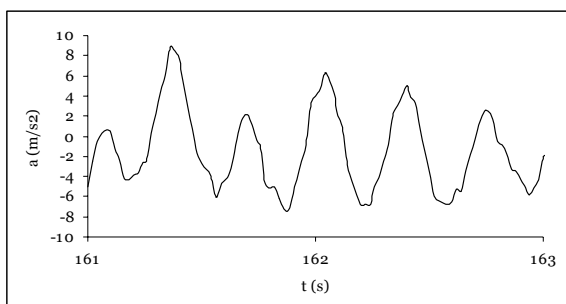
Ebben a fejezetben látszik igazán, hogy egy valóságban működő gép munkavégzése nem jósolható meg előre.

Sokkal pontosabb képet ad a modell elkészítése, vagy a tényleges gép létrehozása utáni, próbamenetes mérésorozat, mely felhívja a figyelmet a gép hibáira és működési struktúráira, menet karakterisztikájára. Valójában a terheléses mérések is végezhetők, melyek műszaki szempontból jelentős, és nem lehet pótolni előrejelzés értékű számításokkal.

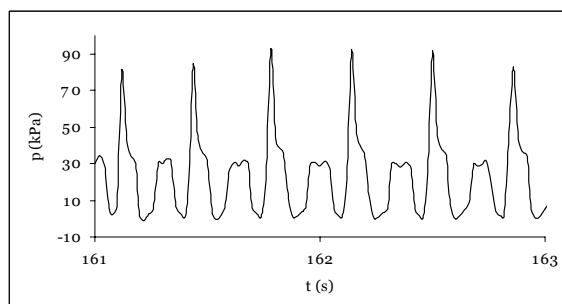
Itt láthatjuk, hogy az ideális géptől, mely csak elméletben létezik, milyen nagy eltérések mutatkoznak az egyes paraméterek időbeli változásában.

Ezeknek a grafikonjai az idő függvényében a következők reális gép esetén. Ez a szakdolgozat tárgyát képező gép paramétereit.

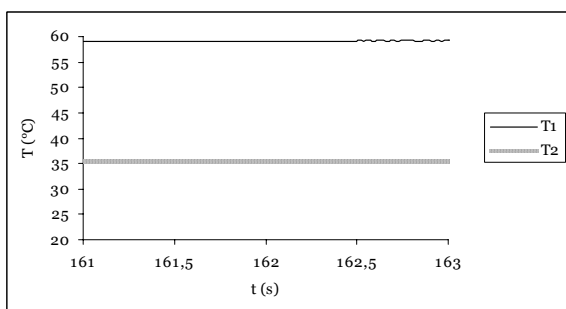
1.grafikon



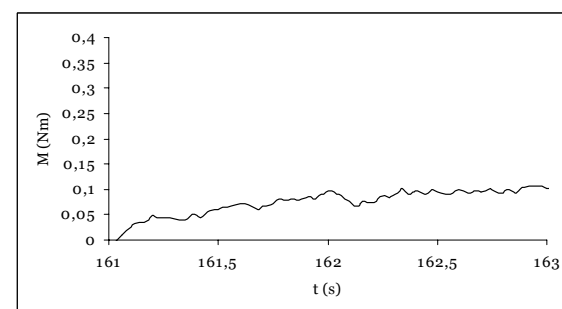
2.grafikon



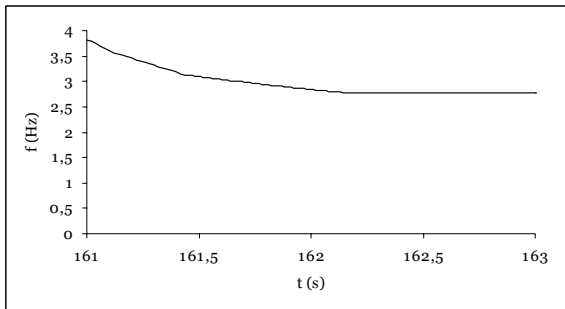
3.grafikon



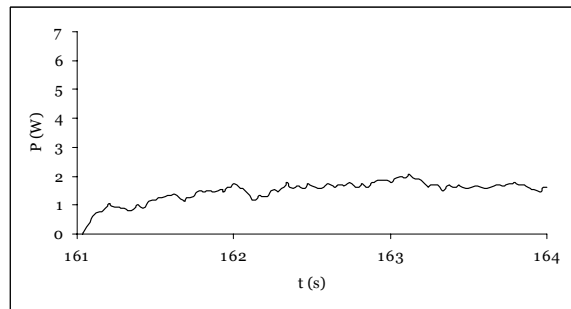
4.grafikon



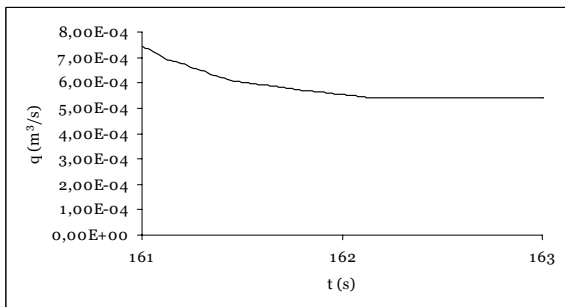
5.grafikon



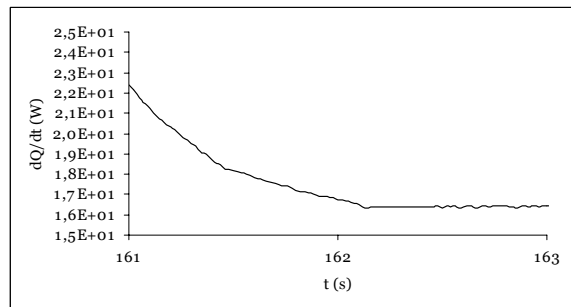
6.grafikon



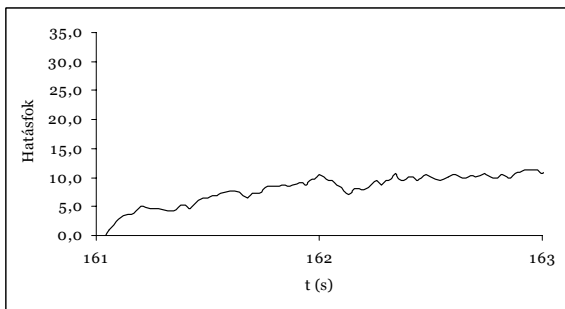
7.grafikon



8.grafikon



9.grafikon



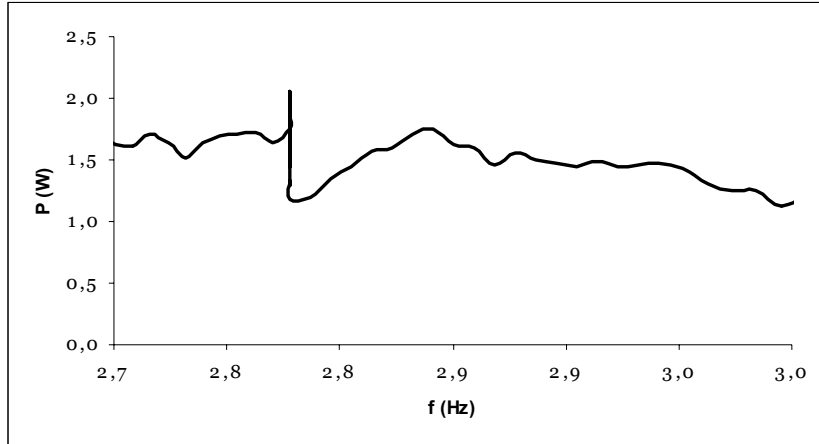
1. *grafikonon* lehet látni, hogy a gyorsulás nem szinuszosan változik. A gép fordulatszáma nem állandó, és a hirtelen nyomás növekedések szintén gyorsulási ugrásokat okoznak
2. *grafikonon* a nyomásváltozás elég szépen követi az ideális gép ugyanilyen változásait, de a „vizsgált hőerőgép részletezése” című fejezetben említett hibát tartalmazza. Ez abban nyilvánul meg, hogy a nyomásérzékelő az egyik fél periódust érzékeli mindig, de itt sajnos egy ellenlökést kapott a dugattyú, amely a másik hengertérből történő levegő átcsapásból eredt. Ez az a bizonyos dolog, amely képes lefékezni a mozgásban lévő gépet és lerontja a hatásfokot.

3. *grafikonon* látható a hőmérséklet különbség az idő függvényében. Ebben az esetben igen jó közelítéssel követi az ideális gép által teljesített, viszonylag ezt a legkönnyebb beállítani.
4. *grafikon* a forgatónyomatékokot mutatja, mely fokozatos emelkedésével mutatja a terhelés-változást, amit a gép ebben a rövid időszakban kapott.
5. *grafikon* a fordulatszám. Értéke fokozatosan csökkenést mutat, ahogy a terhelés növekszik, majd konstansra áll be. Ez mutatja azt, hogy mindig a forgatónyomaték növelése a fordulatszám esését vonja maga után.
6. *grafikon* a teljesítmény. Mivel ennek értékét a forgatónyomaték és a fordulatszám értékéből vezettük le, ezért adódott, hogy kezdetben a terhelés nélküli üres járáskor 0 volt az értéke, majd fokozatosan növekedett, ahogy a forgatónyomatékokat növeltük. Ennél a típusú gépnél a nagy nyomatékok hordozzák a teljesítményt és kevésbé érzékeny a fordulatszám alacsony voltára.
7. *grafikon* az áramlás. Az áramlás értéke csökkenő tendenciát mutat, ez annak köszönhető, hogy a fordulatszám leesett és a munkaközegben rejlő energia elkezdett hasznosulni.
8. *grafikon* a hőmennyiség szintén csökken, ez is azt jelenti, hogy a hatásfok növekszik.
9. *grafikon* a hatásfok. Az előzőek után egyértelműen látjuk, hogy a kettős működésű gőzgép inkább a nagyobb forgatónyomatékokat tolerálja és kevésbé szereti az üresjáratú forgást. A 3. fejezetben utaltam rá, hogy 10% hatásfok mellett ez a gép nem működne úgy, hogy visszacsatoljuk a forgást a kompresszor irányába. Általában egy jól megépített kettősműködésű gőzgép, melynek van kondenzátora, és vízpumpát hajt annak hatásfoka a teljes körfolyamatra 15%. Viszont az általam megépített gép hatásfoka úgy volt 10%, hogy a körfolyamat nem záródott teljesen, holott ennek a gépnek jól megépített változata 50-70%-ig kellene, hogy produkáljon és csak a körfolyamat zárása után, süllyedhetne vissza a $1 - (T_{\text{hűtő}}/T_{\text{kazán}})$ képlet által kiszámítható hatásfok értékre. Ez az érték $60 - 35 = 25$ ($^{\circ}\text{C}$) hőkülönbségnél 7,5 %. Tehát ha a munka részfolyamat 10 % és nem 50 feletti akkor nem lehet működőképesen zárni a körfolyamatot.

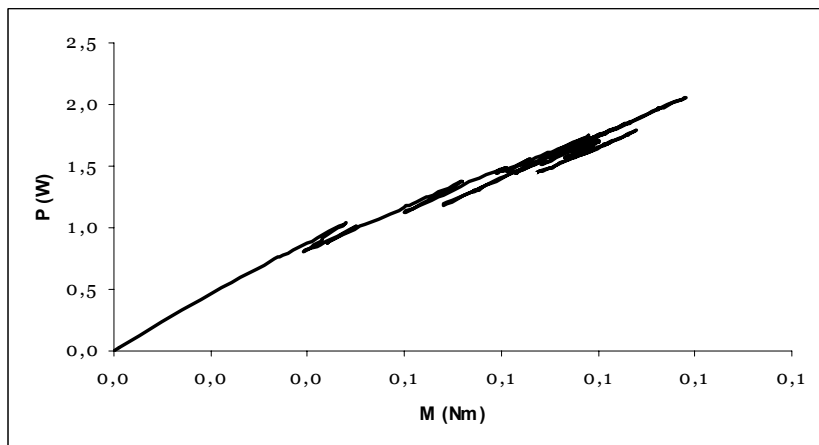
A gép futásának adatai az idő függvényében az 1. mellékletben található

6. Műszaki szempontból jelentős függvények

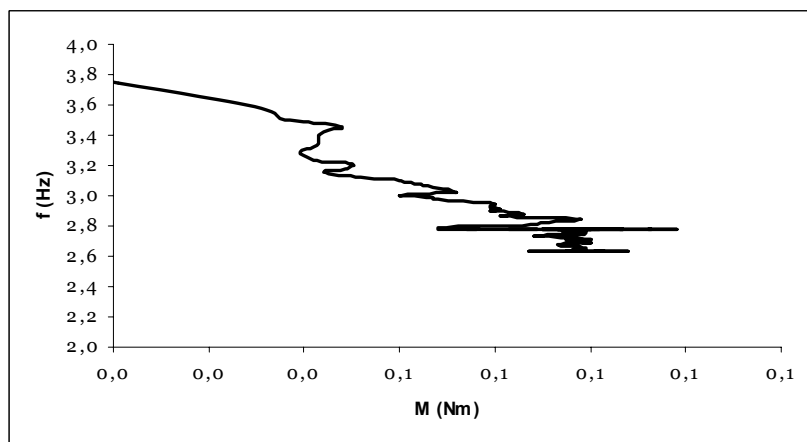
A teljesítmény függése a fordulatszámtól



Teljesítmény függése a forgatónyomatéktól



Fordulatszám függése a forgatónyomatéktól



Az első függvényen látjuk, hogy miként függ a teljesítmény a fordulatszámtól és ez a műszaki szempontból való vizsgálat miatt igen fontos. Általában a mérnökök ennek a függvénynek a segítségével tudják megállapítani, hogy egy motornak milyen fordulatszámnál jelentkezik egy teljesítmény maximum. Ebben az esetben 2.84 1/sec az a fordulatszám, ahol teljesítmény maximalizálásra nyílik lehetőség. Valószínű, hogy a függvény további menetvizsgálatában adódna még egy ilyen pont kb. 10 1/sec-nál. Ennél a következő pontnál valószínű hatványozottabban jelentkezne ez a hatás, mert itt a fordulatszám és a nyomaték is kb. háromszor nagyobb lenne, mint az előző esetben. Ezt az analízist ezzel a forgatónyomaték mérővel meglehetne valósítani, valamint elektromos motorral, benzinmotorral vagy gázturbinával is.

A második függvény vizsgálatánál a teljesítmény és forgatónyomaték kapcsolatát nézzük. Ez a grafikon fokozatos emelkedést mutat. Mivel kísérletünk során nem tudtunk elég nagy fordulatszámot elérni, ezért a grafikon végét nem látjuk, de valószínű egy hirtelen teljesítményesés állna be. Mert túl nagy terhelésnél valószínű megállna a gép. Ezt az analízist szintén el szokták végezni benzinmotoroknál, diesel motoroknál és gőzmotoroknál. Viszont nem szokták elvégezni általában gázturbináknál és elektromos motoroknál.

A harmadik függvény a fordulatszám és a forgatónyomaték kapcsolatát vizsgálja. Az általunk mért gépnél a forgatónyomaték növekedésével csökkenni kezd a fordulatszám. De itt is 2.8-3 1/sec fordulatonál erős ingadozást mutat. Ez is mutatja, hogy a gépnek itt egy változó pontja van.

Ezt az analízist ritkán végzik el, csak olyan esetekben, ahol egy adott motort úgy terveznek, hogy különböző célfeladatokat lásson el. Tehát ilyen motorok lehetnek az állandó fordulatszámra, állandó nyomatékra vagy állandó teljesítményre tervezett gépek. A melléletben láthatunk két példát belsőégésű benzinmotorok műszaki szempontból fontos (teljesítmény fordulatszám) függvényére. (2 és 3-as mellélet kép)

7. Módszertani összegzés

A dolgozatom során igen nagy hangsúlyt fektettem a történeti áttekintésre, a hőerőgépek egyes fajtáinak elemzésére és ezek hőtani folyamataira. Ennek jelentősége abban nyilvánul meg, hogy döntően oktatási célokat, és oktatási segédanyagok, előállítását szolgálja.

Ugyanis a dolgozat lehetőséget nyit arra egy középiskolában tanító tanárnak, hogy az emelt óraszámú osztályokban fakultáción vagy szakkörön a diákokat bevezesse a hőerőgépek elméletének megértésébe.

Gyakorlatilag a hőerőgépek felsorolása nem egy öncélú tevékenység volt a dolgozat során, mert ennek segítségével lehet projekt munkát vagy házi dolgozatot készíttetni diákokkal. Tulajdonképpen a dolgozat anyaga az oktatásban felhasználható, mert lényeges fogalmakat tartalmaz a hőtani folyamatok elmagyarázásában, melyeket általában igen nehéz megközelíteni bonyolultságuk miatt. Bár a tananyagnak igen nagy részét más teszi ki a fizikában, de a hőtanhoz érve mindenféleképpen célszerű megemlíteni a gépek fejlődését 10-20 perc elegendő rá egy tanórából. A mérés-technikai háttér általában már nem egy kis óraszámú osztálynál alkalmazható.

Az idealizált grafikonok és a szakdolgozat kísérleti részét képező valóságban mért eredmények kiértékelését csak szakkörös osztályban érdemes belevonni a tanár mondanivalójában. Ez utóbbi többnyire olyan diákoknak mond valamit, akik műszaki érdeklődéssel rendelkeznek és továbbtanulásukat is ezen a téren, képzelik el. Különösen, ha van közöttük olyan, aki az energetika irányában érdeklődik. A szakdolgozat elejét képező rész megemlítése azért fontos normál óraszámú osztályokban is, mert viszonylag nagy félreértések vannak a hőerőgépekkel kapcsolatban.

A dolgozat természetesen nem egy meghatározó dolog, amelytől nem szabad eltérni, mert tulajdonképpen csak lehetőséget nyújt arra, hogy egy fizika tanár milyen irányban induljon el, hogyha ezeket, a működési folyamatokat szemléltetni szeretné az óráján. Tulajdonképpen kötelező jellege nincs a leírtaknak, a tanár dönti el, ha szüksége van rá, hogy felhasználja vagy nem.

8. Összefoglalás

A dolgozat megírását többnyire olyan dolgok motiválták, hogy a világban a hőerőgépek igen nagy szerepet játszanak az élet minden területén. Szinte megkerülhetetlen az, hogy az ember ne találkozzon nap, mint nap velük.

Jelentősége ott ragadható meg, hogy a közlekedés 99 %-át hőerőgépek munkájával bonyolítják. Az energiatermelésnek 85-90 %-a szintén hőerőgépek eredménye. A közlekedésben motorbicikli, személygépkocsi, tehergépjárművek, hajók, repülőgépek és a még a rakéta is hőerőgépeket használ.

Mivel számuk igen nagy a mindennapi életben, ezért érdemes elgondolkodni a működésükön is. Ezek a gondolatok azért fontosak, mert igen sok már említett félreértés történik ezen gépek működésével kapcsolatban.

A dolgozatban szereplő gép egy példát ad ennek megértésére és a megmért paraméterek még nem teljesek, vagyis a lehetőségek nem merültek ki azzal, hogy a virtuális mérés technikával a gépre jellemző egy-két paramétert szemléltettünk. Tulajdonképpen további lehetőségek ad a gépre felszerelt szenzorok a virtuális mérés technika segítségével annak megértésében, hogyha különböző terhelési szinteket állítunk be és változtathatjuk a munkaközeg nyomását, a munkaközeg hőmérsékletét és gyakorlatilag az összes fizikai mennyiséget. Így változtatható beállítások mellett felderíthetjük a teljes viselkedését a gépnek, erre teljesen nem került sor. De a lehetőség fennáll, hogy a későbbiekben, aki foglalkozni szeretne a témával, az megtehesse és így igen sok információt, szerezhet ennek az egy géptípusnak a működéséről. Ezek a mai napig nem tisztáztak, mert ezt a géptípust már igen korán felváltották más gépek. De a mérés elve rámutat arra, hogy ennek alapján más gépeket is lehessen így mérni.

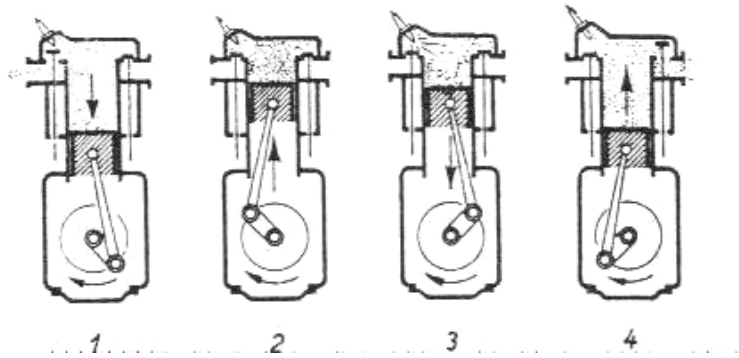
Gyakorlatilag a méréseket felhasználva tisztázódhat egy csomó olyan kérdés, amely más gépeknél merül fel, ha nem szigorúan vesszük, akkor elektromos motort is lehetne ilyen mérési elvvel vizsgálni. Ide természetesen más szenzorok lennének szükségesek, amely lehetőséget adna egy más típusú szakdolgozat elkészítéséhez.

9. Melléklet

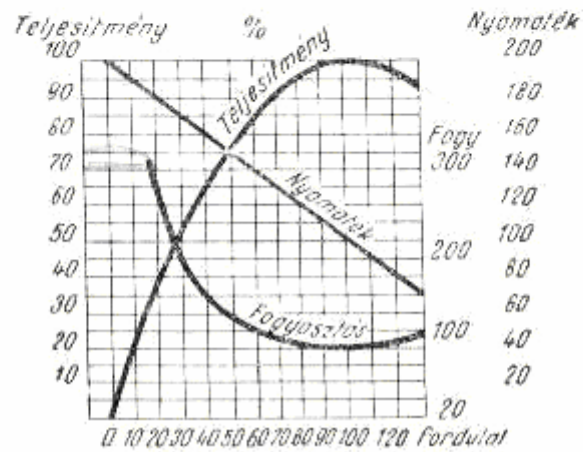
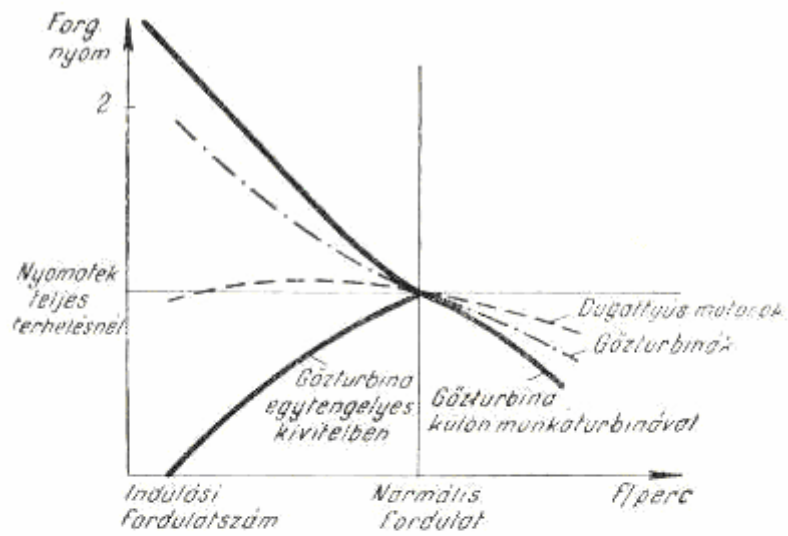
A gép futásának adatai mérés közben. 1. melléklet táblázat

t (s)	a (m/s ²)	p (kPa)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	M (Nm)
16,1	3,971	1,671	29,59	26,712	-0,085
16,12	2,409	1,128	29,637	26,712	-0,084
16,14	0,972	46,159	29,59	26,712	-0,091
16,16	-0,388	50,77	29,637	26,712	-0,085
16,18	-2,036	33,952	29,637	26,712	-0,082
16,2	-2,841	27,713	29,637	26,712	-0,078
16,22	-3,866	13,336	29,637	26,758	-0,074
16,24	-4,555	-0,77	29,637	26,712	-0,075
16,26	-4,23	0,043	29,637	26,712	-0,075
16,28	-4,872	3,299	29,637	26,712	-0,075
16,3	-4,316	5,74	29,637	26,712	-0,074
16,32	-2,41	27,713	29,685	26,712	-0,068
16,34	-1,806	31,51	29,685	26,712	-0,066
16,36	-0,743	29,883	29,637	26,712	-0,063
16,38	0,857	27,713	29,732	26,712	-0,064
16,4	-0,561	6,011	29,685	26,712	-0,059
16,42	-1,643	2,214	29,732	26,712	-0,067
16,44	-2,505	0,586	29,685	26,712	-0,064
16,46	-3,329	31,239	29,732	26,758	-0,063
16,48	-4,948	58,366	29,732	26,712	-0,064
16,5	-5,312	36,936	29,779	26,712	-0,062
16,52	-7,247	28,255	29,732	26,712	-0,059
16,54	-6,711	20,931	29,732	26,712	-0,062
16,56	-7,018	-0,228	29,779	26,712	-0,063
16,58	-6,002	-0,77	29,779	26,712	-0,055
16,6	-3,406	2,214	29,779	26,712	-0,058
16,62	-2,007	4,112	29,779	26,712	-0,06
16,64	-1,155	25,271	29,779	26,712	-0,062
16,66	0,474	30,697	29,826	26,712	-0,063
16,68	2,342	30,425	29,826	26,712	-0,061
16,7	4,277	28,798	29,826	26,712	-0,064
16,72	5,494	9,266	29,826	26,712	-0,064
16,74	6,088	2,756	29,826	26,712	-0,056
16,76	5,925	0,857	29,873	26,712	-0,048
16,78	4,153	10,894	29,873	26,712	-0,052
16,8	0,34	74,099	29,873	26,712	-0,051
16,82	-0,177	41,819	29,873	26,712	-0,055
16,84	-1,969	30,154	29,873	26,712	-0,05
16,86	-3,674	27,713	29,873	26,712	-0,049
16,88	-4,632	4,112	29,92	26,712	-0,049
16,9	-6,347	-1,313	29,92	26,712	-0,042
16,92	-6,222	1,128	29,92	26,712	-0,033
16,94	-6,28	4,926	29,92	26,712	-0,039
16,96	-5,734	15,234	29,92	26,666	-0,033
16,98	-5,925	29,34	29,92	26,712	-0,036
17	-1,748	31,239	29,967	26,712	-0,037

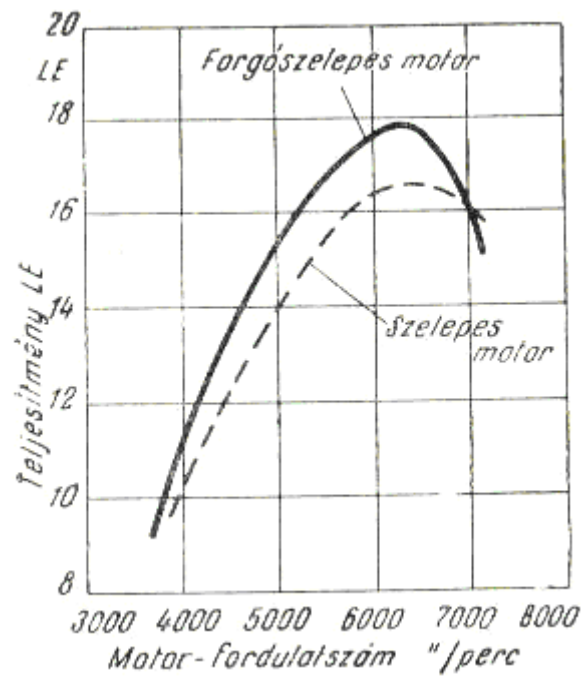
f (Hz)	P (W)	q (m ³ /s)	Q° (W)	Hatásfok
3,028	-1,7883956	0,000196554	7,13E-01	-2,51E+00
3,017	-1,6112915	0,00019584	7,10E-01	-2,27E+00
3,006	-1,6431912	0,000195125	7,19E-01	-2,28E+00
2,995	-1,6748145	0,000194411	7,17E-01	-2,34E+00
2,984	-1,6499142	0,000193697	7,03E-01	-2,35E+00
2,974	-1,5883264	0,000193048	7,12E-01	-2,23E+00
2,963	-1,5638346	0,000192334	7,21E-01	-2,17E+00
2,952	-1,6878646	0,00019162	7,07E-01	-2,39E+00
2,941	-1,5707021	0,000190906	7,15E-01	-2,20E+00
2,953	-1,5214482	0,000191685	7,18E-01	-2,12E+00
2,964	-1,4526222	0,000192399	7,21E-01	-2,01E+00
2,976	-1,3837082	0,000193178	7,13E-01	-1,94E+00
2,987	-1,4075906	0,000193892	7,27E-01	-1,94E+00
2,999	-1,4132455	0,000194671	7,30E-01	-1,94E+00
3,01	-1,4184291	0,000195385	7,32E-01	-1,94E+00
3,022	-1,4050962	0,000196164	7,35E-01	-1,91E+00
3,033	-1,2958693	0,000196878	7,50E-01	-1,73E+00
3,045	-1,2627318	0,000197657	7,53E-01	-1,68E+00
3,056	-1,2096891	0,000198371	7,43E-01	-1,63E+00
3,068	-1,233716	0,00019915	7,71E-01	-1,60E+00
3,079	-1,1414097	0,000199864	7,61E-01	-1,50E+00
3,091	-1,3012288	0,000200643	7,76E-01	-1,68E+00
3,102	-1,2473882	0,000201357	7,67E-01	-1,63E+00
3,114	-1,2326479	0,000202136	7,70E-01	-1,60E+00
3,125	-1,2566371	0,00020285	7,85E-01	-1,60E+00
3,125	-1,2173672	0,00020285	7,97E-01	-1,53E+00
3,125	-1,1584623	0,00020285	7,85E-01	-1,48E+00
3,125	-1,2173672	0,00020285	7,85E-01	-1,55E+00
3,125	-1,2370021	0,00020285	7,97E-01	-1,55E+00
3,125	-1,0799225	0,00020285	7,97E-01	-1,35E+00
3,125	-1,1388273	0,00020285	7,97E-01	-1,43E+00
3,125	-1,1780972	0,00020285	7,97E-01	-1,48E+00
3,125	-1,2173672	0,00020285	7,97E-01	-1,53E+00
3,125	-1,2370021	0,00020285	8,09E-01	-1,53E+00
3,125	-1,1977322	0,00020285	8,09E-01	-1,48E+00
3,125	-1,2566371	0,00020285	8,09E-01	-1,55E+00
3,125	-1,2566371	0,00020285	8,09E-01	-1,55E+00
3,125	-1,0995574	0,00020285	8,09E-01	-1,36E+00
3,125	-0,9424778	0,00020285	8,22E-01	-1,15E+00
3,125	-1,0210176	0,00020285	8,22E-01	-1,24E+00
3,125	-1,0013827	0,00020285	8,22E-01	-1,22E+00
3,114	-1,0761211	0,000202136	8,19E-01	-1,31E+00
3,103	-0,9748362	0,000201422	8,16E-01	-1,20E+00
3,093	-0,9522607	0,000200773	8,13E-01	-1,17E+00
3,082	-0,9488741	0,000200059	8,22E-01	-1,15E+00
3,071	-0,8104178	0,000199345	8,19E-01	-9,89E-01
3,06	-0,6344761	0,000198631	8,16E-01	-7,77E-01
3,049	-0,7471398	0,000197917	8,13E-01	-9,18E-01
3,038	-0,6299145	0,000197203	8,22E-01	-7,66E-01
3,028	-0,6849175	0,000196554	8,08E-01	-8,48E-01
3,017	-0,7013857	0,00019584	8,17E-01	-8,59E-01



1. kép. A négyütemű benzinmotor műszaki ütemei 1-4-ig. [1]



2. kép Műszaki szempontból fontos karakterisztikák dugattyús benzinmotor estén. [7]



3. kép. Szelepes forgótollatús 250 cm³-es NSU motor teljesítménygörbéje [7]. Ezen a példán is láthatjuk a hőerőgépek teljesítőképességének fordulatszám szerinti függését.

10. Hivatkozások, irodalomjegyzék

- [1] Budó Ágoston – *Kísérleti fizika I*
- [2] P.W. Atkins – *Fizikai kémia I (Egyensúly)*, Nemzeti tankönyvkiadó Bp. (1998)
- [3] *Négyjegyű függvénytáblázatok Matematikai, fizikai, kémiai összefüggések*, Nemzeti tankönyvkiadó
- [4] <http://www.cbt.ch>, <http://www.boydhowse.com>
- [5] Gregus Ferenc - *Élhetetlen feltalálók, halhatatlan találmányok (1.-2. kötet.)* Móra Ferenc Könyvkiadó (1985)
- [6] *Csongrád Megyei Állami Közútkezelő Kht. Udvara – Juhász Gyula utca*
- [7] Ternai Zoltán – *A motorkerékpár*, Műszaki könyvkiadó (1965)
- [8] *Haditechnikai kislexikon*, Zrínyi Katonai Kiadó (1976)
- [9] Thomas Kamps – *Modellstrahltriebwerke*, Werbung für Technik und Handwerk (1999)
- [10] <http://www.motorola.com>
- [11] <http://www.analog.com>
- [12] dr. Gingl Zoltán és dr. Kántor Zoltán – *Valódi virtuális mérőműszerekkel-multimédiás PC-k a tanári kísérleti demonstrációban.*
<http://www.noise.physx.u-szeged.hu>

11. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Dr. Gingl Zoltánnak a szakdolgozat elkészítése során, felmerülő problémák megoldásában nyújtott segítségéért, valamint Makra Péternek. Továbbá köszönet illeti a Kísérleti Fizikai Tanszékot, hogy lehetőséget biztosított a szakdolgozat elkészítéséhez.

12. Nyilatkozat

Alulírott Tóth Imre, Fizika-Környezettan szakos hallgató, kijelentem, hogy a szakdolgozatban foglaltak saját munkám eredményei, és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem azt, hogy szakdolgozatomat/diplomamunkámat a Szegedi Tudományegyetem könyvtárában, a kölcsönözhető könyvek között helyezik el.

.....
aláírás

2005.05.05