

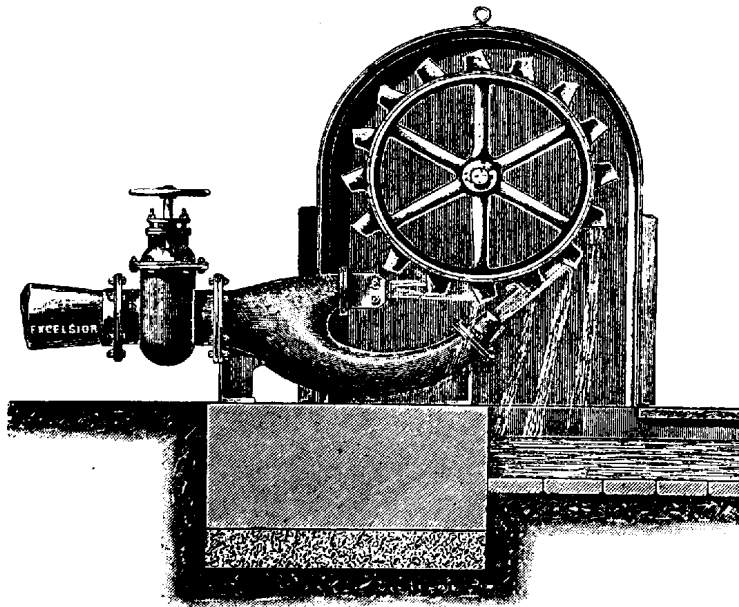
A dugattyús gőzgépekben a gőz feszítő ereje a dugattyút előre s hátra mozgatja. E mozgást a legtöbb esetben csak forgó mozgássá való áttétel útján lehet munkagépek hajtására felhasználni. A forgó mozgássá való áttétel pedig 10 – 15 %-át felemésztí az energiának.

E veszteség eltüntetése céljából a gépszerkesztők már régen arra törekedtek, hogy olyan gépet állítsanak elő, amely a gőz energiáját közvetlenül alakítja át forgó mozgássá. Törekvésük, jóllehet megvoltak a forgó mozgást közvetlenül előállító ősminták (Heron, Branca gépei), egész a múlt század végéig nem járt sikerrel. Csak a nyolcvanas években, amikor már nagy számmal készültek olyan gépek, amelyek helyes működése igen gyors forgást igényelt, pl. a centrifugál-szivattyúknak percenkint 300 – 1500, a dinamó-gépeknek 1 – 2000 fordulatra volt szükségök, tehát amikor a gyakorlat teremtett kényszerítő szükségét, akkor nyert a feladat megoldást, a turbinák révén. A megoldás érdeme az angol *Parsons-é* és a svéd *De Laval-é*.

Az első turbina szerkesztése óta eltelt 20 esztendő alatt lázas tevékenység folyik a turbina szerkesztés terén. Legalább is kilencven fajta turbina keletkezett. Nagy részök nem életre való. A jobbokról sem alakulhatott még minden tekintetben egységes vélemény, mert többnyire kísérleti stádiumban vannak. De egynéhány már is méltó versenytársa a száz év óta fejlődő dugattyús gőzgépnek, sőt úgy látszik, nemsokára föléje is kerekedik.

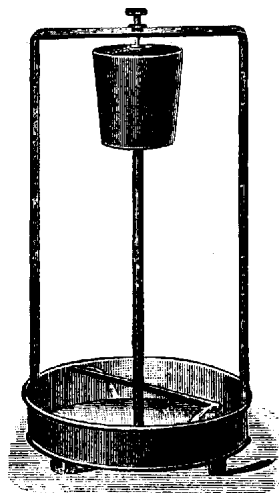
Feladatunk lesz a legfontosabb turbinák szerkezete lényegével megismerkedni, működési módjukat megérteni és megállapítani, mi tekintetben előnyösek, vagy hátrányosak a dugattyús gépekkel szemben.

A dugattyús gépekben a gőz pusztán a feszítő erejével dolgozik; a turbinákban pedig sebességével, vagy sebessége mellett feszítő erejével is. Sebességével olyanformán dolgozik, mint a víz a *Pelton-féle* (amerikai 1884.) kerékben (1. ábra).



1. ábra

Itt ugyanis a nagy nyomás alatt sebesen kiáramló víz egy tengely körül forogható kerék lapátjaiba ömlik és energiája nagy részét úgy adja le a lapátoknak. Feszítő erejénél fogva meg olyan formán dolgozik, mint a víz a *Segner-féle* (magyar 1750.) kerékben (2. ábra).

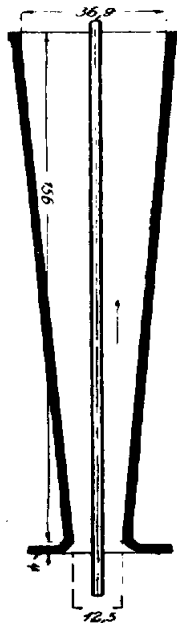


2. ábra

Itt ugyanis a vízsugár kiömlési helyén a víz oldalnyomása megszűnik, a szemközt lévő falon pedig működik s ez a nyomás forgatja a szerkezetet a víz kiömlésével ellenkező irányban.

A turbinákat aszerint, amint a gőz sebessége, vagy nyomása érvényesül bennök, akciós, illetve reakciós turbináknak nevezik. A tisztán akciós turbinák ősmintája a *Branca* gépe (Középisk. Math. Lapok. XII. köt. 2. l.), a tisztán reakciósaké a *Heron* gőzforgója (ugyanott, 1. l.).

Az újabb fejlődés kezdetén a legelső akciós turbinát *De Laval* készítette 1887-ben. Hogy a turbinát megérthessük, tudnunk kell, hogyan hozta *De Laval* áramlásba a gőzt és milyen sebességet nyert ezen a réven. Ha egy gőztartóban nagy nyomású gőz van és a tartó falába nyílást vágunk, a gőz kiáramlik a nyíláson és minden irányban expandál. Az energiája e szétszóródás folytán egy bizonyos irányban nem kényszeríthető munka végzésre. De ha a nyíláshoz kúpszerűen vastagodó csövet, úgynevezett fúvócsövet alkalmazunk, az energia szétszóródását megakadályozhatjuk. Ilyen fúvócsövet alkalmazott *De Laval*. A cső keresztmetszetét a 3. ábra mutatja.



3. ábra

A sebességet, mellyel a gőz a fúvócsövet elhagyja, a következő megfontolással lehet kiszámítani: A gőz a nyíláson való kiömlése és a fúvócsöven való átáramlása közben meleget nem vesz fel és nem ad ki, tehát adiabatikusan változik. E közben munkát sem végez. Tehát az a meleg, amelyet a nagyfokú kiterjeszkedés folytán előálló lehűlés miatt veszít, kizárólag részecskéinek mozgási energiájává alakul át. Ha tehát az elveszített meleget és a rovására fellépett mozgási energiát egyenlőssítjük, kiszámíthatjuk a sebességet.

Lássunk egy példát. Tegyük fel, hogy a gőztartóban a kiáramlás előtt 1 kg gőzben van Q_1 kg kalória meleg, a fúvócsöven való végigáramlás után Q_2 kg kalória meleg, akkor a veszteség $Q_1 - Q_2$, mely $(Q_1 - Q_2)$ 424 méterkilogramm munkával equivalent. Ha tehát az áramlás sebességét v -vel jelöljük, fennáll, hogy

$$424 \cdot (Q_1 - Q_2) = \frac{v^2}{2g}, \text{ honnan } v = \sqrt{2g \cdot 424(Q_1 - Q_2)}.$$

Ha Q_1 és Q_2 értékeit gőztáblázatokból kiolvassuk és e képletbe behelyettesítjük, kiszámíthatjuk a sebességet. Pl., ha a gőztartóban 10 légköri nyomású, száraz, telített gőz van, ennek kg-ja 661 kg kalória meleget tartalmaz. Ha adiabatikusan, munkavégzés nélkül áramlik át a fúvócsöven, s e közben nyomása 1 légköri nyomásra száll le, melegtartalma 569 kg kalóriára csökken, tehát vesztesége: $Q_1 - Q_2 = 69$ kg kalória. Így

$$v = \sqrt{2g \cdot 424 \cdot 92} = 874 \frac{\text{m}}{\text{sec}}.$$

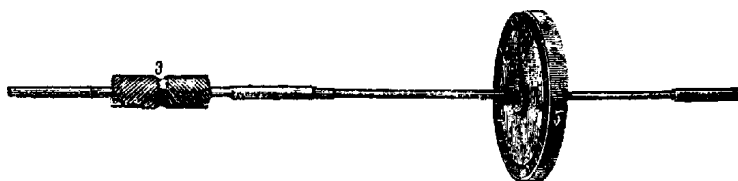
Ha a gőz egy légköri nyomásnál alacsonyabb nyomású térbe ömlik, még nagyobb lesz a sebessége, pl. 0,1 atmoszféra nyomású térbe ömléskor $1200 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$.¹

A sebesség ily módon számított értékétől, amint *Lewicki*, dresdai tanár 1903-ban számos kísérlettel igazolta, a tényleges sebesség alig különbözik egy pár (legfeljebb 4) századrésznnyire.

¹ Az izothermikus változást a *Boyle-Mariotte*-féle egyenlet $p_1 v_1 = p_2 v_2$ írja le. Az adiabatikus változást a *Poisson*-féle egyenlet: $p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$, hol k az állandó nyomás és állandó térfogat melletti fajmelegek hányadosát jelenti.

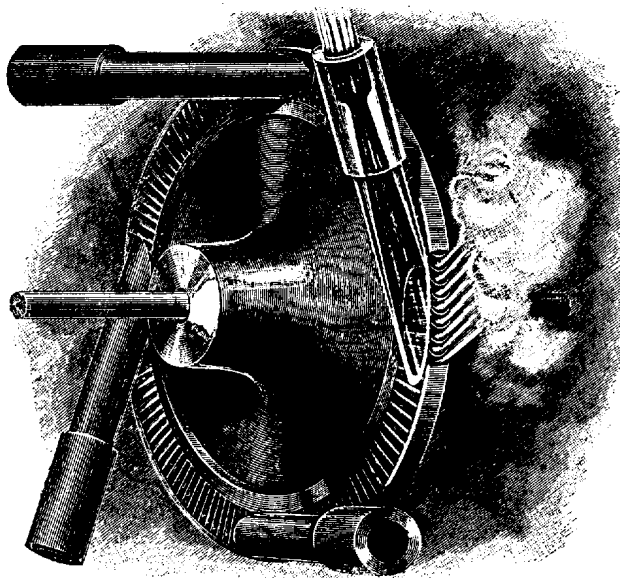
Ha már most a fűvocsőből kiáramló gőzt lapátos kerékre bocsátjuk, a kerék forgásba jön s e forgás tetszőlegesen felhasználható munkavégzésre. Természetesen, minél nagyobb a gőz sebessége, annál gyorsabb forgásba hozza a kereket s ugyanazon idő alatt annál több energiát ad le. De a kerék sebessége épp oly nagy nem lehet, mint a gőzé, mert akkor a gőz a kerékhez képest nyugalomban lenne s így nem is adhatna le annak energiát. Hanem, tapasztalás szerint, akkor ad le legtöbb energiát, ha a kerék sebessége körülbelül fél akkora, mint a gőz sebessége. Ha tehát csak $1000 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ -os gőzsebességet számítunk is, a legjobb hatásfok elérése céljából kell hogy a kerék lapátjai körülbelül $500 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ sebességgel haladjanak. (A Manlicher-puskából kilőtt golyó kezdő sebessége nem sokkal több, $600 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$). Ez a nagy sebesség olyan óriási centrifugális erőt hoz létre a forgó keréken, hogy a gyakorlatban való megvalósításától eleinte mindenki visszarettent. Bármily tökéletesen legyen ugyanis szerkesztve a kerék, lehetetlen, hogy a súlypontja pontosan beleessék a forgási tengelybe, tehát lehetetlen, hogy a szabad tengelye összeessék a geometriai tengelyével. Ha pedig nem esik össze, minthogy a korong szabad tengelye körül iparkodik forogni, a forgástengely olyan nagy erőnek van kitéve, hogy ennek még a legerősebb anyagból készült tengely sem tud ellent állani.

De Laval e nehézséget mesterien oldotta meg. Ugyanis a forgó korongot igen vékony, ceruzánál vékonyabb, hosszú tengelyre erősítette, a legkisebbeket 5 mm-es, a legnagyobbakat (300 lóerőseket) 35 mm-es átmérőjűekre és minthogy ez a gyenge, hajlékony tengely a centrifugális erő hatásának enged, a korong forgási tengelyévé lassan-lassan a szabad tengelye válik. (4. ábra.)



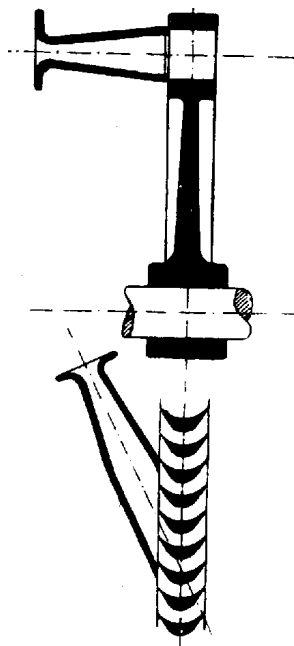
4. ábra

Ezek után egészen véve is megértjük a Laval turbináját (5. ábra).



5. ábra

A gőz a kazánból a gőzelosztó csőbe jut, amely a turbinatartót gyűrűalakban fogja körül. Innen a fűvocsőveken át jut a tartó belsejében levő korong lapátjaihoz. A fűvocsővek páronként szimmetrikusan vannak elhelyezve a korong kerületéhez képest s a korong lapátjai a 6. ábrán látható módon úgy vannak készítve, hogy a gőz ütközés nélkül juthat beléjük s így az energiája lehető teljes mértékben fordítódik a korong forgatására. A gőz a lapátokon való átáramlás után vagy a szabadba, vagy a kondenzátorba áramlik.

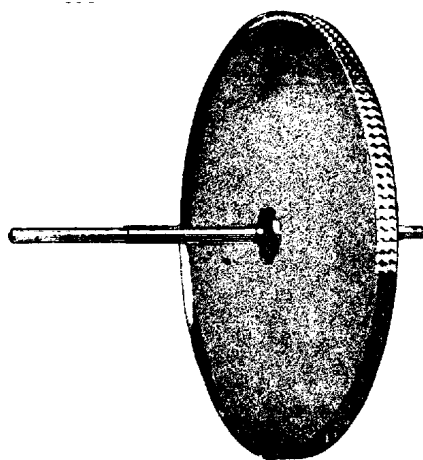


6. ábra

A forgókorong átmérője Lavalnál átlag kicsiny, legfeljebb 3,5 dm. Ha e legnagyobb átmérőt tételezzük is fel, $500 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ kerületi sebesség mellett legalább is 28.000 percenkénti fordulatszámot kapunk. Ilyen gyors forgást egy gépben sem lehet értékesíteni, azért Lavalnak fogaskerekek alkalmazásával tizedrészére, vagy még kevesebbre kellett redukálni a fordulatszámot.

A fogaskerék-áttétel azonban egyfelől energiát emészt fel, másfelől meg nagy helyet foglal el és erős zajt csap. *Riedler* és *Stumpf*, berlini tanárok, úgy segítenek a bajon, hogy a forgó korongot sokkal nagyobb átmérővel (2 – 5 méteressel) készítik, miáltal a fordulatszámot, ugyanazon kerületi sebesség mellett is, tetemesen csökkentik. Így 4 m-es átmérővel elérik, hogy a fordulatszám, $500 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$ kerületi sebesség mellett is, csak 2400 percenként. Persze, a gép térfogata ezen a réven tetemesen megnövekszik.

Riedler és *Stumpf* a forgó korong peremét szélesre készítik (7. ábra) s ebbe páronként, egymás mellett kanálszerű mélyedéseket vésnek. Ezek helyettesítik a lapátokat. A fűvócsövekből ezek közé, középre áramlik a gőz s a gőzsugár kettéválva, beáramlik mind a két mélyedésbe s itt ütközés nélkül adja le az energiáját, úgy, mint a Laval turbinában a lapátoknak.



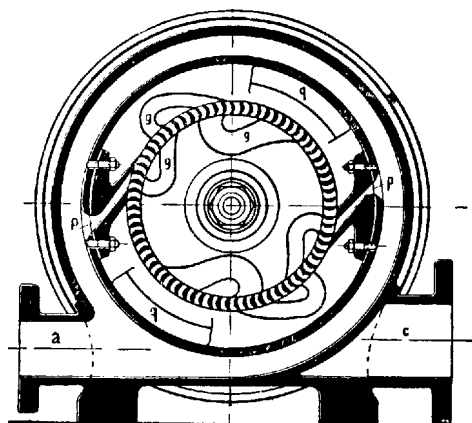
7. ábra

Mint hogy a Laval turbina rendkívül gyors forgásának hasznosítható lassú forgássá való áttétele sok energia veszteséggel jár és mint hogy az elég lassú forgású *Riedler* és *Stumpf*-féle turbinának szerfelett nagy méretei vannak, arra törekedtek a gépszerkesztők, hogy a lassú forgást más módon tegyék lehetővé. Sikerült is a gőz sebességének vagy nyomásának részletekben való lefokozásával.

A sebességet több módon is szokták lefokozni. Egyik mód az, hogy a fűvócsőből teljes sebességgel kiáramló gőzt elég lassan forgó lapátos kerékre bocsátják, melynek lapátjai közt való átáramlás közben tehát a gőz nem adja le összes energiáját, hanem csak egy részét, pl. felét. A megmaradó sebességével azután egy másik lapátos kerékre ömlik, a

hol vagy leadja összes energiáját, vagy megint csak egy részét s aztán egy harmadik kerékre ömlik és így tovább. És minthogy a kerekek valamennyien ugyanazon tengelyre vannak szerelve, az összes energiát egy tengely veszi át. Ilyen berendezésű a *Curtis* turbina.

A sebesség lefokozásának egy másik módja ugyanezt az elvet valósítja meg, csak hogy egy forgó kerék segélyével. Ugyanis a fűvócsőből teljes sebességgel áramló gőz ráömlik a forgó kerék lapátjaira. Itt az előbb említett oknál fogva nem veszi el egész sebességét, csak egy részét. A megmaradó sebességgel beáramlik egy vezetőcsőbe, amely oly módon görbül, hogy ismét rávezeti a gőzt ugyanazon kerékre, csak távolabb eső lapátjaira. Itt megint csökken a gőz sebessége. Aztán egy új vezető csőbe jut, mely ismét a kerékre tereli és így tovább, amíg csak a sebessége zérussá nem lesz. Végre az utolsó lapátcsoportról a szabadba jut, vagy a kondenzátorba. Ilyen berendezésű a *Kolb*-féle turbina (8. ábra).



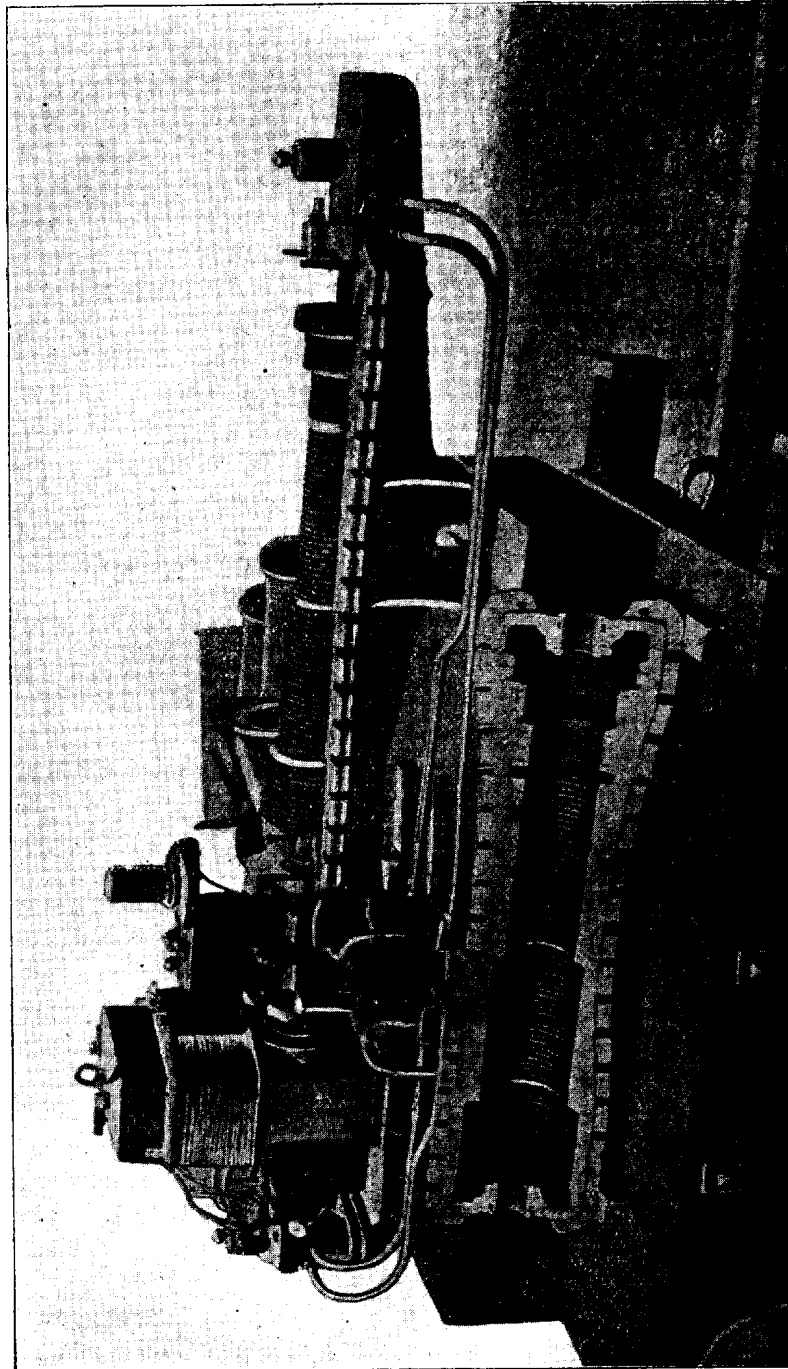
8. ábra

A friss gőz *a*-nál áramlik be, körülveszi az egész turbinatartót s a *p* fűvócsöveken át a kerékkoszorúra áramlik. Onnan a vezetőcsőbe, ismét a kerékkoszorúra és így tovább. Végre *q*-nál elhagyja a turbinát.

A nyomás lépcsőzetes lefokozása pedig így történik. A fűvócsövet rövidebbre készítik, mint az eddig megismert turbinákban. A rövid fűvócsövön átáramló gőz nyomása nem száll le arra az értékre, amellyel elhagyja a turbinát, hanem az eredetinek csak egy bizonyos hányadrészére.

Tehát a sebesség is csak bizonyos hányadrésze lesz annak, amellyel teljes expanzió mellett jutott volna ki a gőz. Ez a sebesség és nyomás egy kerékkoszorún elvégzi a maga munkáját, azután egy vezetőkoszorún át egy másik kerékkoszorúra áramlik, hol ismét csökken a nyomása és így tovább, míg az utolsó kereket aztán többé nem értékesíthető nyomással és sebességgel hagyja el.

A legelterjedtebb és az eddig szerzett tapasztalok alapján legéltékesebbnek bizonyult turbina a *Parsons*-féle (9. ábra). Ez lényegében sok, egyazon tengelyre szerelt turbinából áll, amelyeken egymásután halad át a gőz.



9. ábra

Ugyanis egy tengelyre rá van erősítve egy egész sereg lapátos forgókoszorú és e koszorús tengelyt körülveszi egy henger, melynek belső falára a gőzvezető lapátok, a gőzvezető koszorúk vannak erősítve, úgy, hogy két-két forgó koszorú közt van egy-egy fix vezető koszorú. A fix vezető koszorúk és a forgó koszorúk közt 1–3 mm-nyi köz van. A gőz beömlik a tengely egyik végénél az első fix koszorúba. Ennek lapátjai közt expandál egy keveset s a nyert sebességgel beömlik az első forgó koszorúba. Ennek lapátjai közt átfutván, sebessége irányt változtat s így jut a második vezető koszorúba, onnan a második forgó koszorúba és így tovább: végre az utolsóból a szabadba vagy a kondenzátorba. Itt tehát a gőz nemcsak sebességével, hanem nyomásával is végez munkát, azért ez akciós és reakciós turbina. Természetesen, minthogy a tengely irányában áramló s mind jobban-jobban expandáló gőznek nagyobb-nagyobb térfogatra van szüksége, a vezető és forgó koszorúk sugarai a tengely azon vége felé, amerre a gőz áramlik, fokozatosan nagyobbodnak. Ez a turbina igen biztos működésű és hosszas használat után sem szorul javításra, mert egyes részei, 70.000 lapát is lévén egy nagy turbinában; nagy teljesítmény mellett is nagyon kevéssé vannak igénybe véve.

A turbináknak az itt említett fajain kívül még sok más fajtája van. A legtöbbet még kísérleteznek és valamennyi lényegében azon elveken épül fel, amelyekkel itt megismerkedtünk. Ha ezekkel nem is foglalkozunk részletesen, már az eddigiek alapján megállapíthatjuk, mi tekintetben előnyös vagy hátrányos a turbina a dugattyús gépekkel szemben.

1. Mint láttuk, a turbina a gőz energiáját közvetlenül átalakítja forgó mozgássá. Ezzel elkerülhetők a dugattyús gépeknél nagy szerepet játszó mozgás áttételek és megszűnik az áttételekkel járó energia pazarlás. A forgás egyenletes-

sege folytán a turbina simán jár, az alapot nem rázza, tehát különösen előnyös ott, ahol a rázás kellemetlen hatásának kiküszöbölése feltétlenül kívánatos, mint pl. a hajókon. A sima járás miatt nem is igényel olyan erős alapozást, mint a dugattyús gépek.

2. A turbina szinte aránytalanul kisebb térfogatot foglal el és sokkal könnyebb, mint az ugyanolyan munkaképességű gőzgép. Így egy 10 lóerős De Laval motor térfogata $0,57 \text{ m}^3$, egész súlya 325 kg. A Parsons turbinánál meg egy lóerőre átlag 15–25 kg súly esik, míg a dugattyús gépeknél 60–100 kg. Ez az előny nagyon fontos a hajóknál, mert tetemesen kisebb lesz a holt súly és a megnyert térfogatot hasznosan lehet kiaknázni.

3. A turbinában, a tengelyeket leszámítva, egymáson csúszó, vagy egymáshoz súrlódó részek nincsenek. Ezért kopás folytán nem romlik úgy, mint a dugattyús gép. Éveken át tartó használat után is épp oly jól működik, mint új korában s nem pazarol több gőzt, mint mikor új. A dugattyús gép azonban a folyton előrehaladó kopás miatt több-több gőzt pazarol, tapasztalás szerint 15–20 %-kal is többet. Egyszersmind a csúszó és súrlódó részek hiánya miatt sokkal kevesebb kenőolajat fogyaszt, mint a dugattyús gép. Sőt, mivel a gőz olajozott részekkel nem érintkezik, egész tisztán jut a kondenzátorba s így tisztítás nélkül vezethető ismét a kazánba.

4. A turbinában minden nehézség nélkül lehet alkalmazni igen magas hőmérsékletű gőzt. A dugattyús gépekben azonban legfeljebb 400° hőmérsékletű, mert a mai kenőolajok ennél magasabb hőmérsékletet ki nem bírnak. Ez a körülmény jelentékenyen emeli a turbina gazdaságos voltát. Így Lewicki (1901) kísérletei szerint egy turbina, ha a gőzt 164° -on kapta és 100° -on bocsátotta ki, 44 lóerejű volt és óránként minden lóerőre 17,7 kg. gőzt fogyasztott. Ha azonban a gőzt 500° -on kapta és 343° -on bocsátotta ki, 52 lóerejű lett és lóerőnként csak 11,5 kg gőzt fogyasztott.

De van a turbináknak hátrányos oldaluk is. Így

1. A közlekedő eszközök, vonatok, hajók hajtására szolgáló gépeknél fontos, hogy a rendes járásukkal ellentétes irányban is tudjanak járni, azaz, hogy tudjanak előre is, hátra is hajtani. A dugattyús gépeknél ez a követelmény fényesen van megoldva. A gépkezelőnek csak egy kézmozdulatot kell tenni s a gőz már is ellenkező irányban ömlik a hengerbe. A turbináknál azonban a visszafelé járatás ez idő szerint még lehetetlen. Ezért a hajókon egy-egy tengelyre rendszerint két turbinát szerelnek, ellentett módon. Az előre haladásnál az egyik turbina, a hátra haladásnál a másik működik.

2. A dugattyús gép lassúbb járatáskor arányosan kevesebb gőzt fogyaszt. A turbina majdnem annyit fogyaszt lassúbb járatásnál is, mint normálisan.

3. Ha a dugattyús gép fáradt gőze nem a szabadba, hanem kondenzátorba jut, körülbelül 20%-nyi gőzmegetakarítás van. A turbináknál ez a megtakarítás 40%-ot is kitesz. Jó hatásfok elérése céljából tehát feltétlenül szükséges, hogy minél nagyobb ritkítási kondenzátorok alkalmaztassanak. Ezek pedig, a ritkító szivattyúkkal együtt néha nagyobb térfogatúak, mint maga a turbina és állandó működtetésük sok munkát fogyaszt. Ez a körülmény tehát nagy térfogat- és munkavesztéseget idéz elő.

Remélni lehet azonban, hogy a turbina tökéletesítésén fáradozók folytonos munkája hamarosan segít ezeken a bajokon is.

Ezek után még azt említjük meg, hogy a turbina a dugattyús géppel kombinálva, jóval nagyobb hatásfok elérését teszi lehetővé, mint akár az egyik, akár a másik gép magában. Tudjuk ugyanis (lásd Középkisk. Math. Lapok XII. köt. 80–86 l.), hogy a dugattyús gép a 100°C -on aluli gőz energiáját nagyon tökéletlenül tudja kihasználni. Mert arra, hogy a gőz a hengerben olyan alacsony hőfokig expandáljon, amilyen a kondenzátorban uralkodik, rengeteg nagy hengerekre lenne szükség, amilyeneknek előállítása lehetetlen. A turbina azonban, ha nagy ritkítási kondenzátor van hozzá kapcsolva, jól kitudja használni ezt az energiát is. Ha tehát a dugattyús gép fáradt gőzét turbinába bocsátjuk, jelentékeny munkanyereségre tehetünk szert. Így pl., ha egy 500 lóerejű kondenzáció nélküli dugattyús gép fáradt gőzét igen alacsony nyomású kondenzátorral ellátott turbinába bocsátják, a turbina maga képes lesz 200–240 lóerőt leadni. Természetesen, mivel a dugattyú járásának megfelelőleg, szakadozva, (intermittálólá) ömlik ki a fáradt gőz, a turbina pedig folytonos gőzbeömlést kíván, a dugattyús gép és a turbina közé egy gőzakkumulátort kell beiktatni, amely a fáradt gőzt magába veszi és majdnem állandó nyomás alatt, egyenletesen bocsátja a turbinába. A turbináknak ebben a kombinációban olyanforma szerep jut, mint a több folyadékos gépkombinációkban az éteres vagy chloroformos gépnek.

Végül, ami a hatásfokot illeti, arra az eddig szerzett tapasztalatok alapján azt mondhatjuk, hogy a turbinák a melegség alakjában beléjük vezetett energiát ma még nem tudják tökéletesebben felhasználni, mint a dugattyús gépek. A legjobb Parsons-féle turbinák azonban nem maradnak mögöttes a modern, többszörös expanziójú gőzgépeknek. És míg az egy folyadékkal dolgozó dugattyús gépeknél egyelőre reménység se igen lehet olyan módosításra, mely a hatásfokot jelentékenyen emelné, addig a turbináknál ezt bizton lehet reményelni.

Források, irodalom: Stodota, Die Dampfturbinen, 3. Auflage. Berlin, 1905. Wagner, Die Dampfturbinen. Hannover, 1904. Musil, Bau der Dampfturbinen, Leipzig, 1904. Krebs, Moderne Dampfturbinen, Berlin, 1905. Schreiber, Die Kraftmaschinen, Leipzig, 1903. Matschoss, Geschichte der Dampfmaschine, Berlin, 1901. Az egyes turbinákról különböző szerzőktől külön-külön füzetek (C. J. E. Volckmann, Rostock). A technika vívmányai (Műveltség könyvtára).