

FÖLDI GÁZTURBINÁK

Írásom célja a földi gázturbinák alapvető alkalmazásainak ismertetése. A hő mechanikai munkává alakítása a gőzgépekben kezdődött és azóta is a mérnöki tevékenység egyik központi kérdése: miként lehet jó hatásfokkal minél kisebb térfogat mellett minél nagyobb teljesítményt elérni. E szüntelenül végzett kutató, fejlesztő munka első eredménye a gázmotor, majd a Diesel-motor, amelynek megjelenése a nehézkes gőzgépet kívánta helyettesíteni.

A növekvő energiaszükségletet azonban sem a gőzgép, sem a Diesel-motor nem fedezte. A XIX. század gőzturbináinak kísérleteit hamarosan felváltották a gázturbinával foglalkozó kutatások. A XX. század elején épült gázturbinák, alig 3%-os hatásfok mellett, szinte csak az üresjárási veszteséget voltak képesek fedezni. Az állandó nyomású gázturbinák fejlesztése itt egy időre abbamaradt, mivel az áramlástan és anyagtechnológiai ismeretek még nem álltak rendelkezésre ahhoz, hogy az ilyen nagymértékben igénybevett gépet megalkothassák.

A gázturbinák fejlesztése, —az említett nehézségek miatt — az ún. robbanó turbinák irányába folytatódott. Az 1920-as években már működő és viszonylag nagy teljesítményű gázturbinák készültek.

Az állandó nyomású munkafolyamat szerint működő gázturbinák kísérletek az 1930-as évek közepe felé megújultak. Jendrassik György 1938-ban a világon először ért el 21% effektív hatásfokot, kb. 100 LE-s (73,6 kW) gázturbinájával. Mind kompresszora, mind turbinája igen jó hatásfokú volt, a fokozati hatásfok 80%-ot is meghaladta. Berendezésének megalkotásával számos külföldi szabadalmat is elnyert.

Viszonylag hosszú idő telt el addig, amíg a nagyobb teljesítményű gázturbinákat erőművekben is felhasználták, aminek egyik gátló tényezője a kis hatásfokuk volt, mivel a turbinába belépő gázhőmérséklet megengedett értéke csupán 600 °C-ig terjedt.

Ez a helyzet a 70-es évek elejére megváltozott. A turbinák előtti hőmérséklet a 900 °C-ot is elérhette, míg a gépek 100 MW-os egység teljesítmény leadására is alkalmasak lettek.

Az energia-termelésben alapvető szempont a gazdaságosság. Az előállított kWh költsége a beruházási és az üzemanyag költségből tevődik össze. A gázturbinák beruházási költségei lényegesen kisebbek, mint a gőzturbinás berendezéseké. A drága csúcsteljesítmény-költségek (amikor a villamos energia felhasználás napi maximumot ér el), a gázturbinák felhasználásával csökkenthetők.

Figyelemre méltó, hogy az egyik ágat nézve a tüzelőtérben felszabadult energia két turbina között oszlik meg. Az első turbina nagy fordulatszámú ($n = 7900$ 1/min) és a turbina előtti gázhőmérséklet (890 °C) a sugárhajtóműveknél mért értékkel megegyező. Ez a géprész önálló egységet alkot, kis súlyú és kis helyigényű. Két ilyen gázgenerátort kapcsolnak egy munkaturbinához.

A munkaturbina a generátor fordulatszámon üzemel ($n = 3000$ 1/min). A fennmaradó entalpiaváltozást egy fokozatban dolgozza fel. Egyszerű felépítésű, a turbinaházban fellépő legnagyobb hőmérséklet 615 °C, így a szilárdsági és hőtágulási problémák könnyebben megoldhatók.

A gázgenerátor nagy nyomásviszonnyal dolgozik ($\pi_k = 10$), és a turbinában uralkodó magas gázhőmérséklet következtében jó termikus hatásfok érhető el ($\eta_t = 26\%$). A gázgenerátorok egyikének leállításával, az üzemeltetés fél terheléssel egyszerűen folytatható.

Ilyen felépítésű berendezéseket a korábbi NSZK-ban 1967 óta működtetnek, 50–80 MW teljesítménnyel (Rolls-Royce Avon 1533 gázgenerátorral).

A fejlesztési munkák Angliában indultak meg, ahol 1960-ban egy kéttengelyes légszűrő gázturbinával (Proteus) csekély átalakítás után $n = 3000$ 1/min fordulatszámú 2,7 MW teljesítményű generátort hajtottak meg csúcs- és alaperőművi üzemben.

Ezzel egyidőben az Egyesült Államokban hasonló felépítésű könnyű gázturbinákat építettek be a földgáz kompresszor állomásokon, kompresszor és alaperőművi üzem számára.

A világon a 70-es évek végére közel 15 000 MW teljesítményű villamos energiatermelő és 3000 MW teljesítményű szivattyú- és kompresszorhajtó könnyű gázturbina került üzembe. Elterjedésüket elősegítette a kis beruházási költségük, és üzembiztosságuk.

Ismeretes, hogy a repülőgép-hajtóművek fejlesztése terén — különösen Angliában — a nagyfokú támogatás eredményeként komoly sikereket értek el. Ennek következtében a turbinába belépő gázhőmérséklet, a nyomásviszony, valamint a nagyjavítások közötti üzemidő lényegesen növelhető volt.

A földi üzemelésű hajtóművek számára az erősen igénybevett alkatrészek élettartamának növelése érdekében bizonyos változtatásokat kellett végrehajtani. A belépő gázhőmérsékletet és a fordulatszámot nem változtatták meg. Azonban a hőterhelés által támasztott követelmények megnövekedtek, különösen a tüzelőtérben, és az azt követő részekben.

A hajtómű levegőfogyasztása a folytonossági törvény alapján, változatlan kompresszor beömlő keresztmetszet és belépő sebesség mellett: $m = \rho \cdot c \cdot A$

A levegő sűrűsége a beszívott levegő állapotának a függvénye:

- 12 km magasságban $t = -56,5$ °C és $p = 0,19$ bar esetén $\rho = 0,31$ kg/m³;
- tengerszinten $t = 15$ °C és $p = 1,03$ bar esetén $\rho = 1,225$ kg/m³.

A tengerszinten tehát $1,225/0,31 \cong 4$ -szeres a légnyelés, ennek megfelelően a tüzelőanyag mennyiség is négyszeres, következésképpen a hőterhelés lényegesen nagyobb. Jelentős változtatásokat ennek ellenére sem kell tenni, csupán a tüzelőtér hőtágulást felvevő felfüggesztéseit és a tüzelőanyag-porlasztót — a kerozinról Dízel, vagy könnyebb olajra való áttérés miatt — kell átalakítani. Módosítani kell a tüzelőtérben az égéstermék vezetését az egyenletes hőmérséklet-eloszlás érdekében.

Ezeknek a kis költségű átalakításoknak eredményeként a tüzelőrendszer élettartama az eredeti kialakításhoz képest 5–10-szeres is lehet.

Az eddig tárgyalt földi gázturbina nyitott munkafolyamatú volt, ami azt jelenti, hogy a gázgenerátoron átáramló közeget minden esetben a szabadból kapjuk.

Üzemelnek olyan földi gázturbinák is, ahol közvetlen generátor-meghajtást valósítanak meg. 20 MW-nál kisebb teljesítményű gázturbinák fordulatszáma nagyobb, ezért a generátorhoz fogaskerék-áttételen keresztül csatlakoznak. A gépek kisebb átmérővel és hosszabb lapátokkal rendelkeznek, ami kedvező áramlási viszonyokat teremt, továbbá kisebbek a beruházási költségek, és kisebb a helyigény.

GÁZTURBINÁK FŰTŐERŐMŰVI ALKALMAZÁSA

A gázturbinák különösen alkalmasak fűtőerőművi alkalmazásra (2. ábra), mivel a turbinából nagymennyiségű meleg, 400–500 °C hőmérsékletű gáz lép ki. Mindehhez még további fontos tényezők járulnak, például a kis hűtővízigény, villamos-energia termelés folyik a fűtőberendezés üzemelése nélkül nyáron is, alacsony beruházási költségek.

A gőzturbinás fűtőerőművek elvételes kondenzációs gőzturbinákkal üzemelnek. A turbina kondenzációs része tehát hűtővizet igényel. Beruházási költsége a gőzkazán és a kondenzátor költségei miatt lényegesen nagyobbak.

Nyitott munkafolyamatú gázturbina hőmérlege a következőképpen alakul:

- a tüzelőanyaggal bevezetett energia 100%, ebből:
 - a fűtési célra hasznosítható kilépő gáz hőenergiája 55%;
 - villamos energia a generátoron 25%;
 - veszteségek a kéményben 20%.

A kiáramló gáz hőjével melegíthetjük a hőcserélőben a vizet.

- A forró víz hőmérsékletére vonatkozó igények:
 - ipari fogyasztók előremenő 160 °C-ig, visszatérő 110 °C;
 - lakossági fogyasztók előremenő 90 °C-ig, visszatérő 50 °C.

A kis nyomás- és hővesztések biztosítása érdekében célszerű a fűtőerőművet az ellátandó terület központjában elhelyezni. Hasonló megfontolások érvényesek, mint a villamos energiát szolgáltató hálózatra. Gázturbinával mindkét igény kielégíthető, ugyanis hűtővizet csupán az olajhűtő és a generátor igényel kis

kapcsolható. Amennyiben a (g₂) csappantyú zárva van, akkor a léghőcserélő levegő oldalra zárt. A turbinából kilépő gáz ekkor maximális hőmérséklettel (h) csappantyún keresztül a póttüzeléssel ellátott vízhőcserélőbe jut. A (g) csappantyúk vezérlésével az (f) levegő előmelegítőn a teljes friss levegőáram átvezethető. Erre akkor kerül sor, amikor az (i) vízhőcserélő üzemén kívül van (pl. nyáron) vagy a gázturbina csúcsrajáratásakor a nagyobb termikus hatásfok érdekében, ekkor ugyanis a (c) tüzelőtér előtt a levegő előmelegítését biztosítja. Megfelelő vezérléssel tehát elérhető, hogy a gázturbina tüzelőterébe többé-kevésbé előmelegített levegő jusson, és hogy a vízhőcserélő előtti gázhőmérséklet is a szükségleteknek megfelelően legyen változtatható.

Amennyiben csúcsigénynél a hőteljesítmény (nagyon alacsony külső hőmérséklet esetén) a gázturbina biztosította legnagyobb teljesítményt meghaladja, akkor a segédtüzelőtér lép működésbe. A segédtüzelőtérben még további tüzelőanyag égethető el, mivel a turbinából kilépő gáz oxigéntartalma jelentékeny.

Ettől függetlenül célszerű egy (l) segédfűvő beépítése, hogy a vízhőcserélő működése a gázturbina leállása esetén is biztosítható legyen.

Kis hőfogyasztás mellett nagy generátor teljesítmény esetén a vízhőcserélőben a hőmérséklet az (m) hűtőlevegő-fűvő segítségével szabályozható. Végül a vízhőcserélő a (k₁) és a (k₂) csappantyúk segítségével teljesen kiiktatható, az esetleges javítások időtartamára. Ebben az esetben a gázturbina teljesítménye kismértékben megnő, mivel az entalpiaváltozás a vízhőcserélő gázoldali ellenállásának megfelelő értékkel nő. Az (n) hangtompítót a kéménybe építették be.

Látható, hogy a villamos-energia termelés és a távhőszolgáltatás egymástól teljesen független. Ez a gázturbinás fűtőerőművek legfőbb előnye.

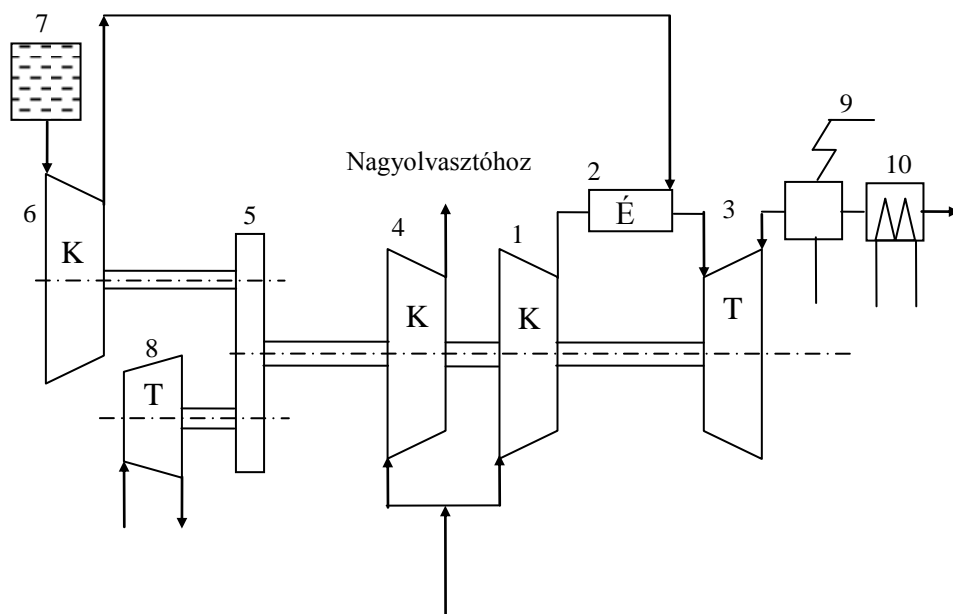
GÁZTURBINÁK A KOHÓIPARBAN

A kohóiparban villamos energia és fűvószelel előállítására már 40 év óta alkalmaznak gázturbinákat alapterhelési gépként (3. ábra), felváltva a lassú forgású ($n = 100$ 1/min) kohógáz dugattyús motorokat ($\varnothing 1$ m, lökethossz 2 m).

Teljesítményük gázhozamtól függően 5–15 MW között ingadozik. Tüzelőanyaguk kohógáz, amely mennyiség, összetétel és fűtőérték tekintetében széles határok között változik.

A kohóipari gázturbinák egyéb sajátosságai miatt is jelentősen különböznek az általánosan megszokott kivitelétől. Ha egy kisebb kohómű csak egy vagy két kohóval rendelkezik, akkor a keletkező kohógáz mennyisége rendszertelen, ezért kiegészítésként tüzelőanyagot — általában tüzelőolajt — kell még biztosítani az égőtér számára. A gáz az elegy szemcsézetétől függően nagymennyiségű port (3–5 mg/kg gáz) tartalmaz, amit nedves eljárással vagy elektrofilter alkalmazásával el kell távolítani.

A kohógáz a kohóból a környezeti nyomáson érkezik. A tüzelőtér előtt tehát az összesűrített levegő nyomására kell hozni, azaz π_k nyomásviszonynak megfelelő értékre. Miután mennyisége a levegőmennyiségnek csupán a 10%-a, kohógáz-kompresszornak nagy fordulatszámú centrifugálkompresszort alkalmaznak. Hajtását a főtengeletről áttételen keresztül oldják meg.



3. ábra. Gázturbina a kohóiparban

1 – sűrített levegő előállítása az égéshez; 2 – tüzelőtér; 3 – expanziós géprész;
4 – szélfűvógép; 5 – fogaskerék-hajtómű; 6 – kohógáz-kompresszor; 7 – gázsűrítő;
8 – indító gőzturbina; 9 – hulladékhő-hasznosító kazán; 10 – víz-hőcserélő.

Hőtechnikai szempontból kedvező, ha a turbinából kilépő gázt még egy hulladékhő-hasznosító gőzkazánba és egy melegvíz hőcserélőbe vezetjük. A kohóműben gőzre és meleg vízre szükség van. A vázlaton látható gépegyeséget egy egyszerű gőzturbinával indítják.

A 80-as évek után, a nagyterű kohók irányába mutató fejlődés a túlnyomás alatti torokkal, együttesen további lehetőségeket teremtett a gázturbinák számára. A nagyobb nyomás miatt a szélfűvógép teljesítményigénye nőtt, amihez akkor már rendelkezésre álltak 50 MW teljesítményig egytengelyes gázturbinák.

KOMPRESSZORT HAJTÓ GÁZTURBINÁK, REPÜLŐGÉP-HAJTÓMŰVEK IPARI ALKALMAZÁSA KOMPRESSZORTELEPEKEN

A repülőgép hajtóműveket villamos energiatermelésen kívül kompresszorhajtások céljára is használják, különösen az Egyesült Államokban. A légi közlekedésben 1945 óta használt Axon hajtóművekkel a földi viszonyokra való átalakítás és továbbfejlesztés után 16 MW-os egységteljesítményt értek el a turbina hőmérséklet 1000 °C-ra való növelésével és intenzív hűtéssel. A Transcanada távvezeték 6000 km hosszú szakasza mentén 37 Axon hajtóművel üzemelő kompresszortelep működik a gáztovábbítás biztosítására. Az 1980-as évek elejére, összesen mintegy 130 ilyen telep üzemelt Kanadában, az Egyesült Államokban, Nagy-Britanniában, Hollandiában és a korábbi NSZK-ban. Miután alapterhelésen járó egységekről van szó, lényeges dolog, hogy sikerült a nagyjavítások közötti időtartamot már 20 000 üzemóra fölé növelni. Egyes gépek tartósan, közel 33 000 üzemórát kifogástalanul üzemeltek.

Nagyobb teljesítményekre többek között rendelkezésre áll az Olympus repülőgép-hajtómű ipari változata. Ez egy kéttengelyes egység, munkaturbinája független fordulatszámú és jól szabályozható. A hűtésnek és a lapátok szerkezeti anyagának folyamatos módosításával sikerült a teljesítményt 23 MW-ról (1000 °C), 32 MW-ra (1190 °C) növelni.

Ezek után nézzünk meg egy földgáz kompresszortelep kialakítását. Nyomásnövelő telepek a távvezeték mentén a szállítónyomás fenntartását biztosítják és ezzel a szállítóképességet javítják.

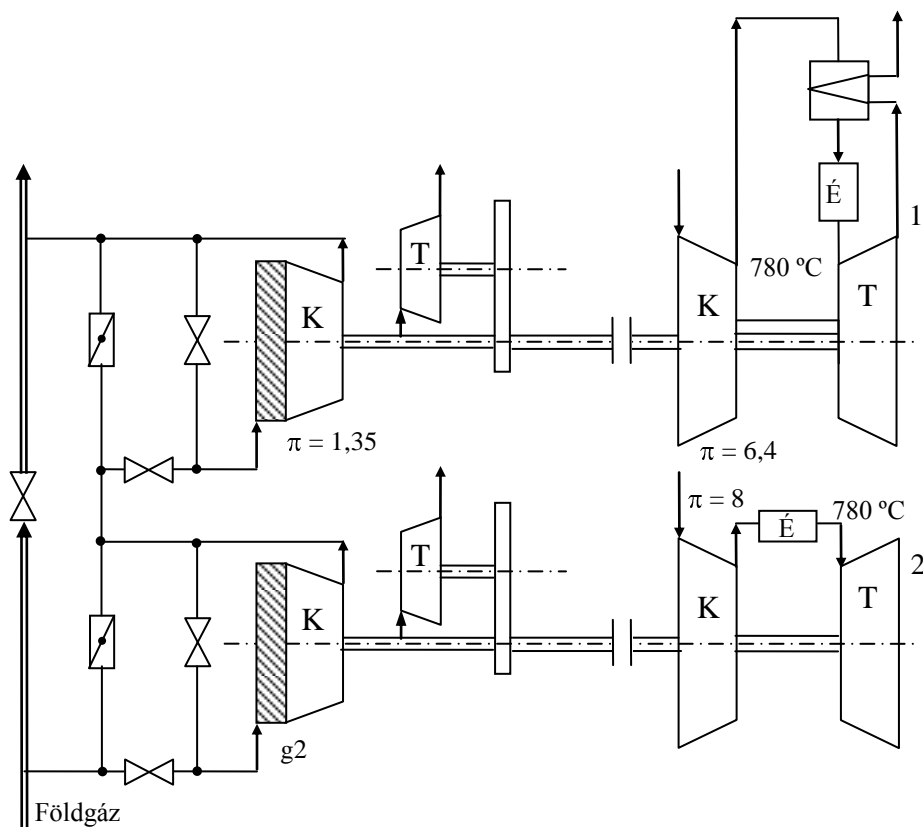
Az állomásokat meghatározott távolságokban építik be a vezetékrendszerbe. A kompresszorok teljesítményigényét a gázturbinás hajtóművek fedezik. Egy ilyen, két gázturbinával üzemelő kompresszortelepet láthatunk a 4. ábrán.

A gépek közös helyiségben helyezkednek el. Valamennyi berendezés robbanásbiztos kivitelű. A villamos készülékek külön egységben találhatók.

A gázturbinák abban különböznek egymástól, hogy az egyik alapterhelésű, a másik csúcsterhelésű üzemre készült. Az alapterhelésű egység hőcserélőt is tartalmaz, légnyelése és teljesítménye kisebb. Mindkét turbinánál a turbina előtti gáz hő 780 °C fölé nem emelkedhet. További adatok a vázlaton láthatók.

A földgáz-kompresszortelep tervezett jellemzői:

- térfogatáram: 635 000–700 000 m³/h ($t_k = 0$ °C, $p_k = 1,03$ bar)
- a sűrítendő gázközeg nyomása a belépésnél: $p_{be} = 37$ bar
- a sűrítendő gázközeg nyomása a kilépésnél: $p_{ki} = 50$ –70 bar



4. ábra. Két gázturbinával üzemelő földgáz kompresszortelep

1 – alapterhelésű gépegyes (P = 9 MW; n = 6200 1/min; m = 60 kg/s; szabályozható 65–105%); 2 – csúcsterhelésű gépegyes (P = 12,5 MW; n = 6200 1/min; m = 76 kg/s; szabályozható 76–105%)

A kompresszortelepet a gázturbina fordulatszámának változtatásával szabályozzák. A földgázkompresszor első fokozata állítható terelőlapátokkal rendelkezik, ezáltal a névleges szállított mennyiség 40%-ig terhelhető anélkül, hogy a leválási határ okozta jelenségek fellépnének. A gépeket 500 kW teljesítményű, n = 4000 1/min fordulatszámú expanziós turbinákkal indítják. Elektromágneses tengelykapcsolón és segédhajtóművön keresztül csatlakoznak a főtengelyhez. A kompresszorokat terheletlenül indítják, majd föltöltve a végleges fordulatszám 90%-nál a távvezérlérendszerre kapcsolják. A telep személyzet nélkül üzemel. A távvezérlés és ellenőrzés központilag történik. Ez egyike azon okoknak, amiért ezeken a telepeken gázturbinákat alkalmaznak, noha a berendezés nem ezen az üzemen éri el

a legjobb hatásfokát. Ehhez járul még a nagy üzembiztonságból és a kis beruházási költségből adódó előny.

A magyarországi földgázhálózatban 1976 óta alkalmaznak valós üzemben gázturbinás kompresszorállomásokat (1. táblázat).

A MOL Rt. kompresszorállomásain telepített földgázüzemű gázturbinával hajtott kompresszoregységek adatai

1. táblázat

Kompresszorállomás	Kompresszor típusa	Gázturbina típusa	Gépegységek száma	Teljesítmény (MW/db)	Üzembehelyezés éve
Bregdaróc	Nuovo Pignone PLC 802	General Electric MS 3002	4	10,8	1979
Nemesbikk	Ingersol-Rand CDP 416	Allison 501 KC	6	2,8	1982
Városföld	Ingersol-Rand CDP 416	Allison 501 KC	3	2,8	1983
	Solar C304-617	Centaur T4002	4	2,8	1976
Mosonmagyaróvár	Solar C402	Solar Taurus 60S	3	5,4	2001
Hajdúszoboszló	Solar C402	Solar Centaur 50LS	3	4,6	2001

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Fritz Dietzel: Gázturbinák. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
 [2] Dr. Körmendi Géza: szakmai jegyzetek.