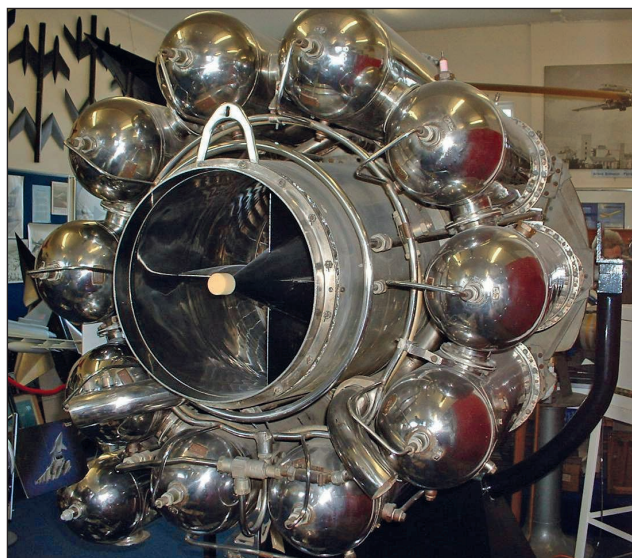


Dr. Varga Béla*

A gázturbinás korszak hajnala és a fejlesztés nehézségei

A II. világháború végére a dugattyús-légcsavaros repülőgépek elérték fejlődésük csúcspontját. Ez azt jelentette, hogy a sebességük valamivel meghaladta a 700 km/h-t. A repülési magasságuk elérte egy átlagos vadászpilóta repülőgépe esetében a 10–12 km-t, speciális felderítő változatok esetén pedig a 14–15 km-t is. Ezek a korlátok ismertek voltak már a II. világháború előtt is, bár a világháborúba bekapcsolódó országok repülőgépei ekkor még meg sem közelítették ezeket a határértékeket. Aerodinamikai összefüggéseket felhasználva könnyen kimutatható, hogy a szükséges teljesítmény és a sebesség között közbös összefüggés adódik, nem beszélve a többlet fegyverzet tömegnövelő hatásáról, amely szintén többleteljesítményt igényel. Ennek megfelelően több kutató is új irányokba indult a hajtóműfejlesztések területén. Nemzetközi szintéren az angol Whittle¹ munkássága kiemelendő, akinek az 1930-as években elkészített gázturbinás hajtóműve (1. ábra) már

1. ábra. Frank Whittle hajtóműve a Power Jets Whittle 2 (W2), amely az első sorozatban gyártott brit sugárhajtómű volt, és Gloster Meteor sugárhajtású vadászpilóta repülőgépek erőforrásul szolgált [1]



minden olyan gépegységgel rendelkezett, amellyel egy mai modern gázturбина is.

Az első működőképes, repülőgépbe épített gázturbinás sugárhajtómű azonban a Hans von Ohain² által tervezett Heinkel HE S3-as volt. Ezzel a hajtóművel – amelyet egy Heinkel HE 178-as repülőgépbe építettek be –, 1939. augusztus 27-én hajtották végre az első sugárhajtású géppel történő repülést. Ne feledkezzünk meg azonban a magyar Jendrassik Györgyről³ sem. Jendrassik már a Ganz-gyár jeles, nagytekintélyű mérnöke volt, amikor gázturбина-fejlesztéssel kezdett foglalkozni. Az első ilyen tárgyú szabadalmát 1929. március 12-én jelentette be. Az 1938-ban elkészült, közel 75 kW teljesítményű gépe volt az első, gyakorlatban megvalósított gázturбина ilyen kis méretben [2]. Ezekkel az eseménnyel a repülés a gázturbinás korszakába lépett. De az első gázturbinás hajtóművek kifejlesztésének története nem itt kezdődik, hanem itt ér véget, mert a gázturbinák hosszú idő alatt, a technológiai nehézségek miatt több kudarcon keresztül váltak alkalmazhatóvá a gyakorlatban is.

A GÁZTURBINÁK ELMÉLETI ALAPJAI

A gázturbinás hajtóművek a belsőégésű motorok csoportjába tartoznak. A kompresszor és a turbina, valamint közöttük egy égőtér valamennyi gázturbinás hajtómű szerves része, amelyet magnak neveznek. Gyakran gázgenerátornak is hívják ezeket a szerkezetek egységeket, mivel a turbina kilépő keresztmetszetét az itt létrehozott nagy energiájú és nyomású, forró égéstermék hagyja el, amelynek energiáját kiaknáva, hasznos munkát kapunk. De mi is az a hőerőgép?

A 2. ábrát megvizsgálva látjuk, hogy egy termodinamikai körfolyamatot megvalósító szerkezet, amelynek a legfontosabb tulajdonsága, hogy a munkaközeg kezdeti és végállapot-jellemzői megegyeznek, lásd 3. ábra jobb felső nyomás–(faj)térfogat (p–v) diagramja. Ahhoz, hogy a körfolyamat folyamán hasznos munkát nyerjünk a bevitt munka (kompresszió) kisebb kell, hogy legyen, mint a körfolyamat másik szakaszában (expanzió) végzett munka. Ez feltételezi, hogy az expanzió magasabb hőmérsékleten menjen végbe. Az előbbinek megfelelően a munkát adó körfolyamatok forgási iránya az óramutató forgási irányával egyezik

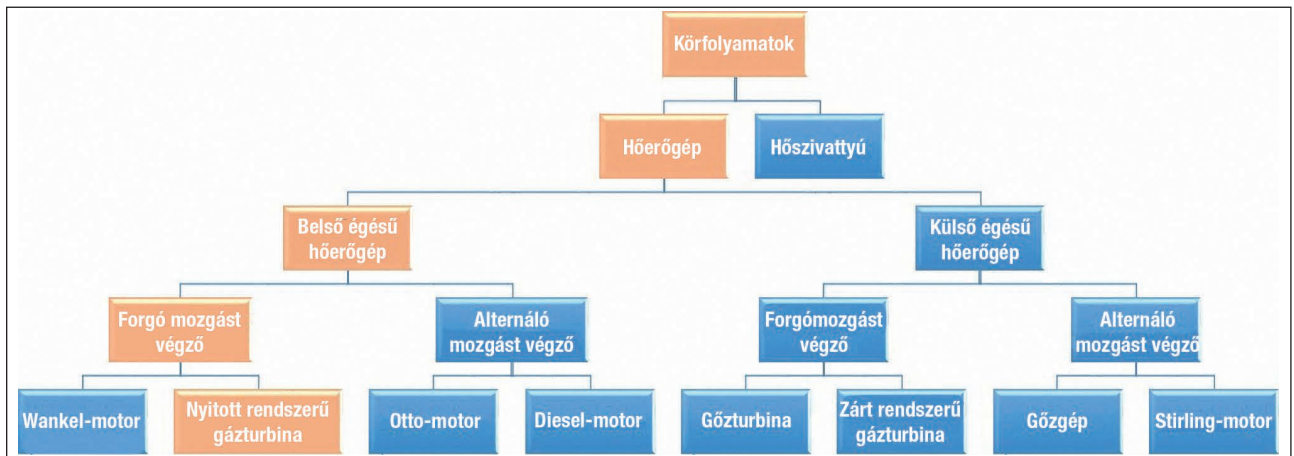
ÖSSZEFOGLALÁS: A 20. század elején a dugattyús motorok már egyre megbízhatóbban és elfogadható hatásokkal működtek. A Bryton- vagy Joule-cikluson alapuló hőerőgép elve szintén ismert volt a 18. század végétől, de az elmélet kezdetben messze felülmúlta a gyakorlatot. Végül az 1930-as évek végére a gázturбина, mint technikai eszköz beérett. A tanulmány ezt a folyamatot mutatja be, és elméleti úton alátámasztja, hogy miért is volt olyan nehéz a gázturbinák megszületése.

KULCSSZAVAK: hőerőgép, termikus körfolyamat, explóziós és állandó nyomású gázturбина

ABSTRACT: In the beginning of the 20th century reciprocating engines already operated more and more reliably and with acceptable efficiency. The principle of a heat engine, based on Bryton or Joule cycle, had also been known since the end of 18th century, but the theory initially far surpassed the practice. Finally, by the end of 1930s the gas turbine had been matured. This paper presents this process and theoretical support why the born of gas turbines was so hard.

KEY WORDS: heat engine, thermal cycle, explosion and constant pressure gas turbine

* Alezredes (PhD), egyetemi docens, NKE Honvédtisztképző és Hadtudományi Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, ORCID: 0000-0003-3454-0825



2. ábra. A körfolyamatok osztályozása (A szerző szerkesztése)

meg. Természetesen, ha a forgási irány fordított, a bevitt munka nagyobb lesz, mint a körfolyamatból kapott munka. Ezek az ún. hőszivattyúk, pl. a hűtőgép és a légkondicionáló (hűtő-fűtő) berendezések.

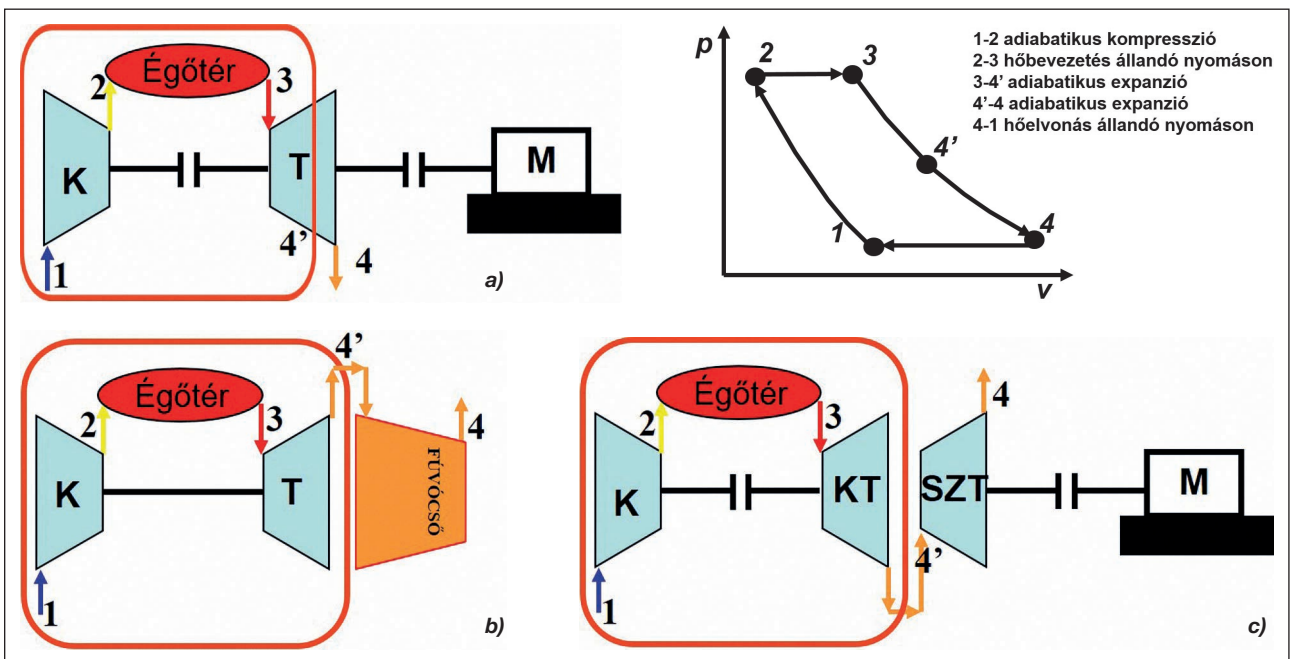
Számos hasznos munkát szolgáltató körfolyamatot ismerünk. A teljesség igénye nélkül Otto, Diesel, Rankine (gőzkörfolyamat) és a gázturbina-körfolyamat, amelyet Brayton (néhány forrásban Joule) körfolyamatnak neveznek. Közös jellemzőjük, hogy az ideális körfolyamatok a jól ismert négy állapotváltozásból, izobár (állandó nyomás), izohor (állandó térfogat), izotermikus (állandó hőmérséklet) és adiabatikus (nincs hőcsere a rendszer és környezete között) épül fel.

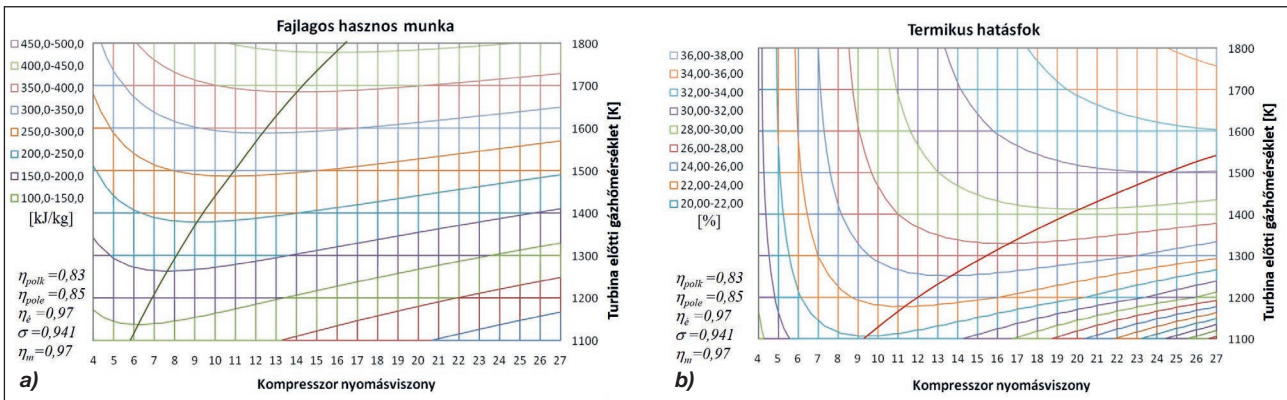
A Brayton-körfolyamat (3. ábra) két adiabatikus és két izobár folyamat összessége. A körfolyamat adiabatikus kompresszióval kezdődik az 1–2 pontok közötti kompresszorban (K). Adiabatikus, mert a folyamat gyorsasága miatt nincs idő a hőcsere a rendszer és a környezete között. Érdemes kiemelni a gázturbinákra jellemző egyik fontos mérőszámot, a kompresszor-nyomásviszonyt. Ez a

kompresszor mögötti és a kompresszor előtti (2-es és az 1-es pontokban) mérhető nyomások viszonyozása. Értékét részben a gázturbina kora, de még inkább a felhasználási területe határozza meg. Manapság ez az érték kb. 10 és 45 között szóródik. A hőközlés az égőtérben izobár folyamat (2–3), amely a tüzelőanyag elégetésével valósul meg. Szintén nagyon fontos a 3. pontban az ún. turbina előtti gázhőmérséklet, amelynek értéke megint csak kor és felhasználási terület szerint 1200–1900 K között szóródik. A felső érték különösen bizonytalan, mivel a legkorszerűbb (katonai repülőgépekben) gázturbinás hajtóművek esetében legtöbbször csak sejtethetjük ezeket az értékeket.

Mindkét jellemzőre mondhatjuk, hogy a megadott értékek valamilyen kiemelt (maximum) közeli üzemállapotra érvényesek (részüzem módon mindkét érték csökken), illetve, hogy ez a két jellemző, kiegészítve a gépegység-hatásfokkal meghatározza a gázturbina fajlagos hasznos munkáját és termikus hatásfokát, vagyis a legfontosabb jósági jellemzőit.

3. ábra. Különböző egyszerű gázturbinák sematikus ábrái, és a hozzájuk tartozó körfolyamat p-v (nyomás-fajtérfogat) diagramban (A szerző szerkesztése)





4. ábra. A fajlagos hasznos munka, a) és a termikus hatásfok, b) a nyomásviszony és a turbina előtti gázhőmérséklet függvényében (A szerző szerkesztése a [3] alapján)

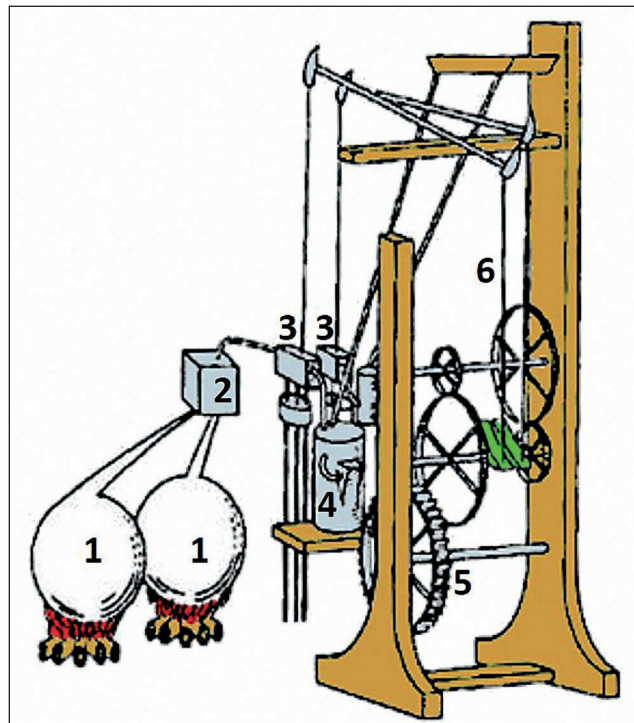
Adott hatásfokértékek mellett a 4. ábra alapján jól szemléltethető a kompresszor-nyomásviszony és a turbina előtti gázhőmérséklet hatása a fajlagos hasznos munkára, és a termikus hatásfokra. A két ferde görbe ugyanakkor megmutatja azokat a nyomásviszony-értékeket, ahol adott turbina előtti gázhőmérséklet mellett a fajlagos hasznos munka (4/a ábra), illetve a termikus hatásfok (4/b ábra) maximális.

A körfolyamat a turbinában (T) munkát adó adiabatikus expanzióval folytatódik, amelynek egy része a kompresszor (és a segédberendezések) forgatásához szükséges munkát biztosítja (3–4’). Eddig a pontig minden gázturbina azonos elvek szerint dolgozik, és a gázturbinának a már említett gázgenerátor részét képezi. Ahogy a nevében is benne van, a feladata nagy nyomású és energiadús gáz (égéstermék) létrehozása, amelynek további hasznosítási módja függ a felhasználás céljától. Erre mutat példákat a 3. ábra a), b) és c) sematikus gázturbina-elrendezése. Maga a termikus folyamat továbbra is adiabatikus expanzió, de az eredmény vagy hasznos munkát (3/a, c ábra), vagy tolóerőt (3/b ábra) ad, de ezeknek valamilyen kombinációja is lehetséges. Tulajdonképpen a hasznos munkának az 1 kg munkaközegre vonatkoztatott, vagyis fajlagos hasznosmunka-értékeit olvashatjuk le a 4/a diagramon. Értelemszerűen, megszorozva a munkaközeg mennyiségével [kg/s], megkapjuk a gázturbina teljesítményét. A 3/a ábra esetében a 4’ pont virtuális, mivel a turbina nem osztott, így a hely sem határozható meg, hogy meddig biztosítja a kompresszor forgatásához szükséges teljesítményt, illetve honnan kezdődik a hasznos munka (M) létrehozása. A 3/c ábra esetében ez egyértelmű, mivel a kompresszorturbina (KT) biztosítja a kompresszor forgatásához szükséges teljesítményt, a hasznos teljesítményt pedig a szabadturbina (SZT) állítja elő. Most már csak zárunk kell a körfolyamatot (4–1), amely a környezetben valósul meg, miközben a forró gáz (égéstermék) izobár folyamaton keresztül átadja a hőjét a környezetnek.

AZ ELMÉLET KÉSZ, DE A TECHNOLÓGIA MÉG NEM ELÉG ÉRETT

Általában az adott körfolyamatok felfedezése jóval megelőzte azok működőképesség megépítését, illetve még inkább ezek gyakorlati hasznosíthatóságát.

Álljon itt egy idézet Jendrassik György egyik előadásából: „A gázturbina problémájával, azaz azzal a problémával, hogy a tüzelőszer elégeése folytán keletkező meleget permanens gázokkal – mint munkaközeggel – turbinában munkává alakítsák át, igen sokan foglalkoztak a közelmúlt

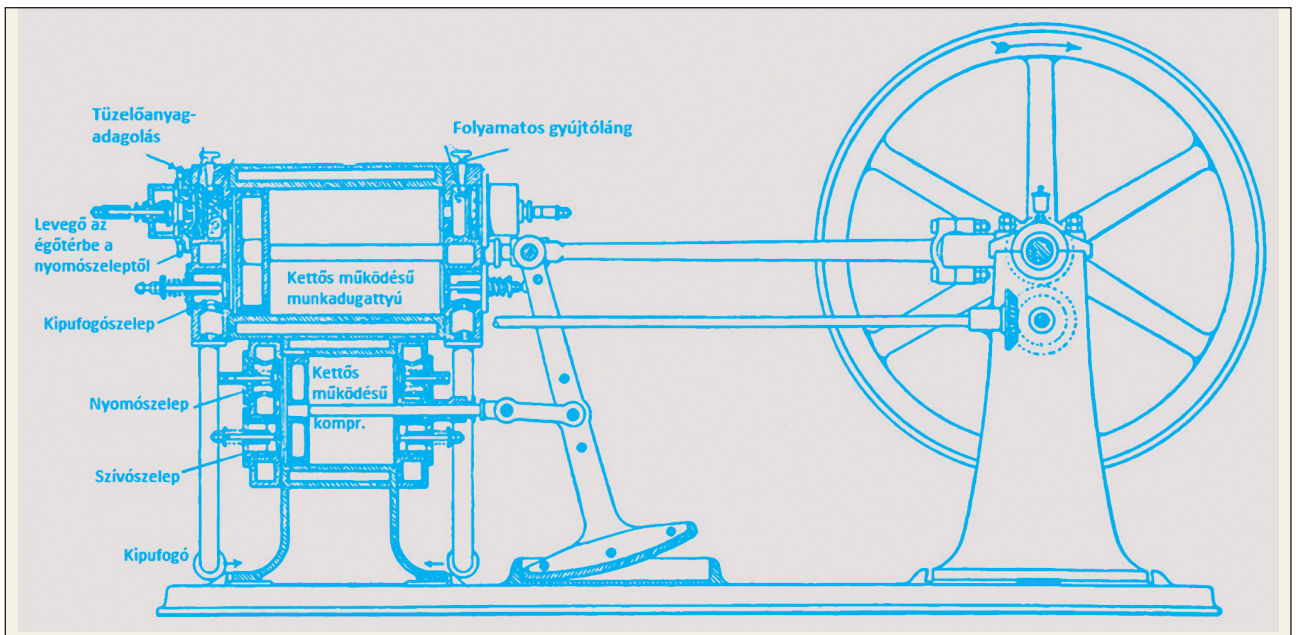


5. ábra. John Barber állandó nyomású hőerőgépének vázlata (A szerző szerkesztése a [4] alapján)

évtizedek folyamán. Az elméleti eredmények messze megelőzték a gyakorlatot, és sokszor az önmagukban helyes elgondolások abban az időben, amikor megszülettek, a technika és a hidrodinamika fejletlensége folytán nem voltak megvalósíthatók. Így a gázturbina legegyszerűbb munkafolyamata, az ún. állandó nyomású munkafolyamat, illetve az ilyen folyamat szerint dolgozó turbina, már a 18. század végén J. Barber szabadalmi bejelentésében, majd a múlt század végén is javaslatba került, amint azt Fullagar, Ghelli és Cazzani, valamint Stolze stb. szabadalmi leírásában megtaláljuk.” [10]

Valóban John Barber (1734–1793) angol feltaláló volt, aki 1791-ben szabadalmaztatta a fenti körfolyamatot, és készítetett egy olyan szerkezetet, amely a leírt folyamaton alapult. A fellelhető 5. ábra és a leírás alapján a szerkezeti egységeket megpróbáltam behatárolni, és számozással azonosítani. Ez alapján Barber fából, szénből, olajból vagy más anyagokból retortában (körte alakú üvegedény) levegő elzárásával hevítve ún. száraz lepárlási folyamattal gázt





6. ábra. Brayton-motor (A szerző szerkesztése a [6] alapján)

nyert (1), amelyet egy tartályban (2) visszahűtött. Ez még nem volt része a körfolyamatnak, csupán a tüzelőanyag előállításaként értelmezhető. A levegőt és a gázt ezután két különböző hengerben komprimálta (3), majd a gáz egy „robbantóba” (égéskamrába) (4) került, ahol megtörtént az égés, majd a forró égéstermék egy lapátkerék (turbina) lapátjaira áramlott (5). A forró égéstermékbe vizet fecskendeztek, részben az égéstermék lehűtésére (a lapátok hőterhelésének csökkentése érdekében), részint, hogy gőzképzéssel növeljék a gázáram tömegét, így növelve a munkavégző képességét. A munkaközéget a lapátkerékre (turbina) vezették, ahol megtörtént az energia munkává alakítása. A lapátkerék tengelyéről történt a dugattyús kompresszorok meghajtása (6), illetve innen történt volna a hasznos munka levétele is. Az elkészített gép akkor technológiai nehézségek miatt működésképtelen volt, de 1972-ben a bonni Kraftwerk-Union AG Barber eredeti tervei alapján elkészítette a működőképes modellt. [4]

A sors igazságtalansága, hogy a körfolyamat mégsem Barber nevét viseli, hanem George Brayton⁴ (1830–1892) feltalálójét. Brayton valóban készített egy belsőégésű motort, amely Barber körfolyamatát valósította meg, de szerkezetileg ez minden szempontból távol állt a mai gázturbi-

náktól. Brayton gépében (Ready Motor) a kompresszió és az expanzió is dugattyús gépegyeségekben zajlott le. A motor meglehetősen sikeres volt, a Brayton „Ready Motors”-okat felhasználták vízvivattyúk, malmok, generátorok és hajók meghajtására. [5]

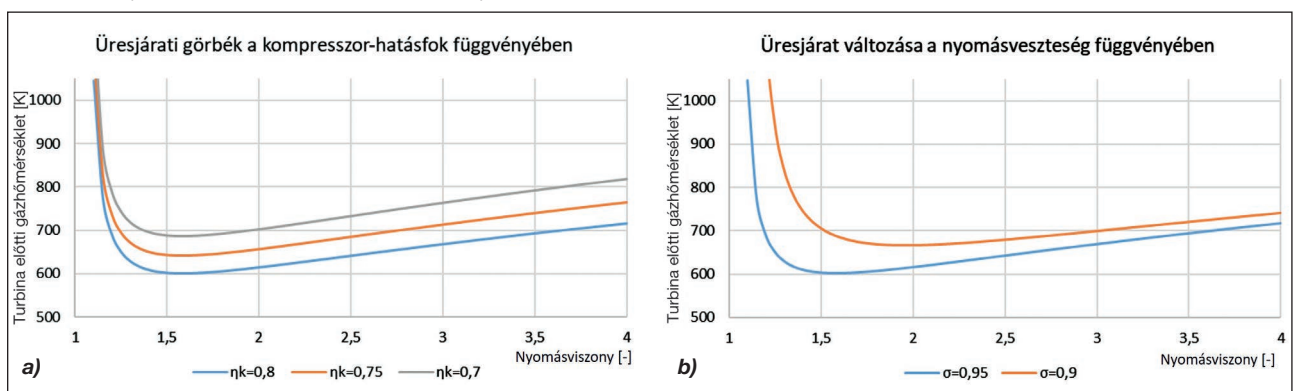
A MŰKÖDŐ GÁZTURBINA FELÉ HALADVA

De a gázturbinát nem a körfolyamat mikéntje teszi gázturbinává, hanem az, hogy ezt a körfolyamatot milyen szerkezeti egységekkel valósítják meg. Ezek pedig a lapátos áramlástechnikai gépek. A XX. század elejére a kutatók ezt felismerték, és a fejlesztések egyre inkább ebbe az irányba indultak el.

1872-ben a német Francz Stolze⁵ nyújtott be szabadalmat gázturbinára. Hőcserélős gázturbinája minden olyan szerkezeti egységgel rendelkezett, amellyel a modern gázturbinák rendelkeznek. [7] Tehát elméletileg minden együtt volt már egy működő gázturbinához.

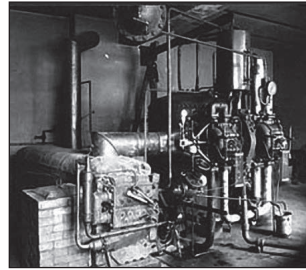
A működőképesség kérdése a kompresszorhatásfok, a turbinahatásfok, a hajtómű összegzett nyomásvesztési tényezője, a kompresszor-nyomásviszony és a turbina

7. ábra. Üresjáratú üzemi vonal, amely a 4/a ábra szerinti zéró fajlagos hasznos munkát szemlélteti adott komponens-hatásfokok mellett (A szerző számításai és szerkesztése)



előtti gázhőmérséklet ötösfogata körül forgott. Ezek közül is kiemelkedik a kompresszorhatásfok és a turbina előtti gázhőmérséklet kérdése. Általánosan elmondható, hogy a turbínák hatásfoka mindig jobb, mint a kompresszorok hatásfoka. Ennek az az oka, hogy amíg a turbinalapátok között a csatorna legtöbbször szűkülő (reakciós turbínák), de legfeljebb állandó keresztmetszetű (akciós turbínák), amely növekvő áramlási sebességgel jár, és ennek következtében kevésbé érzékeny a számítottól eltérő állapotokra. A fejlesztés során a turbínákkal nem is volt gond, különösen mivel a gőzturbínákkal már jelentős tapasztalat gyűlt össze. Ugyanakkor a kompresszorlapátok között bővülő a keresztmetszet, az áramlás lassuló, és nagyon érzékeny minden számított üzemmódtól történő eltérésre (ennek szélsőséges esete a kompresszorompás⁶⁾). A korabeli kompresszorok, csekély hatásfok mellett alacsony nyomásviszonyt (<2) biztosítottak. A gyenge hatásfokértékek a működéshez szükséges minimális turbina előtti gázhőmérsékletet felfelé tolták, amit azonban a korabeli rendelkezésre álló anyagok nem tettek lehetővé. A 7. ábra vizsgálata jól szemlélteti a problémát. Ehhez érdemes megvizsgálni a gázturbina ún. üresjáratú görbéjét, ahol a gázturbina már működik, de még nem szolgáltat hasznos munkát. Tulajdonképpen a kezdeti fejlesztések során még ennek az állapotnak az elérése is kihívás volt. Feltételezve, hogy a kompresszorhatásfok, a turbinahatásfok és a hajtómű összegzett nyomásvesztései tényezője ebben a sorrendben 0,8; 0,82; 0,95, és felhasználva a gázturbínák termikus összefüggéseit, a kék színnel jelzett, ún. üresjáratú görbét kapjuk. Az alapjárat az üresjáratú görbe egyetlen, többé-kevésbé a legalacsonyabb gázhőmérsékletre tartozó pontja. Láthatólag ehhez a fenti hatásfokértékek mellett (amelyek nem mondhatók nagyon rossz értékeknek) minimum 600 K (327 °C) kellett. A bal oldali ábrán a kompresszor hatásfok- (η_k) csökkenésének eredményét látjuk 0,8-ról 0,75, majd 0,7 értékekre. A kompresszor-karakteristikák jellegét figyelembe véve alapjáraton a 0,7-es kompresszor hatásfokérték sokkal valószínűbb, amely azonnal közel 100 °C-al megnöveli a minimális turbina előtti gázhőmérsékletet. Ugyanakkor az abban az időben népszerű hőcserélős megoldás ugyan javította a hatásfokot, de tovább nehezítette a működőképes gázturbina megteremtését, illetve ha már működőképes volt, csökkentette a hasznos munkát. Ennek az az oka, hogy a hőcserélő mind a hideg, mind a meleg oldalán járulékos nyomásvesztést okoz, növelve a gázturbina összegzett nyomásvesztését. Ennek hatása a 7/b ábrán látszik, ahol a nyomásvesztései tényezőt 0,95-ről 0,9-re módosítva egyrészt a turbina előtti gázhőmérsékletet kell növelni kb. 70 °C-kal, másrészt a nyomásviszonyt szükséges növelni kb. 1,5-ről 2-re a minimális önjáráshoz, illetve mindkettőt még tovább, ha hasznos munkát is szeretnénk nyerni. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy ebben az időben a turbinalapátként felhasználható anyagok hőállósága éppen ebben a tartományban volt. Feltételezve a 0,95-ös kiinduló nyomásvesztései tényezőt (az eredeti üresjáratú kék görbe) a barna görbe ebben a helyzetben már hasznos munkát jelentene, hiszen az előbbi extra nyomásvesztés már expanzióként hasznosulhatna kb. 7 kJ/kg fajlagos hasznos munkát adva (10 kg/s-os közegáramot feltételezve ~70 kW teljesítményt). Ebből is látszik milyen vékony jégen jártak a tervezők az első gázturbínák megalkotásakor.

A nehézségek ellenére Jens William Aegidius Elling⁷ norvég kutató 1903-ban megépítette az első, lapátos gépegyeségekkel működő gázturbinát, amely nagyobb teljesítményt termelt (kb. 8 kW), mint amennyi a saját működésének fenntartásához szükséges. Elling gázturbínájában a

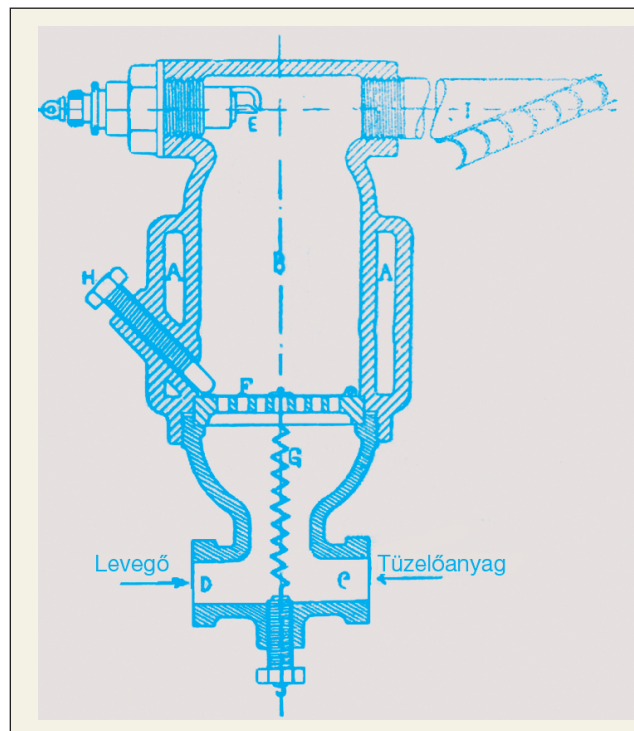


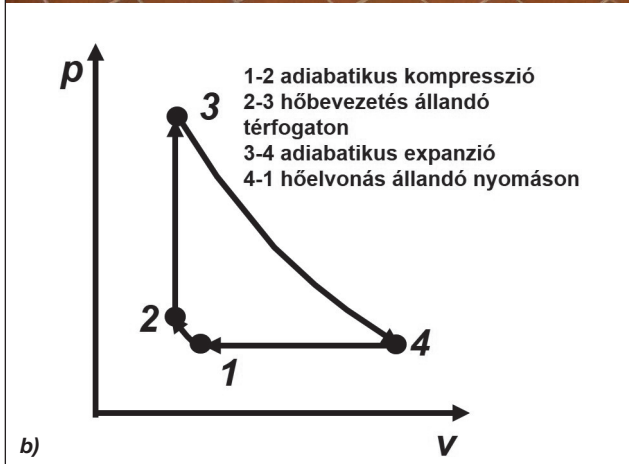
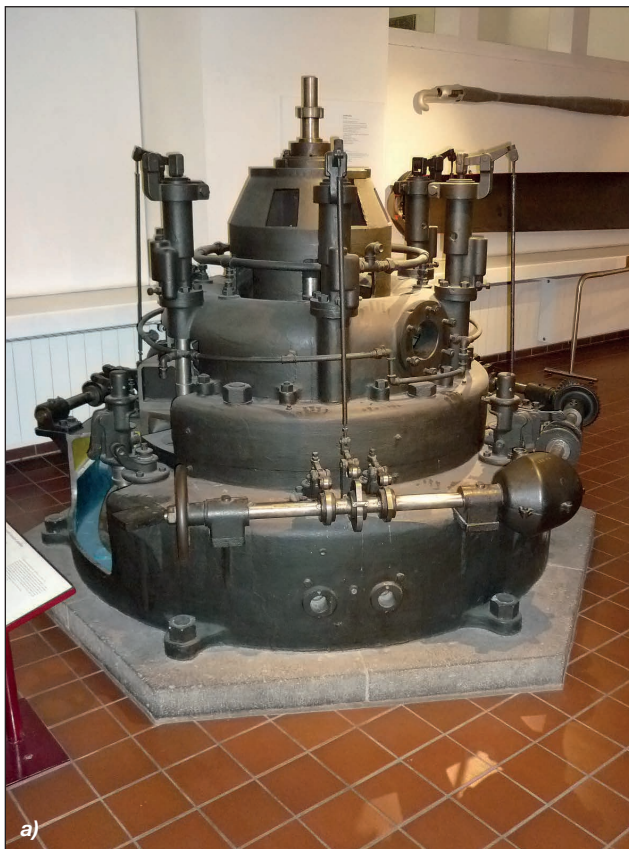
8. ábra. Elling gázturbínája [7]

centrifugálkompresszor által termelt levegő került megcsapolásra, és ezt expandátva kapták a fenti minimális teljesítményt. Ez a megoldás meglehetősen egyedi volt, de még manapság sem példa nélküli. (Az APU⁸-nál előfordul, hogy a kompresszor megcsapolásából származó levegőt használják az indító – általában centripetális – turbina meghajtására.) A többi levegő a szokásos módon az égőtérbe került. Az égőtérből a forró égéstermék egy gőzfejlesztőn (bojler) haladt át, ahol a gáz hőmérséklete csökkent, majd a gázáramba befecskendezett gőzzel azt tovább hűtötték 673 K-re (400 °C), arra a maximális hőmérsékletre, amelyet az alkalmazott centripetális turbina elviselt. A befecskendezett gőz a hűtésen kívül a tömegáramot is növelte, ezzel növelve a turbina teljesítményét is. Elling egy későbbi gázturbínája, 1932-ben 75 LE teljesítményre volt képes. A források szerint 71%-os hatásfokú kompresszort és egy 82%-os hatásfokú turbinát alkalmaztak, 550 °C-os turbina előtti hőmérséklet mellett [7].

A kompresszorok továbbra is gyenge hatásfoka arra ösztönözte a mérnököket, hogy valamilyen módon megkerüljék az alkalmazásukat. Ezek lettek az ún. explóziós gázturbínák. Az explóziós (izochor hőközlésű) gázturbínák munkafolyamata nem teszi szükségessé kompresszor alkalmazását, hiszen a tüzelőanyag elégeése nem állandó nyomáson, hanem állandó térfogaton történik, amely az égési folyamattal létrehozza a szükséges nyomásnöveke-

9. ábra. A Karavodine-gázturbina fő szerkezeti elemei [8]





10. ábra. A Hans Holzwarth által épített gázturbina. Fent Holzwarth explóziós gázturbinájának kiállított példánya, alul az általa megvalósított körfolyamat p-v diagramja látható [9] alapján a szerző szerkesztése)

dést is. A körfolyamat tulajdonképpen egyfajta ötvözete az Otto- és a Brayton-féle körfolyamatoknak. A keletkező égésgázoknak a turbinába áramlása és expanziója által keletkezett munka, ennek megfelelően már teljes mértékben hasznos munka.

Egyike ezeknek a kísérleteknek a Karavodine gázturbiná⁹, amely négy égőtérrel rendelkezett. Működése rendkívül hasonló volt a későbbi V-1 repülőbombák pulzáló hajtóművéhez. Itt is az égéstermékek túlexpanziójából keletkező vákuum nyitotta a „F” jelű egyirányú szelepet a „G” rugó ellenében. Az égőtér feltöltődött friss keverékkel a „D” és „C” csatornákon keresztül, amelyet az első ütemeknél

az „E” gyújtógyertya, majd pedig a felhevült kamrafal gyújtott be. A gáz utána az impulzus (akciós) turbinára áramlott, biztosítva a munkavégzést. A gázturbina rendkívül gyenge hatásfokot biztosított. Ennek egyik oka, hogy a kamra alsó része ugyan hűtött volt az „A” vízterekkel, de különösen a felső rész forrósága miatt az égőtér töltési foka nagyon alacsony volt. (9. ábra)

Ennek az irányvonalnak Hans Holzwarth¹⁰ volt az egyik legjelentősebb képviselője. A függőleges elrendezésben a vízhűtéses égéstereket, a be- és kilépőszelepekkel a legalsó gyűrűben helyezték el. Középen következett a tényleges turbina (képek alapján valószínűleg akciós turbina) a gázvezető rendszerrel, a generátor pedig a gép tetejére került.

A 10. b) ábra p-v diagramja szerint a körfolyamat első szakasza a (1-2) adiabatikus kompresszió. A bemeneti szelepek kinyitása után a tüzelőanyaganyag és a levegő beáramlik az égésterekbe. A betáplálás kezdetben szinte nyomásmentesen külső ventilátorral, később enyhe túlnyomással, külső kompresszorral történt, amelyet az elvezetett égéstermék által fűtött gőzkazán, illetve gőzturbinára hajtott.

A bemeneti szelepek elzárása után az égésterekben lévő keveréket egy gyújtógyertya meggyújtotta. A hőmérséklet és a nyomás az égéstérben meredeken emelkedett (a kísérleti üzemben a végnyomás értéke 4,5 bar volt).

A kipufogószelepek kinyitása után a forró, túlnyomásos égéstermék az égéstérből egy fúvókán keresztül a turbinába áramlik, ahol a mechanikai munkavégzés során expandál. A teljes expanzió után a forró kipufogógázok a turbinából a légkörbe áramlanak, ahol lehűlnek. Az öblítéshez és a hűtéshez tisztítási ciklust végeznek, amelyben a maradék égéstermék friss levegővel teljesen kifúvatják az égőtérből és a turbinából. Ezzel egyidejűleg a levegőt előmelegítik, és a következő ciklus levegőszükségletét biztosítják. A Holzwarth által 1939-ben elkészített utolsó, 5000 LE (3677 kW) teljesítményű gázturbina üzemanyaghiány miatt csak részterhelésen volt tesztelhető, és végül a második világháborúban, egy bombatámadás során megsemmisült. [8]

A TECHNOLÓGIA UTOLÉRI AZ ELMÉLETET, MEGSZÜLETIK A GYAKORLATBAN IS HASZNÁLHATÓ GÁZTURBINA

Az explozív gázturbinák alkalmazásának periódusa az 1920-as évek végén befejeződött, amikor a turbókompresszorok fejlődését követően az „állandó nyomású” gázturbina egyre inkább fölénybe került. Ezzel lassan a gázturbina eljutott arra a fejlettségi fokra, hogy alkalmazni kezdték az iparban, és a közlekedés minden ágában. Fontos lépcső volt ebben a sorban a világ első ipari gázturbinájának kereskedelmi üzembe helyezése a svájci Neuchâtelben 1939-ben. 1941-ben Jendrassik György tervezésével elkészült három darab JR 300 jelű, 220 kW teljesítményű gázturbina, amelyek közül kettő járművek számára, egy pedig ipari célokra épült. 1943-ban Németországban felmerült a tengelyteljesítményt adó gázturbinák alkalmazásának lehetősége az új fejlesztésű páncélozott járművekben, elsősorban harcokocsikban. A tervezett típusok a GT 101-től GT 103-ig jelzést kapták, és Adolf Müller¹¹ nevéhez kapcsolódtak. Alkalmazás szempontjából azonban kiemelkedik a repülés, ahol a következő évtizedekben – a kigépes repülést kivéve – szinte minden repülőgépkategóriában egyeduralmóvá vált a gázturbinás hajtóművek alkalmazása.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Green, Daniel. The Life of Frank Whittle and His Massive Contribution to Turbomachinery <https://blog.softinway.com/wp-content/uploads/2020/02/The-Power-Jets-Whittle-2.png?54f506&54f506> (Letöltve: 2021.1.22);
- [2] Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala, Magyar feltalálók és találmányaik: Jendrassik György <http://www.sztnh.gov.hu/feltalalok/jendrassik.html> (Letöltve: 2021.2.17.);
- [3] Varga Béla. *Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere, és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére*, PhD értekezés, Budapest, 2013, http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2013/varga_bela.pdf, pp. 47–81.;
- [4] Barber, John (engineer) [https://en.wikipedia.org/wiki/John_Barber_\(engineer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Barber_(engineer)) (Letöltve: 2022.6.12.);
- [5] Brayton cycle https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton_cycle, (Letöltve: 2022.6.12.);
- [6] Brayton double-acting constant-pressure engine cut away 1877 https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton_cycle#/media/File:Brayton_double_acting_constant_pressure_engine_cut_away_1877.jpg (Letöltve: 2022.7.1.);
- [7] Development of gas turbines <https://www.britannica.com/technology/gas-turbine-engine/Development-of-gas-turbines#ref134513>, (Letöltve: 2022.7.10.);
- [8] Zsélyi Aladár, A gázturbina. Kísérletek az új hőerőgép megalkotására, „Pátria” Irodalmi Nyomdai Vállalat RT. Budapest, 1913;
- [9] Holzwarth gas turbine - Holzwarth-Gasturbine https://second.wiki/wiki/holzwarth-gasturbine#Aufbau_und_Funktionsweise (Letöltve: 2022.7.10);
- [10] Terplán Zénó. *Jendrassik György* Akadémiai Kiadó Budapest, 1996. 2 pp. 91–92.

JEGYZETEK

- 1 Sir Frank Whittle (Coventry, England 1907. június 1. – Columbia, Maryland, USA 1996. augusztus 8.) angol mérnök, feltaláló és a Royal Air Force tisztje. Maxime Guillaume 1921-ben szabadalmat nyújtott be egy turbóhajtómű elnevezésű találmányra, amely akkoriban technikailag még kivitelezhetetlen volt. Whittle megvalósította a tervet, de sugárhajtóművének gyártása súlyos finanszírozási kérdéseket vetett fel, így csak néhány évvel előzte meg a német Hans von Ohain hajtóműveit. (A szerk.)
- 2 Dr. Hans Joachim Pabst von Ohain (Dessau, Németország, 1911. december 14. – Melbourne, USA, 1998. március 13.) német fizikus, mérnök. Az első repülőgép-sugárhajtómű tervezője volt, találmánya meghajtotta a világ első sugárhajtású repülőgépét, a Heinkel He 178 (He 178 V1) prototípusát 1939 augusztusának végén. (A szerk.)
- 3 Jendrassik György (Budapest, 1898. május 13. – London, 1954. február 8.) Széchenyi-díjas magyar gépészmérnök, feltaláló, az MTA levelező tagja. A dízelmotorok és gázturbinák fejlesztése terén ért el kimagasló eredményeket. (A szerk.)
- 4 George Bailey Brayton (Rhode Island, USA 1830. október 3. – Egyesült Királyság 1892. december 17.) amerikai gépészmérnök és feltaláló, aki alkalmazni kezdte az állandó nyomású motort, amely a gázturbina alapja lett. A motor által megvalósított termodinamikai körfolyamatot Brayton-ciklusnak nevezték el. (A szerk.)
- 5 Dr. Karl Heinrich Franz Stolze (Berlin, 1836. március 14. – Berlin, 1910. január 13.) német feltaláló, fotós, író, aki az első gázturbina és fotográfiai mérési módszerek kidolgozójaként ismert. (A szerk.)
- 6 Kompresszorpompa: a kompresszorban az áramlás részleges vagy teljes összeomlása. Számos kiváltó oka lehet, de a végeredmény minden esetben a kompresszor tömegáram-csökkenése, ezzel az áramlás axiális sebességének csökkenésén keresztül a kompresszorlapátok sebességi háromszögeinek torzulása, és az áramlás leválása. Eredményes védekezés a kompresszor megcsapolásával, az előperditő (ha van) és az álló lapátok elfordításával, illetve a gázgenerátor forgórészeinek szétválasztásával (kétforgórészes hajtóművek) történhet.
- 7 Jens William Ægidius Elling (Norvégia, 1861. július 26. – Oslo, Norvégia, 1949. május 27.) norvég kutató, a gázturbina egyik feltalálója, aki megépítette az első olyan gázturbinát, amely több energiát termelt, mint amennyi a saját alkatrészeinek működtetéséhez szükséges. (A szerk.)
- 8 APU: Auxiliary Power Unit, vagy segédhajtómű, amelyeknek a feladata a repülőgépek fő hajtóműveinek indítása, a fedélzeti elektromos energiarendszer táplálása, a légkondicionáló rendszer levegővel történő ellátása.
- 9 A szerző utalása a szentpétervári (Orosz Birodalom) Victor V. Karavodin 1906-ban bejegyzett, „Pulsejet” című szabadalmára. (A szerk.)
- 10 Hans Theodor Holzwarth (Dornhan, Németország 1877. augusztus 20. – Düsseldorf, Németország 1953. augusztus 21.) német gépészmérnök, aki az első teljesen működőképes gázturbina feltalálójaként vált ismertté. (A szerk.)
- 11 Max Adolf Müller (1898–1965) német gépészmérnök, hajtóműtervező, aki a Junkers és a Heinkel-Hirth cégeknél végzett titkos fejlesztéseket. (A szerk.)

HADITECHNIKA FOLYÓIRAT

Olvasóink figyelmébe!

Tájékoztatjuk Tisztelt Olvasóinkat, hogy a **HADITECHNIKA** folyóirat szerkesztősége új címre költözött.

Székhelyünk és postacímünk:

Zrínyi Kiadó

1087 Budapest, Kerepesi út 29/b

Telefonszám: +3630/773-7494

E-mail: haditechnika@hmzrinyi.hu.

A Haditechnikai magazin digitális változata a laptapir.hu weboldalon is olvasható.