

# TUDOMÁNYOS HELYZETKÉP A GŐZTURBINÁK TERÜLETÉRŐL\*

AZ ÁRAMLÁS- ÉS HŐTECHNIKAI GÉPEK AKADEMIAI BIZOTTSÁG  
MEGBÍZÁSÁBÓL

SZÁDAY REZSÓ\*\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1969. február 12-én]

A gőzturbina továbbfejlesztésére irányuló kutatómunka területén egyre inkább előtérbe kerül a gazdaságosság kérdése. Ennek a témakörnek alapvető gondolata a beruházási költségek csökkentése, a hatásfok javítása, az üzembiztonság fokozása, valamint a kezelési és karbantartási költségek csökkentése. Ebben az értelemben keresik a kutatók és a konstruktőrök a megoldást a következő részletkérdésekre: nagyobb teljesítőképességű egységek kialakítása, adott egység alkalmazása nagyobb értékű paraméterekre, nagyobb turbinahatásfok elérése, a konkrét szilárdsági problémák újra-vizsgálata, a szerkezeti anyagok továbbfejlesztése, az automatizálás széles körű alkalmazása, a biztonsági berendezések sokoldalú kihasználása. Az áramlástechnikai problémák kutatása kiterjed az összes alkatrészszele, ahol áramlás folyik. Különös figyelmet fordítanak az egyes szerkezeti elemek szilárdságával és a rezgési jelenségekkel kapcsolatos problémákra, úgyszintén napirenden van az automatikus indítás feladatának megoldása is. Ezekon túlmenően a kutatók kizárólag a már megvalósított konstrukciók felülvizsgálatával foglalkoznak. A hazai kutató tevékenység természetesen csak szerény lehet az iparilag fejlett államokban folyó kutatásokhoz képest. Ennek ellenére kutatóink abban a helyzetben vannak, hogy a népgazdaság igényeit minden vonatkozásban kielégítsék.

## I. A követelmények felmérése

A gőzturbínák tárgykörében ma folyó tudományos munkát és annak a gőzturbina-gyártó, valamint erőművi iparban játszott szerepét elsősorban az szabja meg, hogy a világ energiagazdálkodása milyen követelményeket támaszt az üzemben levő, de még inkább az újonnan beépítendő gőzturbinákkal szemben. Ezt vizsgálva meg kell állapítanunk, hogy a gőzturbina nyolcvanöt éves történetének már első két évtizedében túljutott a pusztta megvalósulás stádiumán; századunk elején már a legkülönbözőbb célokat szolgáló gőzturbinákat lehetett kifogástalan minőségben készíteni. Hogy a gőzturbina ennek ellenére ma is jelentős tudományos érdeklődésre tart számot, ennek oka az, hogy

az energiatermelés a világ gazdálkodásában egyre nagyobb szerepet játszik;

az energiatermelés ez idő szerint csak hőerőgépek beépítésével fokozható jelentősen;

\* A tudományos helyzetképet megvitatta az *Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Akadémiai Bizottság* 1968. október 14-i ülésén. Opponensek voltak: DR. LÉVAI ANDRÁS levelező tag és ZETNER TAMÁS, a műszaki tudományok kandidátusa. A közlemény az opponensi vélemények és a bizottsági ülésen elhangzott vita figyelembevételével készült.

\*\* Láng Gépgyár, Váci út 152. Budapest XIII.

a víz/gőz közegnek jelentős előnyei miatt elsősorban a gőzturbina alkalmas nagy teljesítményekhez;

a víz/gőz körfolyamatnak és így a gőzturbináknak a következőkben részletezett szempontok szerinti továbbfejlesztéséhez igen jelentős gazdasági érdek fűződik.

Belátható ideig nem várható változás abban, hogy a világ energiaszükségletének több mint 80%-át (akár kazánból, akár atomreaktorból származó gőzzel hajtott) gőzturbinákkal fedezzük.

A gőzturbinának *megvalósult*, de egyre nagyobb *gazdasági érdekekkel terhelt* volta a hozzá kapcsolódó *gazdaságosság* fokozására irányítja a kutatók figyelmét. Ennek egyes tényezői a következők:

a) *A beruházás gazdaságossága.* Ez megköveteli az egységteljesítmények növelését, mert nagyobb egység fajlagos beruházási költsége kisebb. E *követelménynek* a villamos energiaelosztás kiterjedésével alig vannak korlátai, illetve korlátokat ma már a gőzturbina *lehetőségei* szabnak. Megköveteli a nagyon bonyolult és drága szerkezetek kerülését is, de csak addig, amíg az nem megy az üzembiztonságnak és az üzem gazdaságosságának a rovására.

b) *A hatásfok javítása.* Megköveteli, hogy a gőzturbina *jó termikus hatásfokú körfolyamatba* legyen beépíthető. Ez napjainkban nem csupán azt jelenti, hogy a víz/gőz közegben kívánunk egyre nagyobb frissgőz nyomást és hőmérsékletet, újrahevítést, előmelegítést stb. alkalmazni, hanem jelenti azt is, hogy a víz/gőz közeggel dolgozó, vagyis legszorosabb értelemben vett gőzturbinának esetleg a közeg körfolyamata fölé vagy alá kapcsolt más közegű körfolyamathoz kell alkalmazkodnia. Követelmény továbbra is a turbina (belső) hatásfokának javítása. Közepes gépteljesítmények és az expanzió közepének tartományában a jelentős múltú kutatási tevékenység már csaknem elérte a lehetőség határait; a lényegében konfúzor-alakú csatornák amúgy sem támasztanak olyan követelményeket az áramlástanai kutatással szemben, mint a nyomásfokozó áramlástanai gépek diffúzor-csatornái. További indítékot ad azonban a kutatásra az igen nagy nyomások adta igen kis gőztérfogatok és a nagy teljesítményű gépek kisnyomású részein adódó igen nagy gőztérfogatok feldolgozása, valamint az egyéb járulékos belső veszteségek csökkentése.

c) *Üzembiztonság és rendelkezésre állás* napjainkban nagyobb hatással van a gazdaságosságra, mint a múltban volt vagy a jövőben lesz. Korszerű, jó hatásfokú blokkok beruházási költsége nagy, ezért a hideg tartalék tartása egyre érzékenyebben érinti a gazdaságosságot; az előtérbe került blokküzemben a gőzturbina üzemképtelensége az egész blokkot kiejti; a nagyobb egységteljesítményű turbina kiesése a rendszert érzékenyebben sújthatja — mindezek fokozzák az üzembiztonság jelentőségét a múlttal szemben. Ezzel párhuzamosan az utóbbi két évtizedben az erőművek hatásfoka annyira megnőtt, hogy igen nagy különbség van az esetleg kiesett új és a helyébe lépni kényszerülő régi blokk hatásfoka között, ami fokozza a váratlan kiesés gazda-

sági hátrányait. Ez a hatás sem a múltban nem volt, sem a jövőben nem lesz olyan erős, mint napjainkban. Jellemző mai követelmény tehát: az üzembiztonság ésszerűen csak józan költségráfordítással, vagyis inkább megbízható szerkezeti elemekkel, mint a biztonsági berendezések túlhajtása útján fokozható.

*Az üzembiztonság követelményei a következők:*

Szilárdságilag megbízható anyagok és szerkezetek;  
nyugodt járás és az alkatrészek rezgésmentessége;  
váratlan külső behatásokra, átmeneti üzemállapotokra érzéketlen szerkezetek;

a korszerű nagy gőzturbinák igényeit követő szabályozó, ellenőrző, jelző és biztonsági berendezések;

automatizálás a gyakori indulások gazdaságosságának fokozására, vagy a hosszú tartósult üzemidő alatt gyakorlatát veszítő kezelőszemélyzet hibáinak elkerülésére.

*d) Változó üzem és a kezelés gazdaságossága.* Ennek egyes tényezőit röviden a következőkben foglalhatjuk össze:

Indulás és megállás időtartama, munkaerő- és üzemanyag igénye mennél kisebb legyen; ez a hőállapotok és feszültségek gondos vizsgálatát, valamint az automatizálás fokozását követeli meg.

A teherváltozások sebességének és nagyságának a turbina mennél kevésbé szabjon határt; ez a hőállapotok és feszültségek kutatását és ez alapon a hőelasztikus szerkezetek megvalósítását követeli meg.

A turbina engedje meg a túlterhelést részben a körfolyamatba való beavatkozás (pl. nyomásnövelés, előmelegítő lezárás), részben szerkezeti kialakítás (pl. megkerülőszelepek), esetleg a kettő kombinációja (pl. tároló) útján.

A kezelőszemélyzet csökkentésének feltétele az üzembiztonság, a távvezérlés és az automatizálás.

A követelményeknek e rövid felmérése azt bizonyítja, hogy a gőzturbinákhoz kapcsolódó tudományos munka iránti igény igen sokoldalú. Bár a gőzturbina áramlástanai gép, mai fejlettségében az áramlástanai kérdések távolból sem uralkodók, és ezek mellett egyenként is legalább ugyanolyan súllyal esnek latba a hőtani, mechanikai, metallurgiai, villamosságtani és irányítástechnikai, sőt a technológiai kérdések is. Ezekon túlmenően azt is megállapíthatjuk, hogy éppen az említett tudományágak határterületein folyik legélénkebben az elvi tudományos munkának a gőzturbinákra alkalmazott formája; sőt jelentős tudományos munka folyik az egyes említett tudományágak szempontjából támasztott követelmények közötti kompromisszum megtalálására is. Utóbbira jellemző példa az utolsó lapátsorok kialakítása az áramlástanai (háromdimenziós áramlás, legyező alakú rács, vízcseppek), hőtani (expanzió és hőmérséklet

alakulása, víz kiválása), szilárdságtani (centrifugális igénybevétel), lengéstani (hajlító és csavaró önlengések, ezek lehetséges gerjesztése), valamint metallurgiai és technológiai lehetőségek figyelembevételével.

Külön említést érdemel még az a követelmény, hogy a gőzturbinának nem csupán a külön megtervezett hőtani körfolyamatba kell jól beleilleszkednie, hanem az erőművi blokk többi részeihez, továbbá a blokk irányítóberendezéséhez is jól kell csatlakoznia. Mindezek a csatlakozások számos érdekes határterületet adnak (teljesítményszabályozás, blokk szabályozás, a blokk ellenőrzése, önműködő indítása, előmelegítőberendezések automatikái stb.), amelyek mindegyike jelentős tudományos és gyakorlati tevékenység tárgya. Ezek a témák, valamint az összetett körfolyamatok azonban kívül esnek a szoros értelemben vett turbinák tárgykörén és a turbinákkal szemben tudományos jellegű igényt nem támasztanak; ismertetésüket ezért mellőzzük. Hasonlóan mellőzni kívánjuk a tisztán gyakorlati tevékenységek továbbfejlődését (pl. forgórészek pörgetési próbái és egyensúlyozása, szerelési egységek próbája, anyagvizsgálatok stb.), amelyek bár a turbinák minőségének javítását szolgálják és előfeltételei a tudományos eredmények hasznosításának, nem tartoznak a tudományos helyzetképhez.

A következőkben tehát a szoros értelemben vett gőzturbina tárgykörében is igen sokrétű tudományos tevékenységet kívánjuk röviden felmérni. E sokrétűség feloldására tudományáganként adjuk elő azokat a kérdéseket, amelyekre a tudományos tevékenység napjainkban irányul.

## II. Világhelyzet a tudományos tevékenységben

### 1. Áramlástanai kérdések

Az áramlástanai kérdések közül továbbra is a *lapátozat* kérdései a legérdekesebbek. Ezek vizsgálatának első megközelítése a *síkbeli áramlással körülvett egyedülálló, párhuzamos és végtelen kiterjedésű gyorsító lapátrács* vizsgálata. Jellemző e téren az, hogy az Euler-turbinaegyenleten és sebességábrán alapuló mechanikai szellemű tárgyalásmód ma már csak a jelenségek alapvető magyarázatára használatos; a gyakorlati munka és tudományos kutatás az áramlástan-energetikai szemléleten alapul. Mint ismeretes, ennek alapjait gőzturbinák terén BÁNKI vetette meg; egyik legutóbbi összefoglalását TRAUPEL könyve adja. Ez a profilrács veszteségtényezőjét adja meg a megfújási szög függvényében; a gőzturbina szerkesztője részére pedig olyan segédletet ad, amely ezt az áramlástanai kutatási eredményt felhasználja. A kutatási eredmény: jó hatásfokú profilok sorozata különböző be- és kilépő szögekkel és a hozzájuk tartozó osztással; minden profilhoz (rácshoz) a veszteségtényező a megfújási szög függvényében. Ezt a tárgyalásmódot teljessé teszi a Reynolds-szám, a Mach-szám, a profil-érdesség, az oldalfalak, a kötöző- és csillapító-huzalok, a

rácsok közötti átlépés, a lapátvég-leélezés és hasonló járulékos hatások figyelembevétele. E téren a kutatás csaknem lezárt; csupán a nagyon nagy eltérések (akciós futólapát) és nagy Mach-számok (szabályozó fokozat, utolsó futólapát vége) terén adódik még tevékenység.

*Jelentős tevékenység folyik* azonban e tárgyalásmód továbbfejlesztése terén, mégpedig a következő irányokban:

A *sorba kapcsolt* lapátrácsok vizsgálata, miközben optimálisnak azt a rácsípust tekintjük, amely a következő rács beömlése szempontjából is kedvező (ez is jórészt lezárt téma);

A *legyezős* lapátrácsok vizsgálata egyre finomabb részletekbe menően: a síkbeli áramlás az álló rács egyes helyein, a forgó rácson és teljes fokozatsoporton térbeli áramlás, a radiális nyomásgradiens figyelembevétele, a hatásfok változása a lapát hossza mentén, ugyanezek vizsgálata szilárdsági okból kúposan elvékonyított lapátokkal;

a *lapátprofilok* elcsavarása áramlás és hatásfok vizsgálata az elcsavart lapát hossza mentén;

a *vízcseppek* áramlási viszonyai;

a különleges fokozatok — így a szabályozó fokozati fűvőkák, terelőlapátok és futólapátok — vizsgálata. (Curtis-fokozatok áramlási viszonyai alig felderítettek, ezek iránti érdeklődés azonban csökken.)

Ezekből látható, hogy a lapát-profilrácsok terén immár olyan részletek figyelembevételéről van szó, hogy az előirányzott finomságú eredmények már jórészt csak a tényleges szerkezetű és méretű turbinafokozatok vizsgálata útján remélhetők. Ezért a gyárak egyre inkább arra is kénytelenek berendezkedni, hogy modell-kísérleteken és kísérleti fokozatok vizsgálatán túlmenően a tényleges, üzemi turbinán végezzenek méréseket sebesség- és nyomásmérő szondák, valamint fényképezés segítségével. A körülmények részletei is annyira különlegesek, hogy azok az általános áramlástechnikus érdeklődési körétől elszakadva a nagy turbinagyárak és az üzemtartó kezelésébe, eredményei pedig féltve őrzött tulajdonába kerülnek. Kiváló példája ennek a munkának az a — vízcseppeknek az utolsó fokozaton *való áramlását* végigkísérő — film, amelyet 1958. március havában idehaza is bemutattunk.

Az áramlástan tevékenység a lapátozat viszonyainak tisztázása után egyre nagyobb súllyal a *turbina egyéb átáramló részei* felé fordul azzal a törekvéssel, hogy azok ellenállását csökkentésék. Fontosabb témák, amelyekkel a kutatók foglalkoznak, a következők:

A gőzsűrű ellenállásának vizsgálata (legkedvezőbb kialakítás szilárdságilag és áramlástanilag);

főgőzszelep és háza (kompromisszum a szilárdság, hőrugalmasság és áramlási ellenállás szempontjai között);

a szabályozószelep és háza (mint a főgőzszelep, de figyelembe kell venni a gőzforgalom kedvező befolyásolásának szempontjait is);

az áramlás vizsgálata a fokozatcsoportok közötti terekben, házak be-, ill. kiömlésében és az átömlővezetékben, legfőképpen azonban az áramlás vizsgálata a nagy kondenzációs gőzturbinák kiömlő részeiben (legkedvezőbb kialakítás megállapítása a méretek és az ellenállás csökkentésére), továbbá a labirintek kutatása (a labirintrés és valóságos labirint áteresztésének meghatározása az üzemi szempontból is kedvező konstrukciók mellett).

Az itt felsorolt vizsgálatok jórészt egy-egy gyár konstrukciós szokványait vizsgálják felül a tökéletesítés érdekében. Eredményeik azonban a konstrukciók hasonlívá válására vezetnek, mert egy-egy kivitel fölénye lassan behizonyosodik és közkinccsé válik. Így vált közismertté a diffúzorszelep és annak méretezési szabálya; így válik általánossá az áramlásnak radiálisba fordítása nagy kiömlőrészekben; így nyertek alkalmazást az egyes házak beömlő — ill. kiömlő — részeiben azok a tapasztalatok, amelyeket az áramlástanilag sokkal igényesebb gázturbinákban szereztek.

*Mindent összevetve* a turbinák áramlástanai részeinek kutatása immár a végső finomságok figyelembevételére és azok hatásának megállapítására törekszik. Az eredmény kettős: egyrészt létrehoz olyan elemeket és megállapít olyan szerkesztési szabályokat, amelyek adott körülmények között a lehető legkisebb veszteségeket és legjobb hatásfokot eredményezik, másrészt módot ad a veszteségek és hatásfokok pontos előzetes kalkulálására. A turbinák hatásfok-számítása igyekszik mindeme részleteket lehető teljességgel figyelembe venni. Ez azt is jelenti, hogy a kalkulációs munka terjedelme egyre nő; ezért a nagy konkurenciának kitett nagy turbinagyárak elektronikus számítógépekkel dolgoznak. E téren élen járó turbinagyárak hatásfok-előkalkulációjának pontossága 0,5%-ra tudja a tényleges értéket megközelíteni.

## 2. A szerkezeti elemek igénybevétele és deformációja

Ez a kérdés két okból képezi jelentős terjedelmű tudományos tevékenység tárgyát:

a) A nagy nyomásnak és hőmérsékletnek kitett elemek konstrukciója közismerten kompromisszumot képez a nagy nyomást kiálló és a gyors hőmérséklet-változásoknak, valamint nagy hőmérsékletkülönbségeknek ellenálló rugalmas konstrukció között. Igen nagy érdek tehát a nyomás, illetve a centrifugális erőhatás adta feszültségek pontos ismerete annak érdekében, hogy az anyagok teherbírását jól kihasználva lehetőleg *vékony* falú szerkezeteket kapjunk. Nagy érdek azonban a tartós üzemben, valamint a változó viszonyok között (indulás, állás, teherváltozás) a hőmérsékleteloszlás és az ebből származó feszültségek, valamint deformációk pontos ismerete is. Bár e téren világszerte igen jelentős tudományos és gyakorlati tevékenység folyik, mérés technikája még jelentős fejlesztésre szorul.

A nagy kondenzációs turbinák kisnyomású részei, főleg pedig utolsó fokozatai 8—10 m<sup>2</sup>-es kilépő keresztmetszetükkel oly nagy erőhatásoknak vannak kitéve és lengéstanilag is olyan kényesek, hogy megvalósításuk csak az igénybevételek igen pontos kalkulációja alapján lehetséges.

A mechanikai igénybevételek (a nyomás és a centrifugális erő) pontos meghatározására — a jelentősen fejlett számítási módszereken túlmenően — általánossá vált a kismintákon vagy még inkább természetes nagyságú próbadarabokon, végül kész turbinarészekben nyúlásmérő hélyegek használata. Ezúton a feszültségek jól feltérképezhetők és így egyrészt a kívánatos konstrukciós változtatásokat, másrészt a szuperponálódó hőigénybevételek megengedett mértékét lehet megállapítani. Egyes esetekben a feszültségek elméleti és mérésrel való megállapításán kívül kisminták vagy természetes nagyságú próbadarabok roncsolásig menő túlterhelése is szokás. Ilyenek az utolsó lapát-sorok gyökbefogása (állóhelyben, húzással) és a hegesztett kiömlőrészek (kismintán, nyomással összeroppantva) alkalmazása.

A hőigénybevételek megengedett mértékének elve (állandósult a kétrészes folyási határig, változó a lassú fáradás határáig) kidolgozott és ismert. A tényleges hőmérsékleteloszlás számítással való meghatározása azonban — a tetszetős módszerek ellenére — továbbra is bizonytalan, mert a gőzoldali hőátadási tényezőnek laboratóriumban mért, vagy hasonló alakokkal végzett kísérletekből hasonlósági törvényekkel megállapított értékei megbízhatatlanok. Ezért általános szokás

a hőmérsékleteloszlást mérni, ebből a hőátadásra következtetve a konstrukciós tanulságokat levonni;

a hőmérsékleteloszlást és deformációkat mérni, a számított hőterjeszkedés és a tényleges nyúlás különbségéből a feszültségre következtetni;

a nem kívánatos deformációk csökkentésére a legközelebbi kivitelen az előző kivitelen szerzett konstrukciós tanulságokat levonni.

E szilárdságtani kérdések természetesen alig választhatók el a nagy nyomásra és hőmérsékletre igénybe vett *anyagok fejlődésének* kérdéseitől sem. Mintegy 15 évvel ezelőtt néhány — valójában inkább kísérletnek szánt — gőzturbinaberendezést készítettek igen nagy nyomásra és hőmérsékletre részben annak reményében, hogy az igen nagy hő-időszilárdságú ausztenites acélok a problémák végső megoldását nyújtják. A változó üzemmellel kapcsolatos igények fokozódása azonban előtérbe helyezte azt a tényt, hogy a hőigénybevételekre a hővezetési tényezőnek, a fajsúlynak és a hőterjeszkedési együtthatónak is jelentős hatása van. E téren pedig az ausztenites anyag hátránya jelentős, mert az azonos alakú és méretű darab azonos hőmérsékletváltozási sebesség esetén deformációjában megakadályozva csaknem háromszor akkora feszültségnek van kitéve, mint a ferrit-perlites szerkezetű. Ezért könnyen lehetséges, hogy az ausztenites alkatrész még a nagyobb tartamszilárdsága által lehetővé tett kisebb falvastagsága mellett is — a hőmérsékletváltozások miatt — hát-

rányba kerül a perlit-ferrites szerkezetekkel szemben. A mai tendencia a ferrit-perlites anyagok hő-időszilárdságának fokozása a szennyeződések (főleg  $H_2$ ) teljes kizárása (vakuumöntés), valamint a tökéletes alakítási technológia és hőkezelés útján.

A szerkezeti anyagok tulajdonságainak és alkalmazási körének megismerése, valamint helyes értékelése természetesen visszahat az erőművek tervezésére is, és azok tárgykörébe tartozó tudományos munka tárgyát képezi. Az a hőtanilag helyes irányzat ugyanis, hogy a nyomást és a hőmérsékletet együtt fokozzuk, az újrahevítés általánossá válása folytán nem feltétlen követelmény többé. Nagy gőzturbinák esetében a frissgőz-nyomás növelése egymagában is jobb eredményt adhat, mint a gépészetileg nagyobb gondot okozó hőmérséklet-emelés.

A gőzturbinák tengelyének *lengéstanai kérdései* elvileg lezártak; a tudományos munka az ismert megoldások bevezetése és alkalmazása terén folyik. A közelmúltban még a turbina lengéstanai vizsgálata az egymáshoz igen rugalmasan kapcsolt és így többnyire egymástól függetlennek tekinthető kéttámaszú tengelyrészek első hajlító önlengésszámának ellenőrzéséből állt. Napjaink nagy gőzturbináinál ez a tevékenység a következőkkel bővült:

A nagy teljesítményű turbinák tengelyrészeit — még a generátor tengelylyel is — mereven kell összekötni; így azonban a tengely számos önlengésalakkal bíró többtámaszú rendszert képez. A számítási ráfordítás nagysága miatt elektronikus számítógépet kell igénybevenni és az eredményt modell kísérettel kell ellenőrizni.

A többházás gőzturbinák mereven összekötött hosszú (pl. 61 m-es) tengelyét nemcsak hajlító, hanem csavaró lengésekre is ellenőrizni kell és immár szokás is.

A többtámaszú, súlyos és nagy támaszközü tengelyek hajlító önlengésszámjai az üzemi fordulatszámot közrefogják. Ezért a kritikus fordulatszámot nagyon pontosan kell megállapítani, aminek érdekében figyelembe kell venni az olajfilm és a csapágyak rugalmasságát is.

A tengelylengések tárgykörében meg kell emlékeznünk egy legutóbb megállapított jelenségről, amely szerint a gőzáram gerjesztene túlrhetetlen hajlító lengéseket a tengely önlengésszámától függetlenül is. Egy elméleti vizsgálati mód viszonyt állapít meg a tengelyrészeire ráadott teljesítmény és a kritikus fordulatszám között, amelyen felül az ilyen természetű lengések fel lépnek. A gyakorlati tapasztalatok bizonyos tengely-konstrukció esetén az elmélettel jól egyeznek; torzióra merev tengelyek esetében viszont annál kevésbé. Valószínű, hogy a gőzáram gerjesztő hatására hajlító- és csavarólengések egymásrahatásából származik a jelenség, amely ilyenképpen teljesen felderítetlen.

A lengéstanai vizsgálatok jelentősebb része az *utolsó futólapátokra* — és kisebb mértékben a futótárcsákra is — irányul. Már régebben is szokás volt



a lehetséges gerjesztő lengésszámoknak, valamint azok néhányszorosának közelébe eső nyugalmi hajlító és csavaró önlengésszámot számítással, illetve kísérlettel meghatározni, a forgás hatásának figyelembevételére pedig a kapott lengésszámot számításból kapott ökölszabály segítségével megnövelni. Napjainkban egy-egy új típusú utolsó lapát több éves fejlesztő munka eredménye; eközben a számos változat mindegyikét mindendre kiterjedő számítással és forgás közbeni feszültség-, deformáció-, valamint önlengésszámméréssel ellenőrzik. (Jellemző az ez irányú számítási és kísérleti ráfordítás nagyságára, hogy egy nemrég megjelent referátum szerint számították, majd mérték egy csavart hosszú lapát végének szögelfordulását a centrifugális erő hatására; a számítás  $8^\circ$ , a mérés  $7^\circ$  elcsavarodást mutatott a végprofil nyugalmi állapotához képest.)

A lengéstani hatásokhoz természetesen nem csupán az önlengésszámok, hanem a lehetséges gerjesztő frekvenciák megállapítása is hozzátartozik. A fordulatszám, annak kétszerese (az osztósík miatt), valamint a fordulatszám és a vezetőlapátok számának szorzata kézenfekvő és régóta figyelembe vett gerjesztő frekvenciák. Minden lehetséges gerjesztő frekvencia figyelembevételére egyes kutatók a gázdinamikai gerjesztő impulzusokat is vizsgálják inercia-mentes szondákkal, gőzzel átáramlott, természetes nagyságú és működésű kísérleti fokozatokban.

Az eddig előadott témaköröket áttekintve azt állapíthatjuk meg, hogy a követelmények kiéléződése a számítási és kísérleti munka együttes alkalmazását igényli egy-egy fejlődési lépés megtételéhez. Ez a folyamat oda vezet, hogy sem a számos megközelítő feltétellel élő számítás, sem a valóságot tökéletesen soha sem tükröző kísérlet nem elegendő ahhoz, hogy a ma már horribilis értéket képviselő 1000 MW teljesítőképesség körüli blokk sorsát arra alapozzák. Az eljárás tehát az, hogy ha a jól egyező eredményű számítás és kísérlet alapján megvalósult alkatrész a gyakorlatban is beválik, úgy a számítási és kísérleti módszer igényt tarthat olyan hitelességre, hogy azok eredményére támaszkodva újabb és nagyobb követelményeknek eleget tevő alkatrészt valósítsanak meg újabb és nagyobb gőzturbinákhoz.

### 3. Mérés és irányítástechnika

A gőzturbinákhoz kapcsolódó mérési és irányítástechnikai feladatok a következőképpen csoportosíthatók:

*Szabályozási feladatok*, amelyek megoldásával a turbinához csatlakozó folyamat jellemzőit azok mérése alapján állandó értéken tartják;

*biztonsági feladatok*, amelyek megoldásával a turbinára veszélyes üzemi állapot elérését megakadályozzák, ill. veszélyes állapot fellépésekor a turbinát üzemen kívül helyezik;

*üzemellenőrzés célját szolgáló mérés és adatfeldolgozás;*  
*önműködő indítás.*

Az első három feladatcsoport a gőzturbinák műszaki fejlettségének mindenkorin fokán meg volt oldva; az irányítástechnikai berendezések megfeleltek a turbinák kívánalmainak. A gőzparaméterek emelkedésével, a teljesítőképességek növekedésével és a berendezések bonyolultabbá válásával azonban a követelmények nőttek, a feladatok sokasodtak. A gépegységek értékének növekedésével és a kezelőszemélyzet megtakarítására irányuló törekvéssel végül előtérbe lépett az automatikus indítás iránti igény is.

a) *A szabályozási feladatok* megoldása területén a gépészetben a gőzturbinatechnika vette először igénybe a szabályozáselmélet eredményeit. A fordulatszám szabályozás stabilitásának kritériumait, a teherledobáshoz fűződő követelményeket már a múlt század végére kidolgozták; e feladatok megoldását pedig hamarosan követte a nyomásszabályozások és többszörös szabályozások gyakorlati megoldása és elméleti kivizsgálása is. Ezzel az elsődleges szabályozási igényeknek a tudomány évtizedekre eleget tett.

A gőzturbináknak az 1940-es években megindult rohamos fejlődése a következő további igényekkel lépett fel a szabályozástechnikával szemben:

A kooperációs villamos hálózatok bővülése a szabályozás érzékenységének fokozását követeli meg. A legutóbbi két évtized fejlesztési tevékenysége ezért nagy mértékben a súrlódástól és így érzéketlenségtől mentes szerkezetek megvalósítására irányult. A fejlesztés eredménye az, hogy 0,7 ezelék alatti érzéketlenség (a 25 évvel ezelőtti 0,5 százalék helyett) ma már általánosnak tekinthető. A gépnagyságok fokozódásával azonban a turbina szabályozóberendezésében egyre nagyobb teljesítményerősítésre van szükség, ami hidraulikus elemekben az érzéketlenségnek fokozódó forrása lehet. A legújabb irányzat ezért a villamos szabályozók kifejlesztése. Ezek a szabályozott jellemzőket villamos úton mérik; minden jelátalakítás is villamos, tehát minden érzéketlenségtől mentes. Csupán a beavatkozó szerv hidraulikus, mert csak hidraulika képes a szabályozó szelepek helyzetét igen nagy erőhatások ellenében pontosan tartani és igen nagy sebességgel beavatkozni. Az ilyen értelemben vett villamos szabályozás a vezető turbinagyárakban legalábbis kifejlesztés alatt áll.

Az újrahevítés különleges szabályozást követel meg. Ennek elméleti és gyakorlati alapjai immár jól kiforrottak.

A gépméretök növekedése és — újrahevítéses, valamint többszörös szabályozásban — a több helyen való érzékelés és beavatkozás igénye a hidraulikus szabályozók csővezetékrendszerét igen kiterjedtté tette. Ezzel fel lépett a csővezetékek rugalmasságának, a csővekben levő folyadékoszlop tehetetlenségének és súrlódásának figyelembevételére irányuló igény is. A tudományos tevékenység e kérdések megoldására is irányul, de a fellépő nehézségek ebből a szempontból is a villamos szabályozók előtérbe lépését indokolják.

A tudományos kutatás és fejlesztés módszerei között egyre inkább helyet kap a kísérleti munka. Ez nem csupán az egyes elemek kísérleti kipróbálásából

és szabályozás-dinamikai tulajdonságainak kivizsgálásából áll, hanem előtérbe lép a teljes szabályozások modellezése és analóg berendezésekkel való szimulálása is. Főleg a bonyolultabb többszörös szabályozások vizsgálatában alkalmaznak szimulátorokat, mert ezek megbízhatóbb eredményeket ígérnek, mint a számos egyszerűsítő feltétellel élő matematikai kezelés.

Változatlan, sőt egyre fokozódó tevékenység tárgyát képezi a megvalósított teljes turbinaberendezések szabályozásának vizsgálata. Ez a turbina szabályozás viselkedésének átmeneti állapotokban való meghatározását célozva a szabályozás egyes jellemzőinek (olajnyomások, gőznyomások, szelepemelkedések, fordulatszám) időbeli lefolyását adja erős zavarások (főleg teherledobás) esetén.

A turbinaszabályozás részletmegoldásaival szemben egyéb követelmények is felmerülnek (automatikus indítás lehetőségébe bekapcsolódás, blokk-szabályozásban és teljesítményszabályozásban való részvétel stb.) ezek azonban tudományos munkával szemben igényt nem a szoros értelemben vett gőzturbina tárgykörben támasztanak.

b) *A biztonsági berendezések fogalomköre az utóbbi másfél évtizedben igen jelentősen megnőtt, és átnyúlik a mérő és üzemellenőrző berendezések fogalomkörébe. Mintegy két évtizeddel ezelőtt a „veszélyes üzemállapot” fogalmán főleg csak a túl nagy fordulatszámot és gőznyomást (beleértve a kondenzátornyomást is), ezen felül legfeljebb a csapágyhőmérsékletet és a tengely axiális helyzetét értették. A gőzparaméterek és gépnagyságok növekedésével és az indításokkal, megállásokkal, teherváltozásokkal szembeni igények fokozódásával azonban más paraméterek ellenőrzése, sőt a biztonsági rendszerbe való bekapcsolása is előtérbe került. E szempontok miatt, valamint a kezelőszemélyzet megtakarítása érdekében ma önműködő berendezések védhetik meg a turbinát a következő állapotjelzők nem kívánatos értékével szemben is: a frissgőznyomás csökkenése; a ház és a tengely relatív hőterjeszkedése; a teherváltozási sebesség; a tengely-excentricitás; a csapágy-rezgés; a hőmérsékletkülönbség a ház egyes pontjai között, a hőmérsékletváltozási sebességek stb.*

Erre többnyire villamos berendezések szolgálnak, amelyek fejlesztése nem a gőzturbinák tudományágába tartozik. Ide tartozik azonban a paraméterek megengedett értékének meghatározása és a mérőhelyek kijelölése, amiről a 2. szakaszban már szóltunk.

c) *Az üzemellenőrzési stb. feladatokra lényegében ugyanazt állapíthatjuk meg, mint a biztonsági berendezésekre.*

d) *Az indítás és az üzemvitel automatizálása két elvi lehetőség irányában indult meg. Ez egyik irányzat az egész erőművet egy központi irányítóberendezés alá rendeli; ebben az irányban Amerikában történtek az első próbálkozások. E megoldás hibája, hogy meglévő erőműre utólag nem építhető, és hogy a központi irányítóberendezés hibája az egész erőművet üzemképtelenné teheti.*

Ezért általánosabb irányzatnak tekinthető az a megoldás, hogy az erőmű egyes részeinek önálló szabályozási körei megmaradnak és a központi irányító berendezés ezeket a szabályozási köröket vezeti. A szoros értelemben vett gőzturbinatechnikát ilyen módon nem is maga az automatizálás, hanem a turbinaberendezések az automatikus indításra és üzemvitelre alkalmassá tétele érdekli. Ennek feltételei pedig a következők:

A beavatkozási helyek számának csökkentése és azok távvezérléssel való ellátása (pl. indítóberendezés és fordulatszámellátó egyesítése);

a szükséges önálló szabályozási körök kiépítése (fordulatszám, tömszelencegőz, kondenzátor-vízállás, olajhőmérséklet);

a fordulatszám szabályozás működési tartományának lefelé kiterjesztése az üzemi fordulatszám 7—10%-áig;

az említett biztonsági berendezések beépítése a változások ütemének korlátozására (pl. hőmérsékletkülönbség a házban korlátozza a fordulatszám-növelés ill. teherfelvétel sebességét).

E feladatok megoldása azonban nem a gőzturbinák körében igényel számottevő tudományos tevékenységet.

#### 4. A kondenzáció és segédberendezések

A kondenzációs berendezésnek tudományos kutatás útján való továbbfejlesztése változatlanul az érdeklődés előterében áll. Jó kondenzátor megvalósításának elvei, a hőátadási tényezők számértékei közismertek ugyan, a méretek növekedésével és az igények fokozódásával azonban egyre inkább igényel tudományos ismereteket és kísérleti munkát egy-egy új és nagyobb kondenzátortípus kifejlesztése.

A kondenzátorbeli folyamatok modellezésére villamos és hidraulikus úton egyaránt számos kísérlet történt. Ezek fő hiányossága, hogy csak síkbeli áramlásképet adnak. Mai áramlástan és hőátadási ismereteink birtokában az elméleti és gyakorlati tapasztalatok alapján ténylegesen megépített kondenzátor viszonyainak kimérése és a következtetések levonása a legfőbb módszere a ma folyó ez irányú tudományos tevékenységnek. Mélni is további kivitelekben helyes irányban befolyásolni kell:

A gőzárám sebességét és irányát a gőzoldali ellenállás csökkentése és a nem kondenzálódó gázok folyamatos eltávolítása érdekében;

az egyes csövek vízterhelését a helyes vízóldali kialakítás érdekében;

a víz melegedését az egyes csövekben, a helyi hőátadás megállapítása és a helyi levegőtartalomra való következtetés érdekében.

Mindhárom mérés technikája még jelentős fejlesztésre szorul. Az áramlás mérése a nagyon kis ( $0,03 \text{ kg/m}^3$  körüli) fajsúlyú nedves közegben és csőbeli áramlás mérése az ellenállás növelése nélkül igen nehéz feladat.

A hazai indítékból újra jelentőséget nyert keverőkondenzátorban a vízelosztás és a szórófejek legkedvezőbb alakja képezte legutóbb eredményes fejlesztéstárgyát. A többi feladatok hasonlóak mint a felületi kondenzátor esetében.

*A segédberendezések* — mint teljesen újszerű berendezések — területén külön említést érdemel a telített frissgőzzel dolgozó atomerőművi gőzturbinák cseppleválasztó és újrahevítő berendezése. A cseppleválasztó résszel szemben az a követelmény, hogy minél kisebb nyomásesés árán minél tökéletesebb cseppleválasztást érjen el. A kutatás a cél elérésére számos megoldási elvvel próbálkozott. Legkézenfekvőbbnek a ciklon elv alkalmazása látszott — az ehhez szükséges nagy gőzsebességek azonban eleve nagy nyomásesést okoznak. Egy másik elv, amellyel az egyik neves világ cég sikertelenül foglalkozott, az, hogy a nedves gőzt szűk hullámos járatokban vezeti, ahol a cseppek a falra tapadva összetömrődnek és lefolynak. Itt a cseppleválasztás határfoka okozott csalódást. Leginkább eredményesnek látszik és leginkább terjed az a megoldás, hogy a gőzt néhány tized mm átmérőjű, nem rozsdásodó huzalból készült vastag laza szövetedéken vezetik át. Az így keletkező mikroszkopikus örvények a legkisebb cseppeket olyan méretűre egyesítik, hogy azok irányeltérítés-adta tömegerők, illetve nagyobb ülepedési sebességük folytán már ki tudnak válni.

A lecsapódó frissgőzzel fűtött túlhevítő résszel szemben támasztott követelmény hasonló: jó hőátadás létrehozása kis nyomásesés árán. Itt főleg az a probléma, hogy hogyan helyes a gőzoldali hőátadás szempontjából kívánatos finom (esetleg lamináris áramlást adó) bordázatot a gyakorlati követelményekkel összhangba hozni.

*A korszerű olajhűtő* csövei bordáztak vagy huzaloztak; a legnagyobb gőzturbinák légszivattyúi sugár- és mechanikus szivattyúk kombinációi. Ezek tökéletesítése többnyire szakosított vállalatok tevékenységének tárgya.

### 5. Új konstrukciós elgondolások

A tudományos helyzetképhez hozzátartozik — bár nem szorosan — néhány új konstrukciós elgondolás felmerülése és siker esetén esetleg általánossá válása. Ezek közül egyeseket példaként azért érdemes megemlítenünk, mert gyakran tudományos munka értékeléséből származó viszonylag egyszerű felismerések megvalósítását jelentik. Ilyenek pl. a következők:

A nagynyomású házak kettős héjú kivitele, vagy az állólapátozásnak lapáttartó betétekre építése általánossá vált. Az eredmény a feszültségek csökkentése, a hőmérsékleti hatásoknak a ház falától távol tartása és a deformációra kevésbé hajlamos ház-szerkezet.

A belső házhéjnak osztósíkcavarok helyett zsugorodó abroncsokkal való összefogása. Az eredmény a lapáttartó rész kifogástalan kör alakja változó viszonyok esetén is.

A fúvóka-szegmensek helyett összefüggő gyűrű használata; ez a parcialitási veszteségeket kiküszöböli legnagyobb terhelésen.

A futótárcsáknak a tengelyhez radiális csapokkal való hozzáerősítése, amely a radiális hőterjeszkedést a központosság teljes fenntartása mellett lehetővé teszi.

A házak beömlésénél első fokozatként radiális centripetális fokozat alkalmazása, ami a beáramlás sebességi energiáját is felhasználja.

Az övezőlemez használata reakciós fokozatokhoz is, ami a kötőhuzal szerepét betölti a veszteségek növelése nélkül, sőt a részveszteségeket is csökkenti.

A ház függetlenítése a lapáttartótól a kisnyomású részeken olyannyira, hogy a tömszelencét is a csapágýbak tartja és a ház a tömszelencéhez rugalmas elemmel csatlakozik. Az eredmény a tömszelence-hézag üzembiztos csökkentése.

Három olajékes csapágýszerkezet a nagy méretek esetén az olajfilm által okozható lengések kiküszöbölésére.

Érdeklődést keltő jellege következtében érdemes megemlíteni olyan irányzatot is, hogy a turbina tiszta fojtásos szabályozású legyen. Ekkor ugyanis az egyes fokozatokban a hőmérséklet a terheléssel alig változik és a gyors terhelésváltozás aggálytalan. Hőelasztikus szerkezeteket alkalmazó turbínagyárak azonban ezt a megoldást a kudarc elismerésének tartják és így általánosan aligha tekinthetjük fejlődési irányzatnak.

A felhozottak kiragadott példák; ezek sorát még igen messzemenően lehetne folytatni. Nagy részük a nagy paraméterekkel és méretekkel kapcsolatos új adottságok velejáráói. Tény azonban, hogy a fokozott követelmények kielégítésére irányuló tudományos munka eredményeképpen létrehozott újszerű szerkezet visszahat a szerényebb követelményű (kisebb paraméterű és teljesítményű) gépek fejlődésére is és így az elmondott irányzatokat ezek fejlődésében is fel lehet ismerni.

### III. A hazai helyzet

A hazai gőzturbina tárgyú tudományos helyzetképet az jellemzi, hogy az a világszínvonaltól egyrészt az igények, másrészt a lehetőségek korlátozott volta miatt van elmaradva.

Az *igények korlátozott volta* egyrészt abból eredt, hogy a felszabadulás utáni időkhig gőzturbínagyártásunk licenciát vett igénybe, a felhasználók részéről pedig a paraméterek és gépnagyságok igen lassú fejlődése nem adott indítékot tudományos tapasztalatszerzésre és a konstrukciók felülvizsgálatára; másrészt a hazai energiaipar igényei mind gépnagyságban, mind pedig gőzparaméterekben elmaradtak a nagy országokéhoz képest, elsősorban energiahálózatunk és tüzelőanyag-előfordulásaink korlátozott volta, de egyéb nem részletezendő szempontok miatt is.

A hazai gőzturbina tárgyú tudományos tevékenység megindításának egyik oka az volt, hogy az előző licenciavételből jelentős tapasztalati és egyéb anyag birtokában turbinagyártásunk képes volt a legkülönbözőbb export igényeknek eleget tenni. Ilyen módon rákényszerült arra, hogy a meglévő ismereteket tudományos bírálat alá vesse és az egyes konkrét továbbfejlesztési igényeket tudományos tevékenység segítségével oldja meg. A másik indíték az energiaipar fokozott gazdaságosságra irányuló törekvése volt, ami mind saját szerveivel, mind pedig a gyártó iparral szemben támasztott tudományos munkát ösztönző követelményeket. Mindezek eredménye volt:

a Budapesti *Műszaki Egyetem* oktatási anyagának korszerűsítése és alkalmazkodása az igényekhez; az oktatók különleges szakmai ismereteinek fejlesztése;

a nagyobb teljesítményű (50 és 100 MW), nagyobb paraméterű (90—110—130 ata, 500—535—565 °C) turbinák megvalósítása (*Láng Gépgyár*); az új rendszerű (ipari és újrahevítéses) szabályozások kifejlesztése (*Láng Gépgyár*);

a kondenzátorok felülvizsgálata, fejlesztése (*Magyar Villamos Művek Tröszt, Erőmű- és Hálózattervező Vállalat, Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Láng Gépgyár*);

a keverőkondenzátorok kifejlesztése (*Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Energiagazdálkodási Intézet, Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*);

a lengéstani vizsgálatok bevezetése (*Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*);

a hőállapotok, hőfeszültségek kivizsgálása a gazdaságos indítás stb. érdekében (*Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Magyar Villamos Művek Tröszt, Láng Gépgyár*);

a szabályozások dinamikájának vizsgálata (*Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*);

a kiömlőrészek áramlástani vizsgálata (*Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*).

Ezekon felül érdemleges tudományos tevékenység folyt és folyik olyan tárgykörökben is, amelyek általános hőtani vagy hőerőművi jellegüknél fogva nem tekinthetők szorosan gőzturbina-tárgyúaknak. Ilyenek a fűtőturbina rendszerek vizsgálata, a több közegezes rendszerek vizsgálata, a blokkok túlterhelhetősége, az önműködő indítás és hasonló mások. Az egész tevékenységre az jellemző, hogy mindig a népgazdasági szükséglet kielégítésére irányult és mélységében a korlátozott lehetőségekhez alkalmazkodott.

A felsorolt eredmények mégis azt mutatják, hogy eredményeink, amelyeket irodalmi tájékozódásunk alapján hajlamosak vagyunk a világ összkutatási eredményeivel összemérni, így sem lebecsülendők és mindig megfeleltek a reális célkitűzéseknek. Lehetőségeink részleteiben a következők:

*Áramlástani* téren a lapátozat vizsgálatára irányuló tevékenység jelen-

téktelen és a *Láng Gépgyár* birtokában levő kísérleti turbina alkalomszerű igénybevételére szorítkozik. Mint említettük, a korszerű vizsgálatok annyira különlegesen és költségesen, hogy a szerény volumenű turbinagyártás ezt a fejlődést nem tudja nyomon követni, főleg nem a legnagyobb méretek vonatkozásában. Ez volt egyúttal legfőbb indítéka a 200 MW és annál nagyobb teljesítőképességű gépek licencia-vásárlásának. Egyéb áramlástan területen a tevékenység az irodalom, a tanulmányutak és a tapasztalatcsere útján birtokunkba jutott kísérleti anyag felhasználására szorítkozik, kivéve a kiömlőrész vizsgálatát, ahol is a megindult vizsgálat égető igénynek tesz eleget.

A *hőigénybevételek és deformációk* kivizsgálása kezdi a kívánt színvonalat elérni. Az ez irányú fejlődésre az a gőzturbinákat üzemben tartó *Magyar Villamos Művek Tröszt* adott és ad indítékot azáltal, hogy átmeneti üzemállapotok kivizsgálását az üzembiztonság és gazdaságosság fokozása érdekében szorgalmazza. A vizsgálatokat végrehajtó *Villamosenergiaipari Kutató Intézet* immár jelentős felkészültségével és ráfordításával nem csupán a gyakorlati kívánalmaknak tesz eleget, hanem mind a feladatok, mind a módszerek terén kezdeményezőleg lép fel. Ezzel a tevékenységével nemcsak energiaiparunk igényeinek tesz eleget, hanem jelentős segítséget nyújt turbinagyártó iparunknak is.

A *lengéstani vizsgálatokra* a felkészültség mind elméletileg, mind kísérletileg megfelelő, de aligha fogja azt a szintet elérni, ami a leghosszabb lapátok megvalósításához szükséges.

A *szabályozási feladatok* megoldásában az elméleti és kísérleti felkészültség a legfontosabb teendőket megoldását lehetővé teszi (ilyen pl. a 100 MW-os gőzturbina újrahevítéses szabályozásának önálló megvalósítása). Nem terjed azonban ki többszörös szabályozási rendszerek dinamikai vizsgálatára, teljes körök szimulátoros vizsgálatára; ténylegesen megvalósított rendszerek kivizsgálására pedig csupán a legegyszerűbb eszközök állnak rendelkezésre.

Mindent összevetve a hazai tudományos tevékenység lényegében eleget tesz azoknak a feladatoknak, amire a magyar ipar vállalkozott; a legnagyobb teljesítményű gépegységek kifejlesztéséhez kapcsolódó igényeket azonban már nem képes kielégíteni.

Az úgy is tiszteletre méltó tevékenység *publikációkban* (disszertációk, cikkek) alig tükröződik. Ennek oka főleg az, hogy egy-egy tudományos munkát is igénylő feladat megoldása után azonnal újabb feladat jelentkezik és így a tudományos munkának főleg csak gyári intern feljegyzésekben marad nyoma (pl. a hidraulikus átvivő elem időállandójának kísérleti vizsgálata újszerű módszerrel, vagy a forgórész hőmérsékleteloszlásának vizsgálata (*Budapesti Műszaki Egyetem, Láng Gépgyár*). Szerencsésebb helyzetben vannak azok a munkák, amelyek természetüknél fogva nincsenek szigorú határidőhöz kötve (ilyenek például a *Villamosenergiaipari Kutató Intézet* munkái).

Elismerően kell megemlékeznünk arról a tényről, hogy a gőzturbinákhoz kapcsolódó tudományos munkában az összes érdekeltek (a *Budapesti Műszaki*



Egyetem három tanszéke, *Villamosenergiaipari Kutató Intézet, Erőmű- és Hálózattervező Vállalat, Energiagazdálkodási Intézet, Magyar Villamos Művek Tröszt, Láng Gépgyár*) központi adminisztratív irányítás nélkül is eredményesen és egymás érdekeit kölcsönösen figyelembe véve együttműködnek a közös cél érdekében. Ez az együttműködés a kulcsa annak, hogy a hazai tudomány rendkívül szerény ráfordítással eddig eleget tudott tenni a reális népgazdasági célkitűzéseknek, az együttműködés fejlődése pedig záloga a tudományos továbbfejlődés lehetőségének.

## IRODALOM

1. SÖRENSEN, E.: Gőzturbinák. *Brennstoff-Wärme-Kraft* 17 (1965), 196–198.
2. WILKE, H.: Korszerű gőzturbina-berendezések jellemzői. *Betriebs-Ökonom* 21 (1967), 84–87.
3. SCSEGLAJEV, A. V.: A gőzturbinaépítés fejlődése a Szovjetunióban. *Teploenergetika* 14 (1967); III, 2–5.
4. ZIL'BERSTEJN, Sz. L.: A gőzturbinagyártás a Német Szövetségi Köztársaságban és Svájcban. *Energomasinosztrojenie* 12 (1966); X, 48–49.
5. BIDARC, R.: Nagyméretű gőzturbinák és turbogenerátorok. *Techn. Mod.* 57 (1965), 133–134.
6. Erőművi gőzturbinák kétirányú fejlesztése. *Power* 110 (1966); XII, 18–S 20.
7. EISCHNER, G.: Gőzturbinaházak. *Maschinenbautechnik* 13 (1964), 170–177.
8. LATUSEV, Ju. V.: Nagynyomású, nagyhőfokú gőzturbinák szerkezeti anyagai. *Teploenergetika* (1963); VI, 16–20.
9. MURPHY, M. C.—DUVAL, D.—CHITTY, A.: *Metallurgia* 423 (1965), 13–23.
10. GROSS, H.: Nagy turbinák szerkezeti anyagai. *Metal Progress* (1965), 91–96.
11. EHRlich, R.: Gőzturbinák viselkedése hőtanilag átmeneti állapotban. *AEg Mitteilungen* (1962), 481–487.
12. TOCUSCHOV, I.: Gőzturbinák és erőművi blokkok indítása. *Institut für Energetik Mitteilungen* (1963); LI, 38–53.
13. SZELZNYEV: A hőmérsékletmező megállapítása villamos modellezéssel gőz- és gázturbinák munkadarabjaiban. *Energomasinosztrojenie* (1963); X, 1.
14. GENTSCH: A statikus igénybevételnek nagy hőmérsékleten a nyúlásméréstechnika segítségével történő megállapításra vonatkozó problematika. *Maschinenbau Technik* (1963), 474–480.
15. DEMIDOV, Ja. F.: Gőz- és gázturbina elemek hőmérsékletmezőinek számítása állandósulatlan üzemi viszonyok esetén. *Energomasinosztrojenie* (1965); II, 32–35.
16. GEISLER, K. V.: A hőáramlás hidraulikus modellezése. *Wärme* 72 (1966), 126–134.
17. LEJZEROVICS, A. S.: Gőzturbinaházak megengedett melegedési sebessége. *Teploenergetika* 13 (1966); VI, 51–56.
18. TURBILOV, M. A.—PROHOV, Sz. A.: A T-100–130 típusú gőzturbina főgőzszelepének egyetlen melegedése indításkor. *Teploenergetika* 13 (1966); IV, 25–29.
19. IL'CSENKO, O. T.: Turbina-forgórészek hőmérsékletállapota tranzienis üzemben. *Teploenergetika* 15 (1968); V, 2–6.
20. VASZIL'CSENKO, G. Sz. és szerzőtársai: Hegesztett forgórészek modelljeinek túlpörgetési vizsgálata és szerkezeti szilárdságának értékelése. *Teploenergetika* 13 (1966); IX, 56–61.
21. FERENCZ, A.: Gőzturbinák forgórészének nagy hőfokon való viselkedésére vonatkozó megállapítások. *Energetika* 14 (1966), 294–298.
22. BREVER, A.: Forgó alkatrészek feszültségvizsgálata félvezetős távméréssel. *Strain Gage Readings* (1963); VI–VII, 3–10.
23. DEJCS, M. Je. és szerzőtársai: Erősen elcsavart profilú körgyűrűs turbinarács vizsgálata. *Teploenergetika* 11 (1964); XI, 26–30.
24. A nagyteljesítményű turbinák utolsó fokozataiban levő lapátok számítása és az elcsavarás törvényeinek vizsgálata. *Energomasinosztrojenie* (1962); X, 1–6.
25. ZAVADOVSKIJ, A. M.—BERKOVICS, A. L.: A nedves gőz expanziójának termodinamikai különlegességei turbinákban. *Teploenergetika* 14 (1967); III, 9–15.
26. QUAYLE, J. P.: A gőzkondenzátor (beszámoló a fejlődéséről). *Copper* 2 (1968); IV (július), 16–20.

27. KIRILLOV, I. I.: A nedvességválasztás lehetősége a gőzturbina kisnyomású fokozataiban. *Energomasinosztrojenie* 12 (1966); XI, 14–15.
28. KACSURINER, Ju. Ja. — FAGYEJEV, I. P.: A gőznedvesség hatása a turbinafokozat munkájára. *Energomasinosztrojenie* 7 (1961); VIII, 5–8.
29. MARKOV, N. M.: A nagyteljesítményű gőzturbinák gázdinamikai vizsgálata. *Energomasinosztrojenie* 14 (1968); VII, 15–20.
30. NOSZOVICKIJ, A. I.: Gőzturbina-kipufogócsanak üzeme. *Energomasinosztrojenie* 14 (1968); V, 34–35.
31. BÜKOV, N. N.: Különböző kiömlési szerkezettel ellátott turbinák jelleggörbéinek vizsgálata. *Teploenergetika* 15 (1968); VII, 45–46.
32. KIRILOV, I. V.: Nagyteljesítményű gőzturbinák kisnyomású részében keletkező energia-veszteségek vizsgálata. *Teploenergetika* 10 (1963); VI, 40–45.
33. JERIE, J.: A kilépőcsokban előálló veszteségek kihatása a gőzturbina végfokozatának tulajdonságaira. *Strojní Časopis* (1963), 426–439.
34. BERMAN, L. D.: Nagy egységteljesítményű turbinák kondenzátorai. *Teploenergetika* 10 (1963); III, 82–87.
35. JASCSENKO, V. P. — ABRAMOV, V. M.: Gőzturbina-kondenzátorok modellvizsgálata. *Energomasinosztrojenie* 9 (1963); X, 20–23.
36. BERMAN, L. D.: Nagy egységteljesítményű turbinák kondenzátorai. *Teploenergetika* 10 (1963); III, 82–87.
37. STERNLICHT, B. — LEWIS, P.: Nagysebességű turbogépek rezgési problémái. *Transactions Asme-B* 90 (1968), 174–186.
38. MONTOYA, J.: Erősen elcsavart forgólappát hajlító- és csavaró rezgései. *Brown Boveri Mitteilungen* 53 (1966), 216–230.
39. GEORGESCU, Al. — IFTIME, P.: 50 MW-os turboaggregátum rendellenes rezgéseinek megszüntetése. *Energetica* 14 (1966); IV, 160–164.
40. ABECK, A.: Gőzturbinák nyúlás- és rezgésmérése. *R. techn. entretien* 18 (1966); V, 21–26.
41. THOMAS, H. J.: A turbinaépítés szilárdsági és lengési kérdései. *AEG Mitteilungen* (1959), 632–641.
42. TONDL, A.: Több siklócsapággal alátámasztott forgórészek önrezgései és nem lineáris rezonanciái. *Wear* (1965); V, 349–357.
43. SAUERBECK, U.: Elektronikus fordulatszám szabályozás gőzturbinákhoz a frekvenciafüggő teljesítményszabályozáshoz. *Energie und Technik* 17 (1965), 394–398.
44. BOLTE, W.: Gőzturbinaszabályozás szimulálása analóg számítógépen. *Brennstoff—Wärme-Kraft* 17 (1965), 441–446.
45. GREENWOOD, J. R. — PAYNE, N. D.: Automatikus turbinaindítás. *Brennstoff—Wärme-Kraft* 17 (1965), 492–495.
46. BEECHY, M. A. — CRUMP, R. F. E.: Korszerű gőzturbina-egységek műszerezése és szabályozása. *Control* 10 (1966); XC1, 52–54.
47. SCHUBERT, J.: 600 °C-os berendezés indítása és leállítása. *Mitteilungen der V. G. B.* (1962), 388–393.
48. MÖSCHLER: A gőzturbina indítása. *Mitteilungen Institut für Energetik* (1965); LXIX, 525–542.
49. CLEVE, U. — SAUERBECK, U.: Automatizálás hőerőművekben. *Combustion* (1964); V, 18–23.
50. SCHINK, H.: Gőzturbinák ellenőrzése. *Energie und Technik* (1960), 14–15.
51. SCHEU, J.: Gőzturbinák vezérlőállásának kezelése, felügyelete és védőberendezései. *AEG Mitteilungen* (1963), 25–34.
52. STEINHAUER, J.: Mechanikus állapothatározó elektronikus ellenőrzése gőzturbináknál. *Antriebstechnik* (1966), 350–354.

**Report on the Present State of the Hungarian Research-Work in the Field of the Development of Steam-Turbines.** Researchers and designers pay an ever increasing attention to the economic features of engines. This tendency prevails by observing some leading principles e.g. lessening of the investment funds, increase of efficiency, improvement of the dependability of running, enlargement of the economy of servicing. These principles practically lead to making efforts for clearing up specially selected problems, namely: how to enlarge the output of a unit; adaptation of the units to new, higher levelled parameters; improvement of the total efficiency of the engine; re-consideration of the problems of mechanical strength; better choice of structural materials of higher quality; extended use of automation, and a larger application of safety devices. As far as flow-research is concerned, all the streaming parts are included into the investigation program; researchers' activity is greatly concerned with problems of mechanical strength of various component parts and with those of oscillation phenomena. Also the task

to find the solution of an automatic start is at stake. Maybe the whole research activity in Hungary lags somewhat behind the work done in highly industrialized countries, nevertheless our researchers are able to compete with the demands established by our economists.

**Bericht über die Lage der wissenschaftlichen Forschung in Ungarn auf dem Gebiete der Dampfturbinen.** In der Forschungstätigkeit zur Weiterentwicklung von Dampfturbinen steht das Bestreben die Wirtschaftlichkeit zu fördern, immer mehr im Vordergrund. Die leitenden Gedanken hierzu sind mögliche Senkung der Anlagekosten, Erhöhung des Wirkungsgrades, Steigerung der Betriebssicherheit, und Herabsetzung der Kosten der Wartung und Instandhaltung. Im diesen Sinne verfolgen Forscher und Konstrukteure in einzelnen die bessere Lösung folgender Teilfragen: Schaffung von Einheiten höherer Leistung; Anpassung einer gegebenen Einheit an höhere Parameterwerte; Erreichung eines höheren Turbinenwirkungsgrades; Überprüfung der konkreten Festigkeitsfragen; Weiterentwicklung von Baustoffen; breitere Verwendung der Automatik; mehrseitige Ausnützung von Sicherheitseinrichtungen. Die Forschung von strömungstechnischen Fragen erfaßt alle durchströmenden Teile. Besondere Achtung wird Fragen der Festigkeit einzelner Bauteile und Problemen der Oszillationserscheinungen gewidmet; auch die Lösung des automatischen Anlassens ist auf der Tagesordnung. Ansonsten bemühen sich die Forscher nur um die Überprüfung bereits verwirklichter Konstruktionen. Nun besteht zwischen der einheimischen und der ausländischen Forschung ein gewisser Abstand zu Gunsten der letzteren, besonders im Aufmaße gegenüber den hochindustrialisierten Ländern, doch scheinen unsere Forscher in der Lage zu sein, den Ansprüchen unserer eigenen Volkswirtschaft zu entsprechen.

