

Beneda Károly Tamás

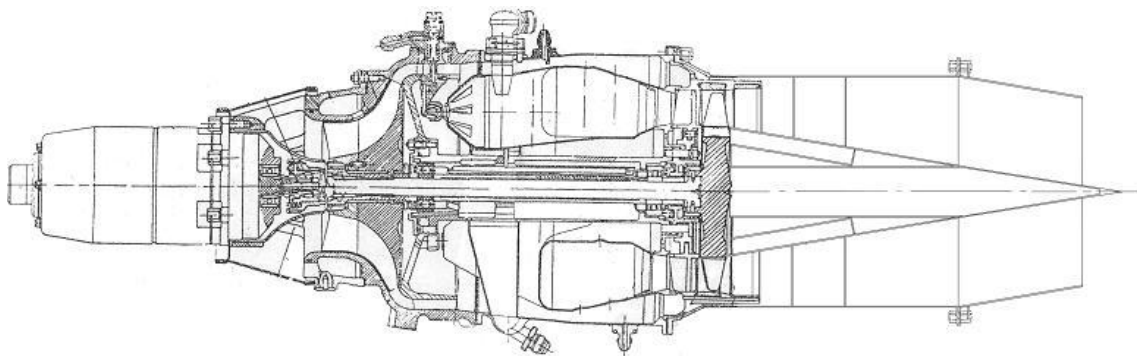
KISMÉRETŰ GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰVES BERENDEZÉS KÍSÉRLETI ÉS OKTATÁSI CÉLOKRA

BEVEZETÉS

A BME Repülőgépek és Hajók Tanszékén dr. Pásztor Endre professzor emeritus vezetésével fejlesztés alatt áll egy kisméretű, kísérleti sugárhajtómű. A gázturbinás berendezés legfőbb elméleti feladata az ilyen hajtóművek matematikai modelljének további pontosítása, valamint a modell megbízhatóságának növelése. A sugárhajtómű emellett igen nagy gyakorlati jelentőséggel bír, hiszen a Tanszék már meglévő, tengelyteljesítményt leadó gázturbinája mellett ez a berendezés a leendő repülőmérnökök oktatásában is szerephez juthat. Itt szeretnék köszönetet mondani az AE labor munkatársainak, akik szaktudása és lelkiismeretes munkája nélkül ez a kísérleti sugárhajtómű nem jöhetett volna létre.

A GÁZTURBINÁS SUGÁRHAJTÓMŰ

A gázturbinás sugárhajtómű a TSz-21 indító gázturбина gázgenerátor egységének felhasználásával jött létre (1. ábra). Ez az indító gázturбина a MiG-23, valamint a Szu-22 harci repülőgépek fedélzetén volt rendszeresítve. [4]



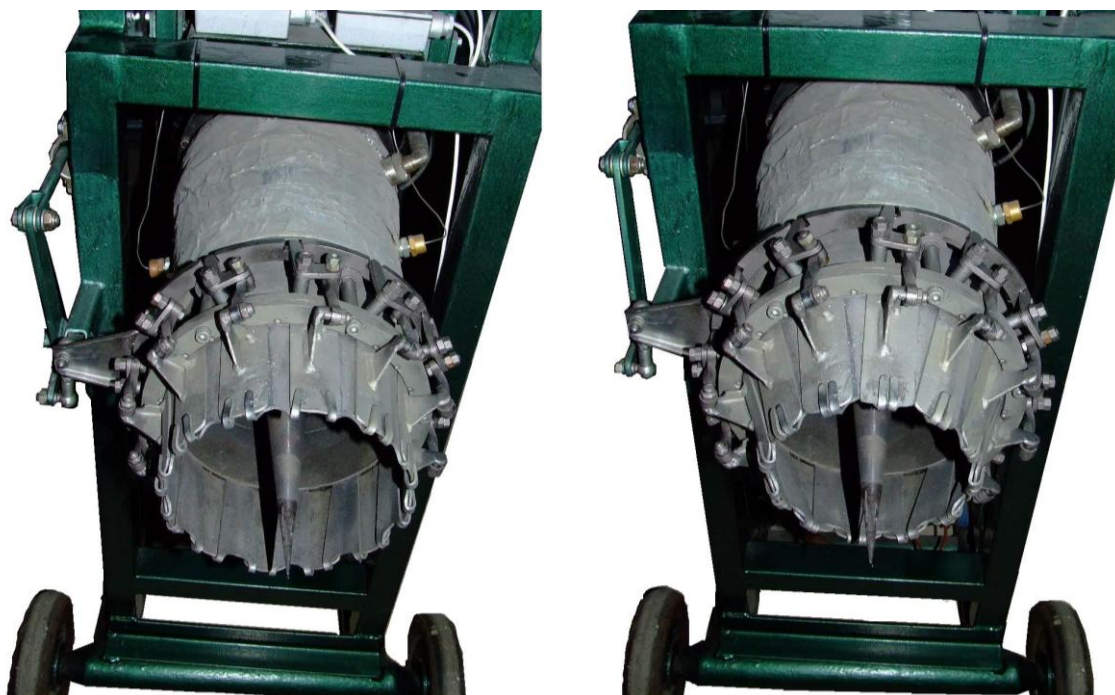
1. ábra: A sugárhajtómű hosszmetsete, az első üzemi próbákön használt fix fúvócsővel

A TSz-21 a hajtómű forgórészét szabadturbinájának forgási energiájával hajtotta meg egy bolygómuves áttételen és egy tengelykapcsolón keresztül. A szabadturбина és a kihajtásház moduláris egységként eltávolítható volt, így a gázturбина egyszerűen átalakítható volt sugárhajtóművé.

A gázgenerátor főbb szerkezeti egységei: egyfokozatú centrifugális kompresszor diagonális lapátnélküli és axiális lapátos diffúzorral; gyűrűs-csöves égéstér négy fúvókával; egyfokozatú axiális turbina. A turbina mögött került elhelyezésre a járókerék tárcsa hűtését és áramvonalazást megvalósító

diffúzor a központi kúppal, valamint a fúvócső, melyek a Tanszék laborjában készültek [1]. A turbina hűtésének megvalósítása kiemelten fontos, hiszen eredeti rendeltetése szerint a gázturbina nagyon rövid ideig működött, így a turbina hűtés sem volt a kísérleti berendezés igényeinek megfelelő. A saját fejlesztésű hűtés a kompresszortól elvett levegővel működik.

A későbbi, több üzemmódból álló üzemeltetések céljából az állandó átmérőjű fúvócsövön kívül egy változtatható keresztmetszetű gázsebesség-fokozó (GSF) redőnyzet készült, melynek első üzemi próbái nemrégiben zajlottak le, igen eredményesen. Maga a GSF redőnyzet a MiG-21 hajtóművéhez hasonló elven épül fel. A gázugár kilépő keresztmetszetét 12-12 darab külső, illetve belső lamella szabályozza, amelyek a 2. ábrán látható módon egymáshoz kapcsolódnak.



2. ábra. A GSF redőnyzet nyitott (bal) és csukott (jobb) állapotban

A redőnyök mozgatása azonban eltér a vadászgépek hajtóművein megvalósítottaktól. Esetünkben minden külső lemezhez rögzítve van egy hegesztett támasz, amelyre egy tolórúd csatlakozik. A tolórudak szögemelőkön keresztül kapcsolódnak a mozgató gyűrűhöz, amely a saját síkjában elfordulni képes, ezzel kényszerítve mozgásra a rudakon keresztül a külső, és a velük kényszerkapcsolatban lévő belső redőnyöket. A gyűrű mozgatása egy újabb himbán keresztül egyenes vonalú mozgássá transzformálódik, amelyet egy kézi karral lehet vezérelni. A keresztmetszet kb. 200cm^2 -ről 120cm^2 -re változtatható segítségével. A gyakorlatban ez – az első próbaüzemek tapasztalatai alapján – azonos feltételek mellett megközelítőleg kétszeres tolóerő-növekedést idéz elő. Számítások szerint [1] a maximális teljesítmény a névleges fordulatszámon kb. 70cm^2 keresztmetszetű fúvócsővel valósulna meg, tehát a jelenlegi konstrukció a gázturbina biztonságos, erőteljes terhelésektől mentes, de változtatható üzemállapotokban történő működtetését teszi lehetővé.

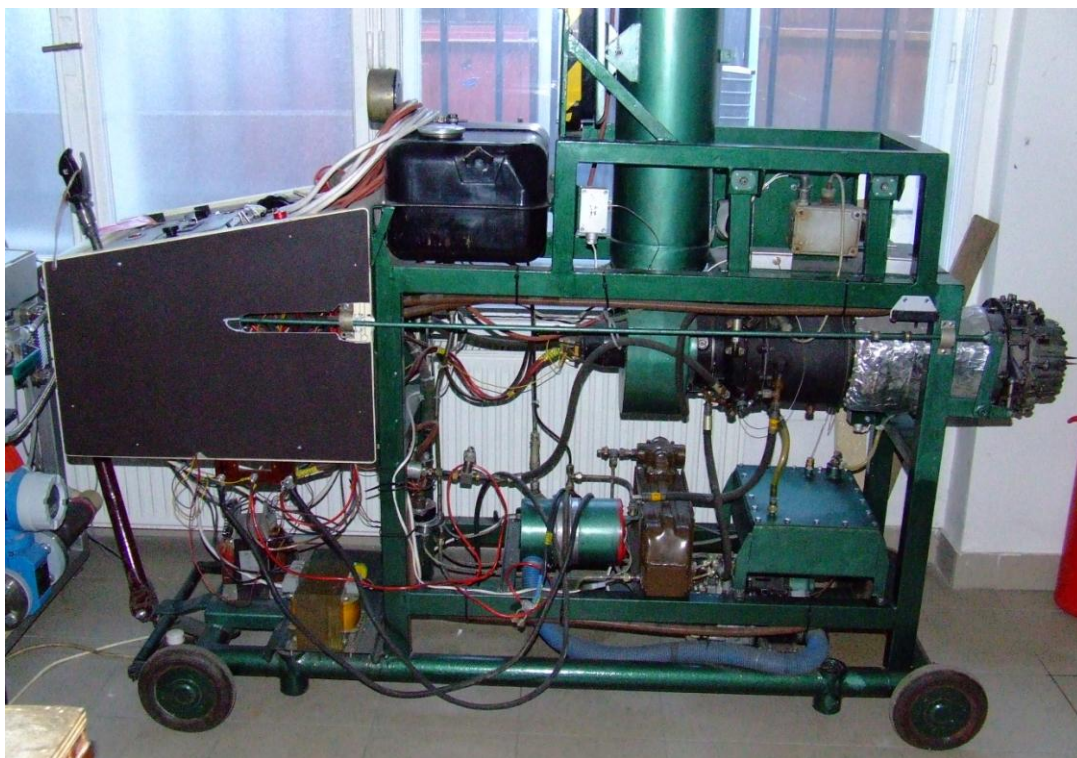
Fontos még a szívócsatorna beszívó szájának kialakítása. Ez a DIN szabványokban fellelhető kialakítás ugyanis rendkívül kedvező paraméterekkel rendelkezik, amelyek alkalmassá teszik a kísérleti berendezésben történő alkalmazásra. Átömlési veszteségi tényezője 0,95 körüli értéket képvisel, amely hagyományos mérőperemek esetében 0,6 lenne. A környezetihez képesti nyomáskülönbség pedig alkalmassá teszi a konstrukciót az átáramló közegmennyiség mérésére. A megvalósított szerkezet a 3. ábrán látható.



3. ábra. A szívócsatorna beszívószáj kialakítása

A KÍSÉRLETI BERENDEZÉS

A sugárhajtómű a vezérlő- és mérőrendszer összes berendezésével együtt egy mozgatható kocsin került elhelyezésre. Ez azért szükséges, mert zárt térben nem lehet méréseket lefolytatni az égésgázok elvezetésének hiányában. A kocs első két kereke kormányrúddal irányítható a kedvező manőverezhetőség érdekében.

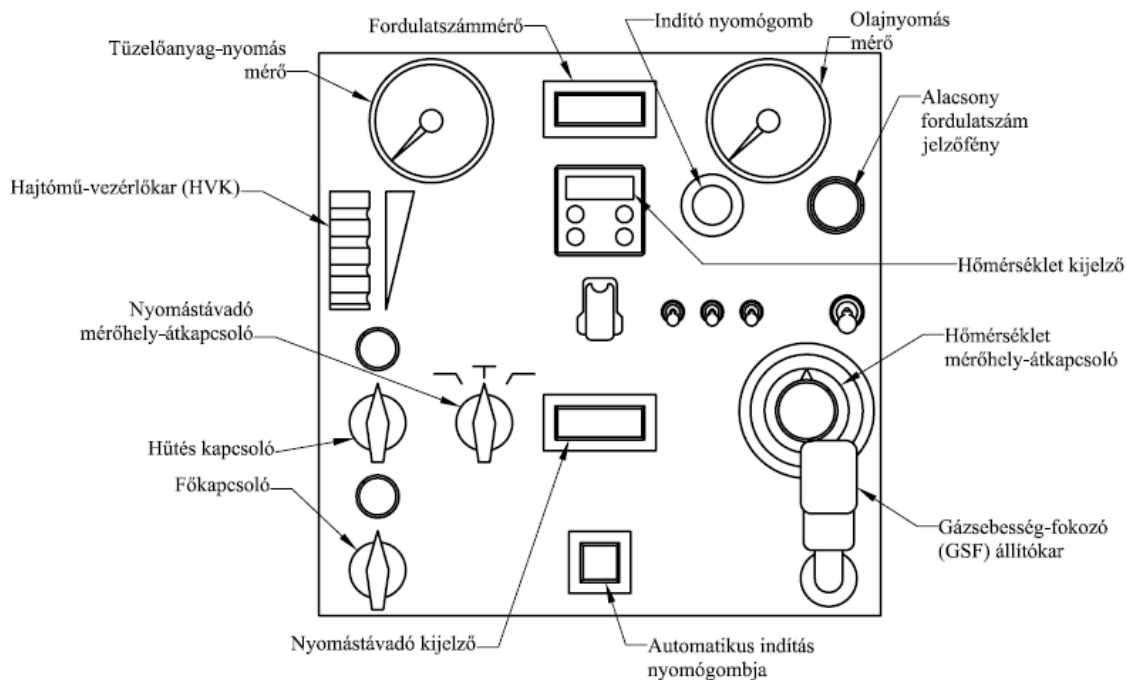


4. ábra. A sugárhajtóműves berendezés a Tanszék laborjában

A 4. ábrán látható a teljes berendezés, a cikk keletkezésének idején. Jól megkülönböztethető rajta a három fő alrendszer. A kocsi elején elhelyezett, vezérlődoboz-keretszerkezet foglalja magában a kezelőszerveket, valamint a mérő- és adatgyűjtő rendszer áramköreit. Az ehhez kapcsolódó energiaellátás transzformátorai a vezérlőpult alatt nyertek teret. A zártszelvényből készült hegesztett fémváz felső részén került felfüggesztésre a sugárhajtómű, melynek a jellegzetes függőleges helyzetű szívócsatornája is látható. Az alsó részen kapott helyet a segédberendezések nagy része: a tüzelőanyag-rendszer és az olajrendszer szivattyúi, szűrői, csővezetékei s egyéb egységei. A gyújtóegységek, melyek a két gyújtógyertyát táplálják indítás közben, a gázturbina felfüggesztésén kialakított vízszintes platformon helyezkednek el, több hőelem csatlakozódobozával együtt.

A kezelőszervek

A kezelőszervek mindegyike a kezelőpulton, a gázturbina előtt került elhelyezésre, a lehető legnagyobb biztonság elérése érdekében. A kezelőpult az 5. ábrán látható.



5. ábra. A segédberendezések szivattyúja a hűtőlevegő furatokkal és elszívócsonkkal

A segédberendezések

A sugárhajtómű működéséhez alapvetően szükséges segédberendezések a tüzelőanyag-, a kenés- és az indító-gyújtó rendszerek. Ezen alrendszerek esetében is – mint a gázturbinás berendezés építésénél mindenütt – a minimális konstrukciós változtatásokkal járó megoldások élveztek előnyt más lehetőségekkel szemben.

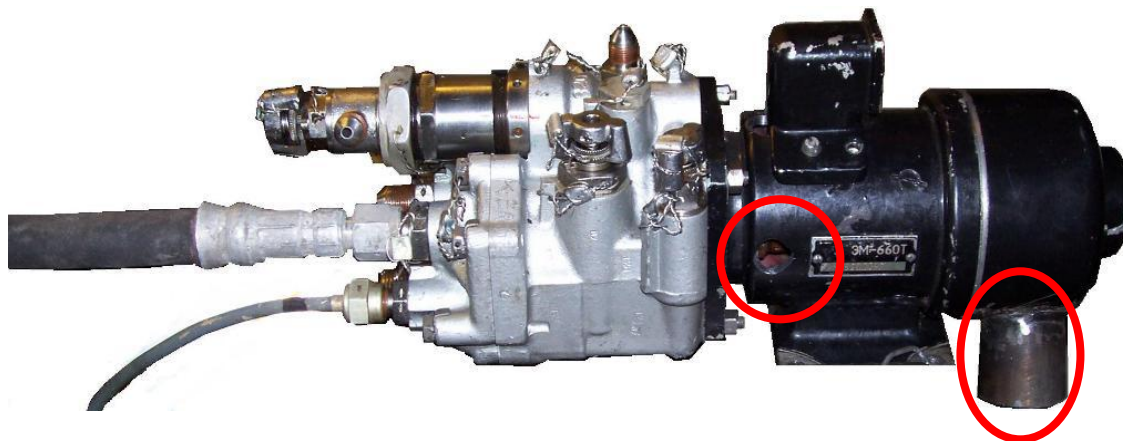
A tüzelőanyag- és kenésrendszerek

A TSz-21 esetében a két rendszer szivattyúi, illetve mágnesszelepei egy-egy közös berendezésben helyezkedtek el, ezért az eredeti dokumentáció is együtt, mint „топлива-масляная система” foglalja össze a két rendszert.

A TSz-21 esetében a tüzelőanyag- és kenésrendszer szivattyúi egy közös házban, egy közös motorról kapták a hajtást [4]. A kísérleti berendezés létrehozásánál fontos volt a tüzelőanyag-mennyiség egyszerű változtatási lehetősége, s mivel két segédberendezés van a Tanszék birtokában, célszerű volt emiatt az egyikből a tüzelőanyag-, másiból pedig az olajszivattyút felhasználni. Ez a megoldás ugyan megkészserezte a tápellátás áramkörét, viszont olyan rugalmasan változtatható segédberendezésekhez jutottunk, amelyek segítségével igen változatos üzemiállapotokat hozhatunk létre a kísérleti működtetés során.

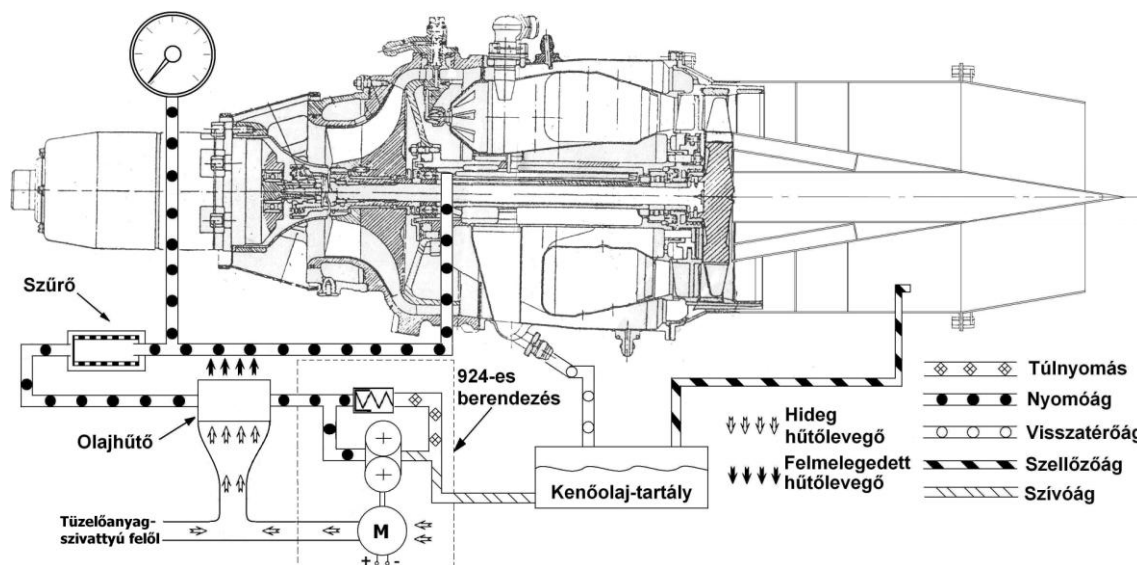
Fontos különbség az eredeti kialakításhoz képest, hogy a „924” kódjelű berendezést csak igen rövid idejű üzemelésre tervezték. A hosszabb üzemelés miatt szükség volt az elektromotor házán a megfelelő hűtést kialakítani. Ez öt hűtőlevegő beömlőfurat és egy elszívócsonk kiépítését jelenti. A beömlőfuratok közül négy a forgórész szivattyúk felőli oldalán, egymástól 90°-ra elhelyezett radiális

furat, egy pedig a motor hátsó burkolatán axiálisan került kivitelezésre. Az elszívócsonk a motor eltávolítható hátsó burkolatára került felhegesztésre, egy kellőképpen nagy keresztmetszetű furattal. Egy váltakozó feszültségről üzemeltetett villamos motorral meghajtott ventilátor szívja át a friss levegőt a motor forgórészén. Ez a ventilátor egyben az olajhűtő számára is biztosítja a légáramlást, az olaj a motoroktól érkező felmelegedett levegővel kerül hűtésre. A változtatás az 6. ábrán látható.



6. ábra. A segédberendezések szivattyúja a hűtőlevegő furatokkal és elszívócsonkkal

Az új rendszerben az egyik 924-es berendezés tehát csak olajszivattyúként használatos. Ez először a motortól elszívott levegővel hűtött olajhűtőhöz továbbítja a kenőanyagot. Innen jut rá a kellő túlnyomással rendelkező olaj a szűrőre, amely sem megkerülő (bypass) ággal, sem eltömődöttség-jelzéssel nem rendelkezik. A kenési helyekre eljutó olaj túlnyomását egy manométeren lehet figyelemmel kísérni. A későbbiekben egy nyomáskapcsoló beépítésével a számítógépes szabályzórendszer fogja az alacsony olajnyomások kialakulásakor a szükséges vészjelzéseket vagy beavatkozásokat megtenni. A rendszer elvi vázlata a 7. ábrán látható.

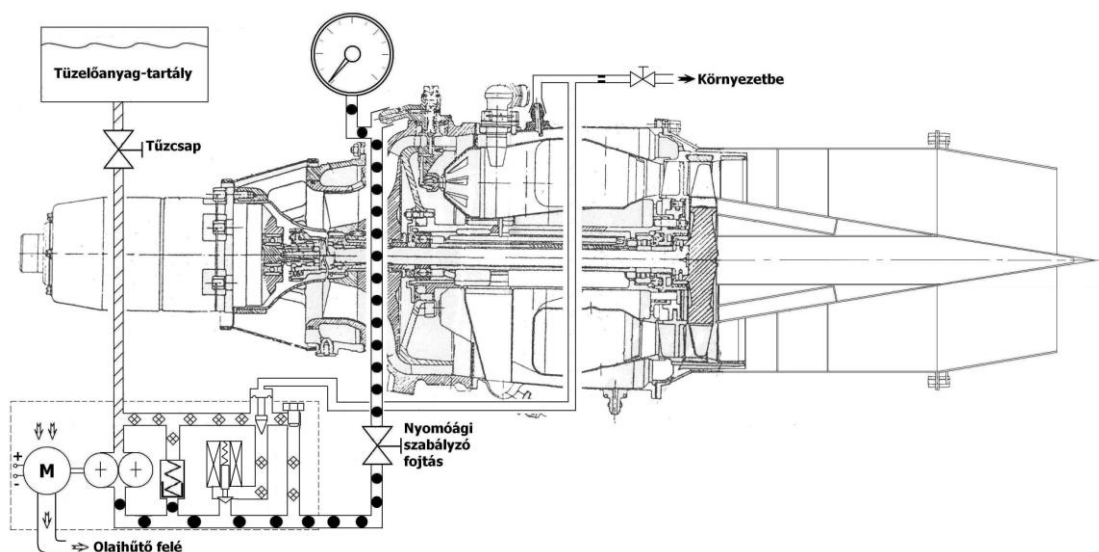


7. ábra. A kenésrendszer elvi vázlata

A másik 924-es berendezés pedig a tüzelőanyag-rendszert táplálja. A rendszer nagyban hasonlít az eredetileg kiépítettre, azzal a különbséggel, hogy két ponton szabályzási lehetőséget iktattunk be. Ez a

két pont a nyomóág, illetve a 924-es berendezés beépített, változtatható visszakeringtető ága. A kisebb fordulatszámok esetében (induláskor) szükség volt a nyomóági fojtás növelésére, amely következtében a betáplált tüzelőanyag-mennyiség csökkenthető. Ez lehetővé teszi a terhelésmentes indításkor az eredetileg tervezett tüzelőanyag-mennyiséghez képesti kevesebb betáplálást, így a gázhő nem vesz fel veszélyesen magas értékeket. A rendszerben felhasználásra került a 924-es berendezésbe épített kompresszor utáni nyomással vezérelt változtatható visszakeringtetés is, annyi módosítással, hogy esetünkben nem mindig kell a teljes visszakeringtetés megszüntetése. Eredetileg ugyanis a teljes kompresszor utáni levegőnyomás vezérelte ezt a szelepet, amely hatására az indítás kezdetén uralkodó 3-5 baros tüzelőanyag-nyomás 17 bar környéki értékre nőtt, mutatván ezzel a betüzelte mennyiség jelentős növekedését. Erre azért volt szükség, mert eredetileg a TSz-21 terheléssel indult, a munkaturbina, és annak bolygóműves áttételén keresztül a repülőgép hajtómű forgórésze is jelen volt. A terhelések csökkentése érdekében a kísérleti berendezést terhelés nélkül indítjuk, alacsony gázhővel történő melegítést követően kerülhet sor mérésre. Ehhez viszont változtathatóvá kellett tenni a vezérlőnyomást, egy szelep segítségével beállítható a kívánt értékre, így a tüzelőanyag-mennyiség a bypass zárásával szabályozható. Ennek a szabályzásnak működéséhez azonban természetesen szükség van a működő kompresszorra, amely a vezérlőnyomást előállítja.

A rendszer elvi vázlata a 8. ábrán látható.



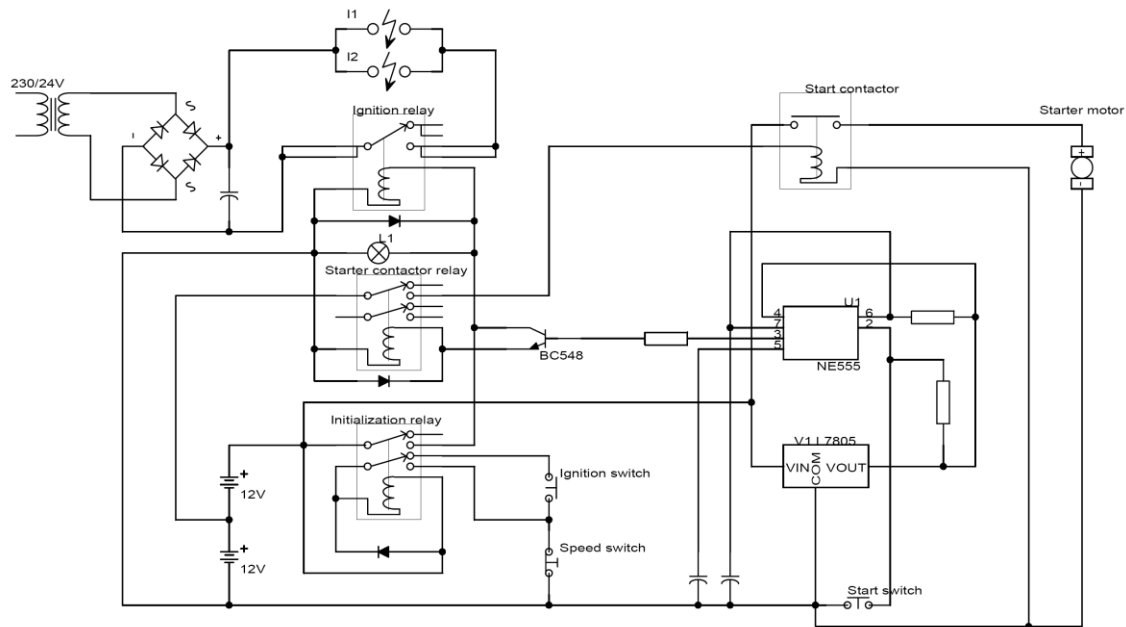
8. ábra. A tüzelőanyag-rendszer elvi vázlata

Az indítórendszer

Az indítórendszer szintén az elektromos kiszolgáló berendezések tekintetében mutat az eredetihez képest jelentős változást. Az egyenáramú indítómotor változtatás nélkül került beépítésre. Az indítás folyamata hasonló az eredetihez, de a rendelkezésre álló energiaforrás (hálózat) miatt a rendszer felépítése eltérő. A starter motort az üzemi próbák során két sorbakötött 12V-os akkumulátorról indítottuk. Próbáink során nem alkalmaztunk előtét-ellenállást, vagy másfajta feszültség-csökkentési

módot az indítási folyamat első pillanataiban. Tapasztalataink szerint a teljes tápfeszültség azonnali kapcsolása sem jelent problémát a motornak, illetve a tengelykapcsolónak.

Az indítás egy nyomógombról kezdeményezhető. A gomb megnyomásakor egy elektronikus számláló indul (egy NE555-ös IC monostabil üzemmódban), amely 15 másodpercig ad tápfeszültséget az indítómotor vezérlő reléire. A relék meghúzását követően megindul a gázturbina kezdeti átszellőztetése. Amint a fordulatszám kellőképpen magas, az első nyomáskapcsoló jelére megindul a tüzelőanyag-betáplálás, a már működő gyújtórendszer folyamatos szikrázása hatására pedig kialakul az égés. A tüzelőanyag-betáplálást az eredeti EM-660 elektromágneses szelep biztosítja. Amikor a láng kellőképpen stabil, és a gázturbina már biztosan az égés következtében gyorsul tovább, a második nyomáskapcsoló jelére megtörténik a tüzelőanyag visszavétele, hogy a későbbiekben a turbina utáni hőmérséklet ne érjen el veszélyesen magas értékeket. Ez a 924-es berendezésbe épített mágnesszelep segítségével történik, a szelep egy visszakeringtetést biztosít a szivattyú bemenetére, amely a még nyitott tűszelepen keresztül a tüzelőanyag nagy hányadát visszatáplálja a szivattyú elé. Ezután egy alacsonyabb betáplálással lassabb ütemben gyorsul a gázturbina forgórésze. Amikor pedig az indítómotor eléri a kb. 20000 fordulat/perces értéket, a benne található röpsúlyos kapcsoló bontja az időzítő áramkört, ezáltal a motor – és a gyújtás – lekapcsolódik. Ha pedig valami oknál fogva nem éri el ezt az értéket a fordulatszám (legyen szó normál hideg átforgatásról vagy valami rendellenesség következtében bekövetkező indítási nehézségről), az időzítő automatikusan megszünteti a 15 másodperc leteltekor a tápellátást. Az elvi kapcsolási rajzot a 9. ábra mutatja.



9. ábra. Az indítórendszer elvi kapcsolási rajza

A mérőrendszer

A gázturbinás sugárhajtómű legfontosabb paramétereit automatikus mérő- és adatgyűjtő rendszer érzékeli, dolgozza föl, és jeleníti meg a kezelők részére. Bár jelenleg a kijelzés alrendszere

valamelyest elkülönül az adatgyűjtés és feldolgozás digitális rendszereitől, de a közeljövőben ez a szétválasztás megszűnik, egységes digitális, számítógépes rendszer fog gondoskodni a paraméterekről egészen az érzékeléstől a feldolgozáson keresztül a megjelenítésig.

A mérőrendszer magába foglalja a gázturbinás sugárhajtómű vizsgálatához szükséges alapvető érzékelőket, azok jelfeldolgozó egységeit és a megjelenítést végző kijelző műszereket. Mivel kísérleti, illetve oktatási célú berendezésről van szó, értelemszerűen a mindennapos gyakorlatban elterjedt műszerezettségénél a felhasználási területből adódóan jóval többről van szó, mint egy általános repülőgép-fedélzeti felhasználás esetében.

Hőmérsékletmérés

A hőmérsékletek mérését K típusú hőelemek teszik lehetővé, melyekből 6 darab került elhelyezésre, egy a kompresszor előtt, kettő a kompresszor után, illetve a turbina után, valamint egy az olajtartályban. Az utóbbi kivételével mindegyik jel fontos információt hordoz a gázturbina körfolyamatáról. Ez utóbbit természetesen a működés szempontjából nem szabad elhanyagolni, hiszen az olaj hőmérséklete fontos információval szolgálhat a gázturbina belső szerkezetében létrejövő anomáliák felderítésében.

A kompresszor előtti hőmérséklet – az ott uralkodó nyomással együtt – igen fontos paramétere mind a szívócsatorna, mind pedig a kompresszor üzemének értékelésénél. Feltételezve a szívócsatornában az egyenletes áramlásképet, egy érzékelő figyeli ezt a jellemzőt.

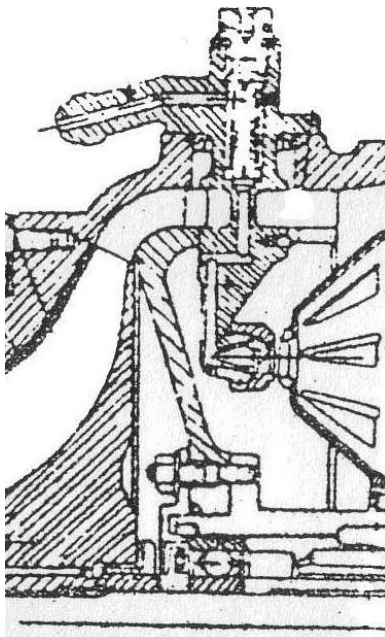
A kompresszor után ezzel szemben – figyelembe véve, hogy ott a különböző zavaró hatások miatt már nem lesz olyan rendezett az áramlás – már szükség volt két hőelemre, melyek adataiból átlagolással kapható az aktuális kompresszor utáni hőmérséklet. Az érzékelők kialakítása külön figyelmet érdemel a szűkös rendelkezésre álló terek miatt, erről a későbbiekben részletesen lesz szó.

A turbina előtti hőmérséklet a négy tűzcső miatt nem mérhető kellő biztonsággal, tekintettel a hőmérsékletmező várható nagy eltéréseire. Ezért a turbina hőmérséklet-mérése a forgórész utáni, kilépő állapotbeli jellemzők érzékelésén alapul. Itt is két érzékelő kapott helyet, de lévén, hogy a turbina valamelyest rendezi az áramlást, elsimítja a hőfokmező helyi különbségeit, így az egyik hőelem statikus, a másik pedig torlóponthőmérsékletet mér. Az eredeti konstrukcióban is két turbina utáni torlóponthőmérsékletet érzékelő hőelem volt jelen, így kézenfekvő volt a sugárhajtóműben is egynek az alkalmazása.

Az olajhőmérséklet pedig a kenőolaj, valamint a kenési helyek (csapágyak) állapotáról nyújt információt, itt a tartályba benyúló hőelem méri a megfelelő hőmérsékletet.

A hőelemek illesztése, rögzítésük konstrukciós megvalósítása egy kivétellel nem okozott komolyabb gondot, hiszen a kompresszor előtti hőelem a szívócsatornán, a turbina utániak a turbina utáni diffúzor házán, az olajhőmérséklet hőeleme pedig a tartályon került elhelyezésre, melyek mindegyike új, saját konstrukció. A kompresszor utáni hőelemet ezzel szemben nehéz volt elhelyezni, de a megvalósításra került elrendezés igen ötletes. Adott volt a négy tüzelőanyag-fűvóka, melyek teste

benyúlik a kompresszor lapátos diffúzorán keresztül az égéstérbe. Ez a TSz-21 érdekes égéstér-konstrukciója miatt alakult ki (lásd 10. ábra).



10. ábra. A tüzelőanyag-fűvóka a kompresszor diffúzorán keresztülhalad

A lapátos diffúzorral való áthatást pedig úgy alakították ki a konstruktőrök, hogy a fűvókatest felveszi az általa igényelt térrészben a lapát alakját, biztosítva ezzel a diffúzorbeli áramlás egyenletességét, zavartalanságát. A tüzelőanyagnak pedig a lapátprofilon belül kialakított furat áll rendelkezésre a továbbhaladásra, a többi keresztmetszet értelemszerűen nem használható ki. Ez adta a lehetőséget, hogy hőelemet rögzítsünk a fűvókákhoz, az azon létrehozott megfelelő furaton keresztül pedig az áramlás megfelelő pontjához juttassuk. A furattal rendelkező fűvóka látható a 11. ábrán.

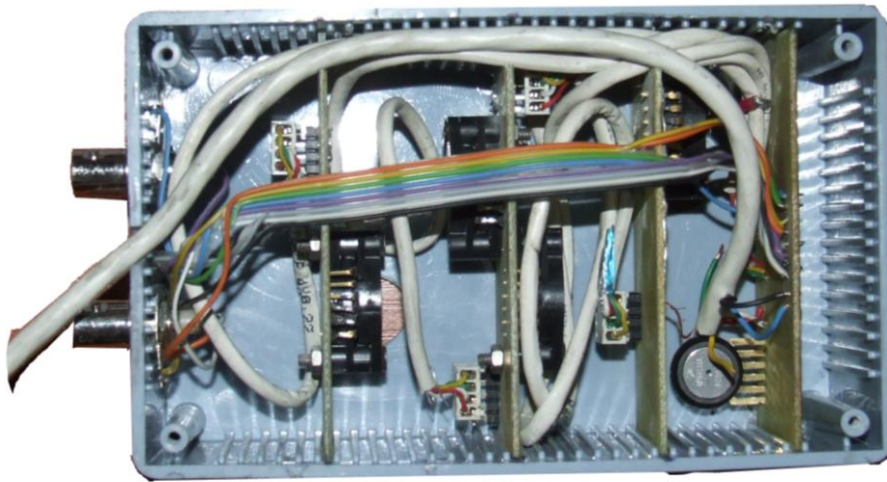


11. ábra. A furattal ellátott tüzelőanyag-fűvóka

Nyomásmérés

A nyomásmérés alrendszere piezoelektromos elven működő nyomástávadókon alapul. Ezek az elektronikus jelet szolgáltató eszközök a kompresszor előtti és utáni, valamint a turbina utáni nyomással arányos feszültséget szolgáltatnak, amit az adatgyűjtő rendszer rögzít, valamint a kezelőpulton elhelyezett feszültségmérőn a jelük üzem közben ellenőrzés céljából megjeleníthető. A nyomások mellett a gázturbinán keresztülráamló közeg mennyiségének mérése is nyomáskülönbség mérésére vezethető vissza, így ez is ebben az alrendszerben nyert elhelyezést. Emellett még a környezeti nyomás mérését is egy piezoelektromos elven működő érzékelő végzi, így az összes nyomás jellegű adat digitalizálása megvalósított.

A nyomásérzékelők egy dobozban kerültek elhelyezésre, moduláris kialakítású nyomtatott áramköri kártyákon, mely a 12. ábrán látható. A tápfeszültség 5V, amelyet az áramkörök az ábra bal oldaláról érkező kábelnek kapnak. Ez érkezik a hátsó vezérlőkártyához, amelyről a többi kártya a tápellátást kapják, valamint ez a kártya gyűjti össze a mért jeleket. Az ábrán a doboz jobb alsó sarkában látható hat lábú érzékelő a környezeti nyomás szenzora, a többinek csak műanyag háza látszik többé kevésbé az egyes kártyákon. Az összegyűjtött jelek a vezérlőkártyáról az előlapon elhelyezett BNC típusú csatlakozókra jutnak. Ezek biztonságos kapcsolatot adnak bajonettzáras kialakításuk révén.



12. ábra. A nyomásérzékelők doboza a moduláris nyomtatott áramköri kártyákkal

Az érzékelők hőmérséklet-kompenzált, belső erősítéssel rendelkező konstrukciók, melyek jellemzően 0,2V-os nullponti offszettel és 4,5V feszültséggel rendelkeznek a felső méréshatárnál. A beszívó mérőszáj és a kompresszor előtti nyomásokat MPX5010DP 10kPa, a kompresszor utáni nyomást MPX4250DP 250kPa és a turbina utáni nyomást pedig MPX5050DP 50kPa differenciális nyomás mérésére alkalmas szenzor érzékeli.

A fordulatszám mérése

A fordulatszám mérése volt a legkritikusabb. Egyrészt, minthogy alapvetően ez határozza meg a gázturbina üzemállapotát, másrészt, mert a TSz-21 esetében nem volt adott konstrukciós lehetőség az amúgy hiányzó eszköz megvalósítására. A legegyszerűbb a kompresszor előtti áramvonalazó burkolaton belülré került fotoelektronikus elven működő érzékelő volt, így ez került kivitelezésre. A fordulatszámmal arányos feszültségjelet a kezelőpulton elhelyezett műszeren lehet megjeleníteni, valamint a mérő-és adatgyűjtő rendszer a feszültségértéket rögzíti.



13. ábra. Az áramvonalazó kúp alatt látható a fordulatszám-érzékelő fényfoltja

A fúvócső keresztmetszetének rögzítése

Az eredeti koncepció szerint különböző állandó átmérőjű fúvócsövek használatával egy-egy állandósult állapotbeli munkapont mérését tette volna lehetővé a rendszer. Az azonban igen hamar bebizonyosodott már az első üzemi próbákban, hogy a gázturbina lehűlése olyan hosszú időt vesz igénybe, amely egy több fúvócsővel elvégzett méréssorozatot igen körülményessé tett volna. Éppen ezért az első, minimális szűkítést (200cm^2 -es keresztmetszettel) biztosító fix fúvócsövön kívül más példány nem készült, ellenben kivitelezésre került a változtatható gázsebesség-fokozó redőnyzet, mely néhány apró részletet leszámítva, mind elméleti, mind pedig gyakorlati megvalósítást illetően Csomor Vilmos labortechnikus érdeme.

A GSF mozgatása is kiváló megoldás, egy karral lehet a keresztmetszetet szabályozni, előretolva csökken az átmérő, ezáltal nagyobb tolóerőt kapunk, hátrahúzva növekvő kiáramló keresztmetszet mellett csökken a teljesítmény. Annak érdekében, hogy tudni lehessen, a mérés során mikor került átállításra a GSF, a mechanizmus egy pontján a megfelelő, elmozdulással arányos jel rögzítése szükséges. Ennek érdekében került felszerelésre egy toló potenciométer, amely a GSF rendszer pozíciójának megfelelő feszültségjelet szolgáltat, amely közvetlenül kapcsolódik a mérő- és adatgyűjtő rendszerre.



14. ábra. A fúvócső keresztmetszetét rögzítő toló potenciométer

A tolóerő mérése

A tolóerő mérése erőmérő cellával történik, melyet az eredetileg tervezett mérleg (analóg mechanikus) helyére került be. Ez a tüzelőanyag-tartály fölött, a függőleges szívócsatorna előtt helyezkedik el (lásd 4. ábra). A cella jeleit egy erre a célra kidolgozott áramkör erősíti, melyet a mérő- adatgyűjtő rendszer rögzít. A cella a 15. ábrán látható.

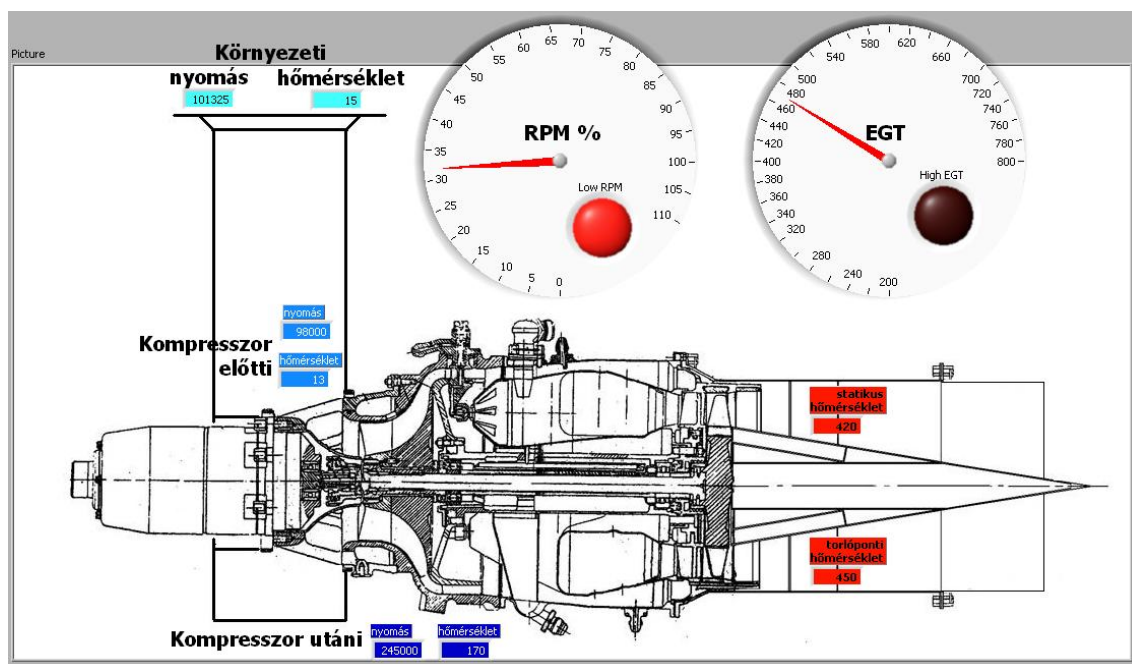


15. ábra. Az erőmérő cella beépítés előtt

A számítógépes mérő- és adatgyűjtő rendszer

A sugárhajtóműves kísérleti berendezés esetében kiemelten fontos az adatok számítógépes rögzíthetősége. Ennek érdekében egy olyan korszerű rendszer került kidolgozásra, amely a későbbiekben (a jelenleg folyamatban lévő fejlesztések bevezetésével) az elektronika alkalmassá tehető a gázturbina szabályzására is, megvalósítva ezzel egy FADEC elven működő szabályzást.

A gázturbina jeleit feldolgozó és megjelenítő szoftver a National Instruments által forgalmazott, napjaink egyik legelterjedtebb számítógépes adatgyűjtő, folyamatirányító funkciókkal rendelkező szoftverén, a LabVIEW-n alapul.



16. ábra. A számítógépes adatgyűjtő rendszer képernyőképe

A program alapvetően az adatgyűjtő kártya vezérlését, a vett adatok megjelenítését, valamint tárolását teszi lehetővé. A kiértékelés más szoftverekkel (Excel, stb.) valósítható meg. A program egy jellemző képernyőképe látható a 16. ábrán.

ELÉRT EREDMÉNYEK

A próbaüzemek 2007. év decemberétől kezdődtek meg, először még csak a fix keresztmetszetű fűvócsővel, később pedig a GSF redőnyzettel is. Az első próbálkozások során legfőképpen az állandósult üzemmódra történő kifutás folyamatát vizsgáltuk, s az itt tapasztaltaknak megfelelően végeztük el a segédberendezések vezérlő rendszereiben a szükséges módosításokat.

Kivitelezésre került az automatikus indítórendszer, amely jelentősen lecsökkenti az üzemeltető személyek terhelését. Az első próbákon még kapcsolók segítségével történt az indítómotor működtetése, ez azonban nem nyújtott kellő biztonságot, többször a röpsúlyos kapcsoló jelzése ellenére bekapcsolva maradt, amely fölöslegesen terhelte a szerkezetet. Ennek kivédésére került először beépítésre egy behúzó mágnes, amelyet kézzel nagyáramú nyomógombként lehetett használni, míg a kapcsoló, lévén, hogy bimetalos hőkioldó automatáról van szó (AZSz 125), a biztosíték szerepét látja el az áramkörben. Ebben a megoldásban a röpsúlyos kapcsoló jelére elalvó kontrollámpa mutatta az indító nyomógombot kezelő személynek a gomb felengedésének szükségességét. A mechanikus működtetési lehetőséget teljes egészében meghagyva, emellett került kidolgozásra az elektronikus

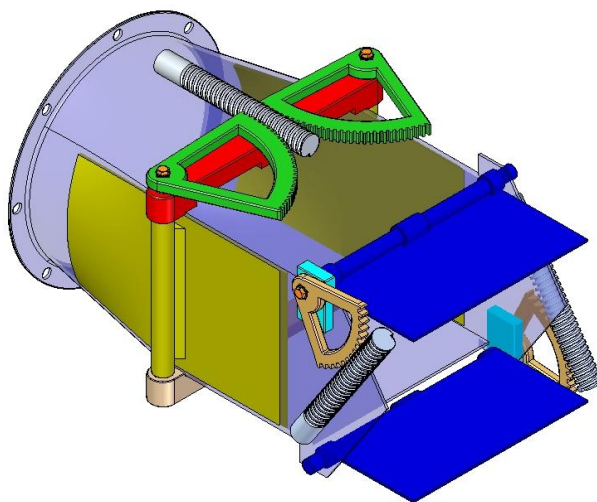
automatika, amely az indítás szinte teljes egészében képes lebonyolítani. A kezelő személyeknek csupán annyi a dolguk, hogy a kívánt időpontban az indítást egy nyomógomb megnyomásával kezdeményezzék, az automatika segítségével ezután a gázturbina üzemmódra kifut, ahol megfelelő idejű melegítés után kézi szabályozással végezhetők el a különböző feladatok.

Sikeresen leküzdöttük az építés során felmerülő problémákat, amelyek a gázturbina speciális rendeltetéséből adódtak. Megvalósítottuk a hőterhelésnek kitett részegységek hűtőrendszereit.

Sikeresen végrehajtottuk az első üzemi próbákat, meggyőződve a sugárhajtóműves kísérleti berendezés és részegységeinek működőképességéről, valamint értékes tapasztalatokat nyerve a későbbi üzemeltetéshez.

Elkészült a változtatható keresztmetszetű fűvócső (GSF), amivel sikeres tesztműködtetéseket folytattunk, amely mint az egyik legjelentősebb továbbfejlesztési lehetőség szerepelt még nemrégiben [1]. Ezzel ugyanis a sugárhajtómű üzemmódjainak tág tartományában lehet a későbbiekben méréseket megvalósítani.

Megvalósult a mérő- és adatgyűjtő rendszer digitalizálása, egy diplomaterv keretében készült el ennek hardveres és szoftveres környezete [5]. Egy tárgy keretében pedig egy négyfős hallgatói csoport dolgozta ki a sugárfékezés illetve tolóerővektorálás elvi lehetőségeit.



17. ábra. A sugárfékezést és tolóerő-vektorálást megvalósító fűvócső terve

TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Folyamatban van a berendezés szabályzásának teljes digitális, elektronikus megvalósítása, azaz a *Full Authority Digital Engine Control* (FADEC). Emellett a tervezés első fázisába lépett egy *kombinált tolóerő-szabályzó rendszer*, amellyel egyszerre lehet megoldani a gázsebesség-fokozó, a sugárfék, valamint a tolóerő-vektorálás funkcióit [3].

A jövőben – a gázturbina kísérleti jellegéből fakadóan – a sugárhajtómű szabályozhatóságának kiterjesztésére változtatható geometriájú belépő terelő-lapátsor kivitelezése is elképzelhető. Erre a célra a gyűjtőház szívcsatorna kimondottan alkalmas, egyrészt a nagyobb sugáron elhelyezett

előperdítés a perdületmegmaradás elve miatt hatékonyabb, másrészt könnyedén hozzáférhető, szerelhető konstrukciót lehet kialakítani.

A sugárhajtóműves kísérleti berendezés egyik későbbi lehetséges felhasználási területe pedig az oktatás. Mind a felső-, mind pedig a szakmai középfokú oktatásban kiemelt szerephez juthat, mint bemutató eszköz, amelyen a hallgatók tapasztalatot szerezhhetnek a korszerű repülőgép-hajtóművek működéséről, felépítéséről, üzemeltetéséről, ezzel igen nagy jelentősége lesz a repülőgépszerelők és repülőmérnökök szakmai ismereteinek megalapozásában.

IRODALOM

- [1] BENEDA Károly Tamás: Kisméretű kísérleti sugárhajtómű építése. „Új évszázad, új technológia – Gripenek a Magyar Légierőben” Tudományos Konferencia, Szolnok, 2006.
- [2] BENEDA Károly Tamás: Kísérleti sugárhajtómű üzemeltetési kézikönyve. Kézirat.
- [3] NAGY Kristóf–MIKONYA Gábor–HORVÁTH Ákos–CSÁK Attila: Sugárfordítóval és tolóerő vektorálóval felszerelt fűvécsovek. Team Projekt, BME, 2007.
- [4] Re/872. Az 55 típusú hajtómű műszaki üzemeltetési szakutasítás 2. könyv. Honvédelmi Minisztérium, 1980.
- [5] SÁNDOR István: Adatfeldolgozó rendszer kísérleti gázturbinához. Diplomaterv, Budapest, 2007.