

Óvári Gyula

ovari.gyula@zmne.hu

Szegedi Péter

szegedi.peter@zmne.hu

HAGYOMÁNYOS REPÜLŐGÉP-ÜZEMANYAGOK KIVÁLTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI

Absztrakt

Az egymást követő energiaválságok, a fokozódó környezetszennyezés következtében is fenyegető klímaváltozás és a fenntartható (fenntartani kívánt) gazdasági fejlődés energetikai biztosítása elodázhatalanná teszi olyan új energia hordozók felfedezését, amelyek hosszú távon kitermelhetőek, előállíthatóak, rövid határidővel gazdaságosan, széles körben bevezethetőek, elterjeszthetőek, nem terhelik (előállításukkal sem!) a környezetet és lehetőleg – lényeges átalakítás nélkül – alkalmasak a jelenleg alkalmazott erőgépeink, hajtóműveink működtetésére is.

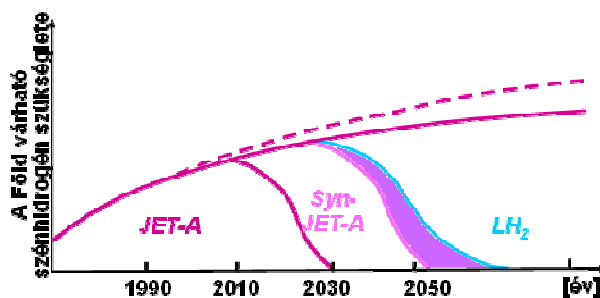
The consecutive energy crises, the threatening climate change, caused mainly by the increasing environmental pollution, and the necessary energy supply for enduring development of economy has made inevitable to find new alternative energy sources, which can be exploited for a long time, produced at short notice and economically and introduced widely, while they do not burden (even with their production process) the environment, in addition they are suitable – without significant technical conversion – to operate the presently used heat engines.

Kulcsszavak: repülés, üzemanyag, alternatív energiahordozók ~ flight, fuel, alternative energy

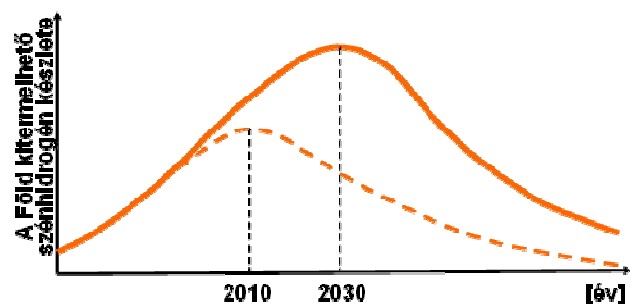
1. A KŐOLAJALAPÚ TŰZELŐANYAGOK KITERMELÉSI, ALKALMAZÁSI PERSPEKTÍVÁI

A jelenleg használatos légi járművek hajtóművei szinte kivétel nélkül olyan szénhidrogén alapú folyékony tüzelőanyagokkal működnek, melyek fűtőértéke 42000–44600 kJ/kg. Ez, dugattyús motorok esetében (repülő-)benzin, gázturbinás sugárhajtóműveknél kerozin.

A '70-es évek első energia-árrobbanását követő sok utáni első higgadt és tudományosan megalapozott elemzések már egyértelműen jelezték, hogy a műszaki fejlődés és növekvő népesség okán folyamatosan növekvő energiaigény (1. ábra) fedezésére, a Föld rendelkezésre álló és kitermelhető folyékony szénhidrogén készletei csak korlátozott ideig elégségesek (2. ábra). Változatokat ugyan lehetséges volt kimunkálni a várható igények növekedési üteméről és a kitermelhető mennyiség szükségszerű csökkenésének időpontjáról (az 1.-2. ábrákon szaggatott vonal a pesszimista, folyamos az optimista, 2010-ben prognosztizált változatot jelöli), a trendek azonban sajnálatosan egyáltalán nem vitathatóak.



1. ábra [7. p. 138]



2. ábra [7. p. 138]

Megjegyzés: az 1. ábrán és a továbbiakban L – liquid (ang.) rövidítés, a gáz folyékony (cseppfolyósított) halmazállapotát jelzi.

A tüzelőanyagok árának folyamatos, drasztikus növekedése, a költség-hatékonyságot fokozatosan, még a katonai repülésben is elsődleges elvárássá tette. Az, hogy a tüzelőanyag-igény növekedés nem vált lineárisra (1. ábra), annak is köszönhető, hogy már pl. a 2. és 3. generációs (közepes hatósugarú, polgári) repülőgépnél is kimutatható a takarékosra való törekvés (korszerűbb, takarékos hajtóművek /turbófan, propfan stb./ és sárkányok /szuperkritikus szárny, winglet, pontosan meghatározott aerodinamikai formák és csatlakozások stb./ alkalmazása).

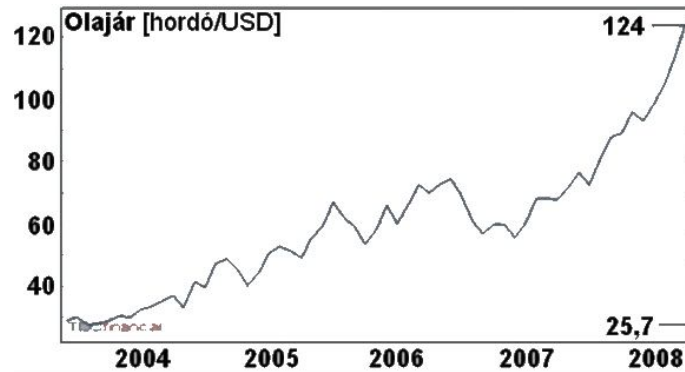
Tovább bonyolítja, egyben sürgeti is a megnyugtató megoldás mielőbbi kimunkálását, hogy - a várakozásokkal ellentétben - a rendelkezésre álló nyersolaj készletek és azok időarányos kitermelhetőségének, a szükségletek változása reális trendjének (1. és 2. ábrák) pontos ismerete sem elég, a várható árak alakulásának közel megbízható prognosztizálásához. A kitermelhető mennyisége, a tényleges hosszú távú átlagos szükségletek és a beszerzési árak között viszonylag alacsony a korreláció. Márpedig az üzemanyag (energia) kiszámítható, megfizethető ára a világ-, és ezen keresztül a nemzetgazdaságok állapotát, közérzetét, életszínvonalat, háborút és/vagy békét határoz meg.

Tapasztalatok szerint az árképzést, a hosszú távú, egyenletes fogyasztás növekedés alapján prognosztizált növekedési trendjeit, időszakosan drasztikusan módosíthatják:

- a piaci viszonyok, ennek szerves részeként, nem elhanyagolható mértékben a spekuláció;
- utóbbival szoros összefüggésben a nemzetközi válságócokban, különösen a közelkeleti olaj-övezetekben, rendszerint az USA részvételével vívott helyi háborúk és ezek

nyomán katonai szükségletek jelentős növekedése, esetlegesen egyes olajbányászati övezetek termelésből, szállításból történő időleges kiválása, kiiktatása;

- különösen az ezredfordulót követően, az újonnan viharos ipari, gazdasági fejlődésnek indult ázsiai hatalmak (Kína, India) rohamosan növekvő energia igénye nyomán (is) kibővült a kereslet. Mindezek együttesen, 1-2 év alatt 100÷400 %-os üzemanyagár ingadozást eredményezhetnek (3. ábra).



3. ábra [16.]

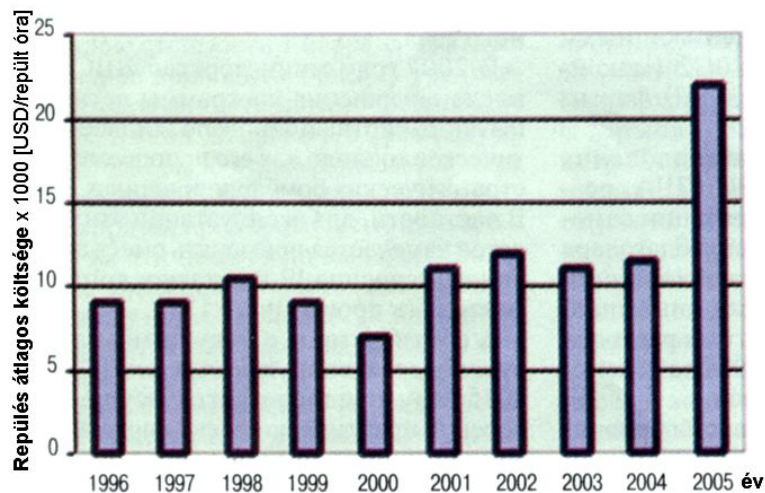
Ugyancsak a fenti okokra vezethető vissza az is, hogy az üzemanyagok termikus krakkolással történő előállítását kiinduló anyagaként szolgáló nyersolaj magasabb szinten (drágábban) előállított származékainak (pl. benzin) beszerzési árát időlegesen meghaladhatja az alacsonyabb szinten feldolgozottát (pl. gázolaj).

A csak repülőgép tüzelőanyagból átlagosan évi 20 milliárd liter beszállítást igénylő, folyamatosan magas harckészültségű USA hadsereg szükségletei, világviszonylatban is alapvetően befolyásolják az üzemanyag árakat. Elemzések szerint 1 barrel (~163,5 liter) kőolaj árának 10 USD-os emelkedése a PENTAGON éves kiadásait 600 millió dollárral növeli. Egyebek mellett, a folyamatos közel-keleti katonai jelenlét miatt is - változatlan struktúrában – de 2008-ra, napi 10 millió literre növekedett repülő-tüzelőanyag felhasználás.

A mennyiségi növekedés és az általa generált árfelhajtó hatása következtében, az amerikai hadsereg éves hajtó- és kenőanyag költségei az alábbiak szerint változtak:

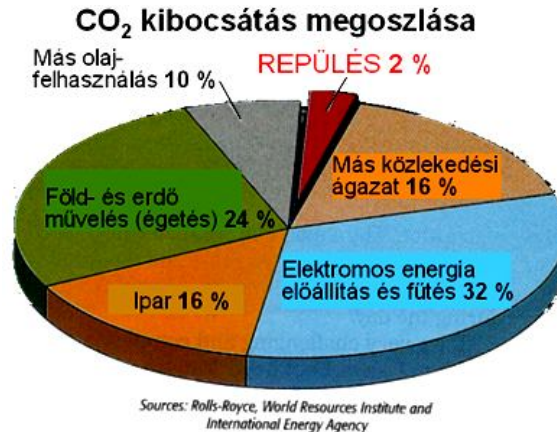
- 2004-ben 6,7 millió USD;
- 2005-ben 8,8 millió USD;
- 2006-ban 11,2 millió USD.

Mindezek ebben az idő-szakban, egy repült óra átlagos költségeit – az éppen aktuális katonai, politikai helyzet befolyásolta, némileg hullámzó jelleggel, de – egyértelműen a növekedés irányába módosították (4. ábra).



4. ábra [16.]

A XX. század második felére - a vonatkozó kutatások eredményeként is - ugrásszerűen megerősödött és megkerülhetlenné vált a környezettudatos szemléletmód. A várakozásokkal ellentétben 2006-ról 2007-re globálisan három százalékkal emelkedett a fölmelegedést okozó széndioxid-kibocsátás. Az emberiség történetében soha nem tapasztalt mértékű, 9,34 milliárd tonnányi volt a főképp az ipari tevékenységekből, a közlekedésből és az erdőirtásból eredő globális széndioxid-kibocsátás (a Global Carbon Projekt nevű, klímakutató intézet adatai alapján). 2006-hoz képest ez körülbelül 3%-os emelkedést jelent, a szén-dioxid légköri koncentrációja elérte a 383 ppm-es értéket (a levegő minden egymillió molekulájából 383 széndioxid-molekula).



5. ábra [16]

Így, egyértelművé vált, hogy a légköri szennyezés 2 %-áért felelős repülés (5. ábra) – mely prognózisok szerint, évi 5 %-os légiforgalmi növekedést feltételezve, ~2025-re már elérheti a 3 %-ot – csak olyan korszerűsítésekben, alternatív és/vagy át-meneti tüzelőanyagok alkalmazásában gondolkozhat, amelyek nem terhelik a környezetet, nem járulnak hozzá további széndioxid kibocsátással az üvegházhatás fokozódásához. Mindezek egyszerre jelentenek új impulzust, de egyben további korlátokat, nehézségeket a fejlesztésben.

2. ALTERNATÍV ENERGIAHORDOZÓK

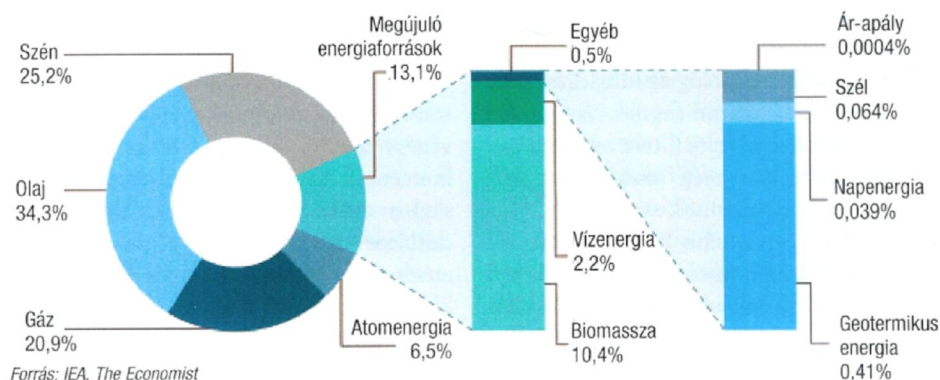
2.1. Alternatív energiaforrások kiválasztásának szempontjai

Az előzőekből (is) következik, hogy belátható időn belül elengedhetetlenül szükséges a jelenleg használatos (repülőgép-) üzemanyagok (benzin, kerozin) kiváltása olyan(ok)kal, amely(ek) lehetőleg egyszerre felel(nek) meg az alábbi követelményeknek:

- magas fűtőértékű, nem környezetszennyező;
- kémiaiilag, halmazállapotát tekintve stabil, nem lép reakcióba a fedélzeti tüzelőanyag-rendszer elemeivel, berendezéseivel;
- hosszú időre, megbízható, könnyen kitermelhető és olcsón feldolgozható tartalékok álljanak belőle rendelkezésre, a kitermelésre, feldolgozása, átalakítása sem tartalmazhat nagy energiaigényű és/vagy, környezetet terhelő technológiát;
- alkalmas a repülőgép szükséges berendezéseinek, hajtóműve(inek), légkondicionáló rendszerének és hordfelületeinek (a lamináris áramlási zóna kilépőél irányába történő kitolása érdekében) a kívánt mértékű hűtésére;
- a jelenleg meglévő repülőgéppark és az annak kiszolgálásához szükséges infrastruktúra, lehetőleg változtatás nélkül, vagy minimális átalakítással, korszerűsítéssel legyen alkalmas a vele történő működésre.

A hagyományos fűtőanyagok (szén, kőolaj, földgáz) kiváltására, pótlására, minden hőenergiát hasznosító ipari, közlekedési, háztartási energetikai ágazatban már évtizedek óta, több irányba is folynak a kutatások megújuló energiaforrások feltalálására és alkalmazására (6. ábra).

Ennek aránya, a XXI. század első évtizedére – az atomenergiát is ideszámítva - sem haladta meg a 20 %-ot. Ráadásul a megismertek egy része (víz, szél, árapály, geotermikus) tökéletesen alkalmatlan repülőgépben történő közvetlen hasznosításra, míg a többiek különböző mértékben, módon és kutatásra, fejlesztésre fordított további időigénnyel számításba vehetőek, mint alternatív lehetőségek. Gazdaságossági szempontból meghatározó fontosságú, hogy a néhány éven belül, jelentős mennyiségben alkalmazni kívánt üzemanyagok, vagy üzemanyag kiegészítők csak olyanok lehetnek, melyek a meglévő repülőgépek üzemanyag tartályaiba feltölthetőek, a rendszer elemei azokat továbbítani képesek, a hajtóművek vele, legalább korábbi hatékonyságukkal működnek.



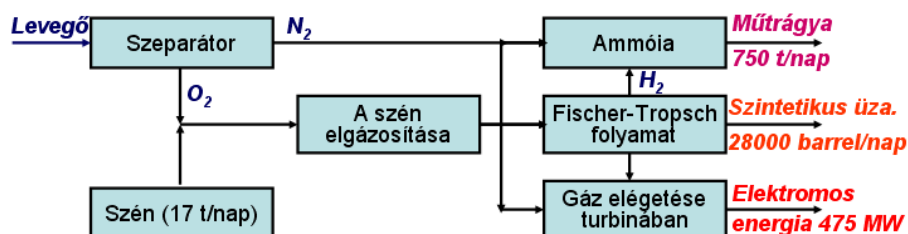
6. ábra

2.2. Biomassza és szintetikus tüzelőanyagok

A jelenlegi üzemanyagok kiegészítésére, helyettesítésére – kezdetben legnagyobb ígéretnek tartott - biomasszák alkalmazása kétséges, mivel nagy tömegű, hosszú távú termelhetőségük korlátozott és ellentmondásos. Abban szakemberek többsége egyetért, hogy 2030-ig a biomasszából termelt, megújuló energia mennyisége maximum megduplázódhat. A biomassza-termelés haszna döntően az olyan országokban jelentkezik, ahol sok az erdő. (A

biomasszával az az alapvető gond, hogy a növényi fotoszintézis csak ~1 %-os hatás-fokkal alakítja át a napenergiát kémiai energiává, ezért az alapanyagul szolgáló növényi kultúra termesztése hamar eléri terjeszkedésének korlátait). Napjainkban nagy reményeket fűznek a tengeri és édesvízi algák üzemanyagként történő felhasználásához is.

A jelenleg alkalmazott légi járművek benzin-, kerozin-felhasználása csökkentésének, időleges, de akár teljes kiváltásának egy lehetséges módszere lehet, az iparilag előállított szintetikus üzemanyagok alkalmazása (7. ábra).



7. ábra [saját a 16. alapján]

A módszer nem új, de az előállítási folyamat tetemes hagyományos energia igényének – ezáltal környezetszennyezésének – csökkentése még mindig jelentős kihívás.

2.3. Cseppfolyósított (kriogén) gázok, mint lehetséges repülőgép üzemanyagok

Hosszútávú utánpótlás, kitermelhetőség legnagyobb valószínűséggel a vízből biztosítható, mivel belőle gyakorlatilag korlátlanul kinyerhető a hidrogén. Ezenkívül a kőolaj, valamint földgáz kitermelés során melléktermékként megjelenő ún. paraffin-szénhidrogének (minden tagjuk a közös, általános C_nH_{2n+2} képlettel előállítható homológ sor eleme, kémiaailag is hasonlóak), közülük az első 5-7 gáznemű, illetve folyékony. Utóbbiakat napjainkig előírások és kimunkált technológia hiányában rendszerint a feltárás helyszínén elégetik.

A repülőgépek (járművek) működtetésére a 1. táblázatban felsorolt gázokat, a tárolás gazdaságossága, a hajtóműbe történő adagolás pontossága miatt cseppfolyósított (kriogén) állapotban célszerű alkalmazni.

Üzemanyag képlete	Kerozin JET A	Hidrogén H ₂	Metán CH ₄	Etán C ₂ H ₆	Propán C ₃ H ₈	Bután C ₄ H ₁₀	Pentán C ₅ H ₁₂	Hexán C ₆ H ₁₄
olvadás [°C]*	< -60	-261,9	-182,5	-183,3	-187,7	-138,3	-129,7	-95,3
forrás [°C]*	136+227	-252,8	-161,7	-88,6	-42,1	-0,5	36,1	68,7
$\Delta t_{\text{cseppfolyós}}$ [°C]*	196+287	~9	~21	~95	~145	~138	~166	~163
Kritikus jellemzők								
hőmérséklet [°C]	374	-240	-82,6	32,3	96,8	152	196,6	234,7
nyomás [MPa]	2,42	1,3	4,6	4,9	4,3	3,8	3,3	3
Üzemanyag sűrűsége [kg/m³]								
olvadáskor	775+785	71,07	424,4	546,4	582	601,5	610,1	664
forráskor	835 (-60°C)	77,15	453,4	650,7	733,1	736,4	761,2	756,9
Égéshő (20 °C-on)* [kJ/kg]								
maximális	46470	135380	56290	51910	50380	49535	49045	48710
minimális	43290	114485	49930	47515	46390	45745	45380	45130

1. táblázat [15. alapján]

Megjegyzés: A táblázatban felsorolt gázok közül – rendkívül magas égéshője, és/vagy a hosszú távú, ipari méretekben biztosítható kitermelhetősége miatt – a hidrogén, metán, propán és bután részletes vizsgálatát célszerű elvégezni.

2.3.1. Hidrogén (H₂)

Az egységnyi tömegéből nyerhető égéshője 2,7-szerese a kerozinénak, de beláthatóan a többi, 6. táblázatban és 10. ábrán bemutatott gázét is lényegesen meghaladja. Igen kedvező az

égési karakterisztikája is, a láng terjedési sebességét és hőmérséklet megoszlását illetően, valamint egyetlen gáz a felsoroltak közül melynek égéstermégeiből hiányoznak a szén-gázok (2. táblázat).

Égéstermék	Kerozin	LH ₂
Elsődleges égéstermék	CO ₂ H ₂ O	H ₂ O
Égési melléktermék és az atmoszférával való reakciók termékei	HC → O ₃ NO _x → O ₃ CO → O ₃ SO ₂ → H ₂ SO ₄	H ₂ → H ₂ O NO _x → O ₃

2. táblázat [7.]

1 kg kerozin elégetésekor 3,16 kg CO₂ (széndioxid) és 1,25 kg H₂O (víz) keletkezik. 1 kg hidrogén elégetésekor 9 kg H₂O jön létre. 0,36 kg hidrogén 1 kg kerozinnek megfelelő energia-tartalommal rendelkezik, ennyi hidrogén elégetése 3,21 kg vizet eredményez.

A cseppfolyós hidrogén égetése sem üvegházhatású CO₂-t, sem a kerozin elégetésekor keletkező más mérgező melléktermékeket hoz létre, kivéve a nitrogén-oxidokat. A hidrogénből azonban 2,6-szor több víz keletkezik, ami nagy magasságokban szintén kedvezőtlenül befolyásolja az üvegházhatást.

Kedvezőtlen viszont, hogy sűrűsége mindössze 1/11÷1/12-e a kerozinénak, így egységnyi, kerozinével megegyező energia tárolására ~3,7-szeres tartálytérfogat szükséges, melyet számottevően tovább emel a cseppfolyós halmazállapothoz tartozó, rendkívül alacsony hőmérséklet (t<250 °C) fenntartásához szükséges aktív és passzív hőszigetelő rétegek beépítése. Valamennyi vizsgált gáz közül az LH₂ - szerkezeti hűtésre, a hordfelületek körüláramlásának javítására, stb. használható - hűtőképessége a legnagyobb. Jelenleg még megoldatlan a cseppfolyós halmazállapota fenntartásához szükséges, alacsony hőmérséklet-határokhoz tartozó (-253)÷(-262) °C, rendkívül szűk, Δt=9 °C-s tartományban, a megbízható és gazdaságos tárolásának lehetősége is.

Vélelmezhetően a LH₂ repülőgép üzemanyagként történő rövid távú elterjedését elsődlegesen nem a felsorolt nehézségek, nem is csak a legmagasabb közvetlen - és a szükséges infrastruktúra kiépítése miatt - közvetett költségek akadályozzák, hanem döntően az előállítás módja. A jelenleg ismert két ipari előállítási módszer (vízbontás elektrolízissel, vagy vízgázból, földgázból, bázisok, sók oldatának elektrolízisével) olyan, nagy mennyiségű hagyományos energiát felhasználó folyamat eredménye (pl. szén-erőműben termelt villamosság!), mely a környezetet súlyosan terheli. Emiatt, a cseppfolyósított hidrogén sem tekinthető kémiaiilag tiszta energiának.

2.3.2. Metán (CH₄)

Alkalmazását az célszerűsíti, hogy a földgáz legnagyobb arányban előforduló komponense (lényegesen meghaladja a propán és bután együttes tömeghányadát). Ugyanakkor gyakorlati felhasználhatóságát ugyanazok a repülőgépszerkezeti, szilárdsági, aerodinamikai, légi- és földi üzemeltetési, valamint az infrastrukturális átállás kimagasló anyagi terhei nehezítik, mint a hidrogén esetében. (Ld. még 3.4. fejezet!).

A metán égéshője ugyan 15 %-kal meghaladja a kerozinét, de még az alacsony hőmérséklet (t<160 °C), szűk tartományában (Δt=21 °C) fenntartható cseppfolyós halmazállapotában is viszonylag kicsi a sűrűsége ρ_{CH₄}=424÷453 kg/m³ (v.ö. 1. táblázat !), így a kerozinével ekvivalens energiamennyiség tárolására 1,5÷1,6-szoros tartálytérfogat kialakítása szükséges. (Az üzemi hőmérsékletet figyelembe véve, a szükséges hőszigetelés

beépítése tovább növeli a tartályok, vezetékek és kapcsolódó berendezések tömeg és térfogat hányadát.)

Annak ellenére, hogy égéshője, hűtőképesége meghaladja a propánét, annak nagyobb sűrűsége és a folyékony halmazállapothoz tartozó lényegesen magasabb hőmérsékleti minimum, illetve maximum, valamint a köztük lévő széles üzemi hőmérsékleti tartomány ($\Delta t=145\text{ }^{\circ}\text{C}$), tapasztalatok szerint a vele alkotott keverék gyakorlatban egyszerűbben alkalmazható, olcsóbb üzemanyagot alkot, mint tiszta formában (ACKT-M). Az optimális keverési arányok kialakítása még további hosszadalmas kísérleteket igényel.

2.3.3. Propán (C_3H_8)

Mivel mind a kőolaj gázainak, mind a földgáznak egyaránt jelentős mennyiségű összetevője, de viszonylag nagymennyiségben szabadul fel a különböző kőolaj származékok előállításakor is, gazdaságos, ipari méretű kitermelhetősége még hosszú időre biztosított. A repülőgép-üzemanyagként történő alkalmazáshoz szükséges fontosabb jellemzői a 6. táblázatból olvashatók ki.

A cseppfolyós halmazállapothoz tartozó szélesebb hőmérséklettartomány és magasabb forrási hőmérséklet ($-42\text{ }^{\circ}\text{C}$) nagymértékben leegyszerűsíti a fedélzeti tartályokban és a repülőtéren történő tárolását, illetve szállítását, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy 1,6 MPa tartálytúlnyomást alkalmazva már hőszigetelésre sincs szükség cseppfolyós állapotának fenntartására. Az ehhez tartozó – az előző kriogén gázoknál – magasabb sűrűség ($\rho_{\text{C}_3\text{H}_8}=582\div 733\text{ kg/m}^3$), és az égéshő figyelembe vételével, kerozinéval ekvivalens energia tárolása mindössze 4÷8 %-kal nagyobb tartálytérfogatot igényel. Mindez valószínűsíti, hogy a meglévő repülőgépek szükség szerinti propán üzemanyaggal működőre történő átalakítása, nem lesz különösebben bonyolult és költséges feladat, főként mert ehhez, maga a hajtómű is csak kisebb mértékű módosításokat igényel.

A propán (és bután) gyakorlati alkalmazását az is célszerűsíti, hogy magas a termikus stabilitásuk és sokkal kevésbé agresszívek a szerkezeti-, gumi- és tömítő-anyagokkal szemben, mint a kerozin.

2.3.4. Bután (C_4H_{10})

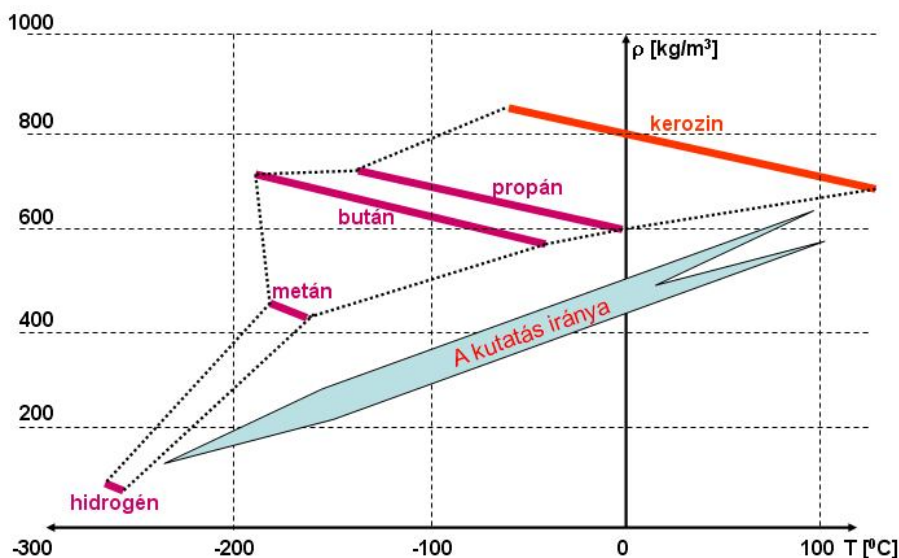
A fizikai jellemzői alapján megállapítható, hogy ennek a gáznak a tulajdonságai állnak legközelebb a repülő-benzinéhez, illetve kerozinéhez, a vele folytatott, előrehaladott repülő-kísérleteknek dokumentáltan, kimutatható eredményei vannak. A gyakorlati alkalmazást nagymértékben segíti, hogy forráspontja sarkkörön túli regionális vonalanknál az év 10 hónapjában lehetővé teszi a zavartalan alkalmazást. Amennyiben 0,5 MPa-os túlnyomást hoznak létre a tartályban forrási hőmérséklete $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra nő, ami járulékos energia felhasználása nélkül is biztosítja a légijármű, jelenleg használatos - akár sík lemezlappal határolt - fedélzeti tartályaiban történő korlátlan idejű üzemanyag tárolását, klimatizálási kööttségek nélkül.

Tapasztalatok szerint:

- javul a felhasználás gazdaságossága, ha nem tiszta formában, hanem propánnal, hexánnal, vagy heptánnal keverve alkalmazzák;
- közepes szállító helikopter, illetve merevszárnyú repülőgép (MI-17, IL-114) bután üzemanyagra történő átállítása esetén, a módosítások következtében a tüzelőanyag-rendszer szerkezeti tömege mindössze 20÷25 kg-mal növekszik.

2.4. A kriogén gázok üzemanyagként történő gyakorlati alkalmazásának lehetőségei

Az előzőekben bemutatott cseppfolyósított gázok fizikai, termodinamikai jellemzői a 1. táblázatból ismerhetők meg. Ezek közül is döntően az alkalmazhatóság hőmérséklete és termikus intervalluma (8. ábra) alapvetően meghatározzák a kutatás és a várható alkalmazás gazdaságosságát (3. táblázat), ezen keresztül bevezethetőségének idejét, kronológiai sorrendjét.



8. ábra [saját a 15. alapján]

A fejlesztés időszakai	4.	3.	2.	1.
Üzemanyag	Cseppfolyósított			Normál
	LH ₂	LCH ₄	LC ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Viszonylagos költségek (kerozint egységnyinek tekintve)				
Egységnyi hő előállítása	10÷15	1,2÷1,6	0,6÷0,8	0,5÷0,6
Repülőtéri infrastruktúra	>100	~6	2	1,3
Az eredeti sárkányból és rendszereiből az átalakítás után megmaradhat [%]				
- teherviselő elemek	10	50	50	100
- tömítő elemek	0	20	21	100
- hőszigetelés	10	50	50	50
A hajtómű átalakítás szükséges mértéke				
- hajtómű	Új létrehozása szükséges		nagymérvű átalakítás	kisebb módosítás
- üzemanyag tartály	létezik már prototípusa			készen van
- üzemanyag rendszer	létezik prototípusa		átalakítás	kisebb módosítás
Légkondicionáló rendszer	Kutatások szükségesek		Bizonyított magas hatékonyság	
Földi infrastruktúra	Kutatások szükségesek			Rendelkezésre áll szériában
Ipari előállítás	Új üzem építése szükséges		Létező üzem átalakításával	Megoldott
Gyakorlatban létező üzemanyag (orosz)	?	ACKT-M	ACKT-K	ACKT, ACKT-B
A fejlesztés feladatai	Szűk, alacsony hőmérséklet-tartományban a cseppfolyós halmazállapot stabil fenntartása		További kísérletek	
			cseppfolyós halmazállapotban	gáz halmazállapotban

3. táblázat [15. alapján]

Az árakat tekintve, a jelenlegi technológiákkal, egységnyi energia tartalmat figyelembe véve, az LH₂ ára 10÷15-szöröse a kerozinénak, ami – előrejelzések szerint - leghamarabb 2010 után csökkenhet kismértékben, de ~2030-nál előbb nem közelítheti azt. Valószínűsíthetően, ennek oka sem elsődlegesen a cseppfolyósított hidrogén előállítási

költségeinek viharos csökkenése, hanem a kerozin árának számottevő növekedése lesz. Amennyiben e tendenciák reálisak, úgy 2050 után a kriogén gáz ára, kevesebb, mint fele is lehet a jelenleg használatos üzemanyagokénak.

Természetesen, az egyes megoldások bevezethetőségének költségeit - az üzemanyag ipari előállítási árán kívül - a repülőtereken történő tárolás, tisztítás, továbbítás, az oda történő, illetve belső szállítások, a légi járműveken belüli tárolás, ülepítés, szűrés, továbbítás, adagolás, az elégetésre alkalmassá tétel konstrukciós biztosításának anyagi ráfordításai nagymértékben módosítják (gyakorlatilag növelik!). Valójában a hidrogén (metán) tartós tárolására, továbbítására szolgáló tartályok, csővezetékek anyagának megtalálása, létrehozása - a fémek ezen a tartós hőmérsékleten bekövetkező ridegedése miatt – még számos kihívást tartalmaz a konstruktőrök számára. Hasonló gondot jelent a mozgó alkatrésze – mindenek előtt a nagy nyomáson működő szivattyúk, munkahengerek – kenésének, tömítésének folyamatos, meghibásodás-mentes biztosítása.



9. ábra [17.]

Az összehasonlító tesztrepülések eredményeit a 4. táblázat tartalmazza. A külső függesztésű, két darab 1800 literes gáztartály miatt megnövekedett homlokellenállás a helikopter teljes légellenállását 3%-kal, üres tömegét 160 kg-mal növelte, hasznos terhelhetőségét 55 kg-mal csökkentette, ami $G_{haszn} = 1550 \text{ kg} = \text{const}$ összehasonlító terhelés esetén 35 km-rel (~5,5 %-kal) kisebb hatótávolságot eredményezett.

A gáz, kerozinét meghaladó hőfejlesztő képessége miatt a MI-8MTG óránkénti és kilométerenkénti üzemanyag-fogyasztása is egyaránt ~2 %-kal csökkent (No 5. és 6.). Ennek is következménye, hogy a MI-8MTG, 1800 literes gáztartályok miatt 738 km-re növekedett hatótávolságát, amit a kerozinnal működő helikopter csak 260 kg plusz üzemanyag, felvételével képes elérni (ld. 4. táblázat 7. oszlop).

A helikopterekkel folytatott komplex kísérleti repülések eredményei alapján a gáz üzemanyagra állítottak át néhány, belföldi, regionális légiszállításban használt IL-114-es merevszárnyú repülőgépet is (10. ábra). A tesztek együttes tapasztalatai egyértelműen igazolták, hogy ebben a kategóriában a propán (-bután-stb.) gáz-üzemanyag keverék(ek)re történő áttérés nem rontja a légi járművek gazdaságossági-hatékonysági jellemzőit.

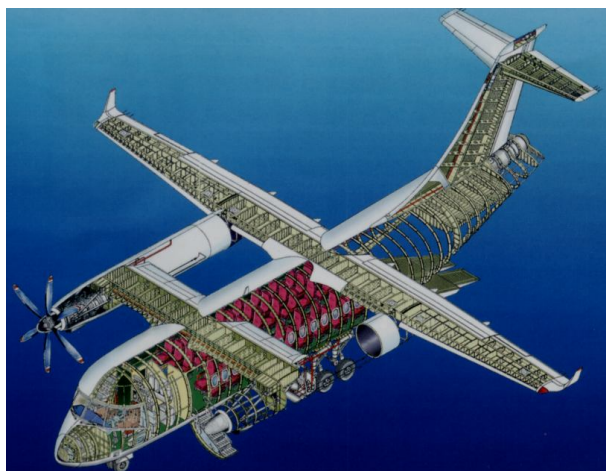


10. ábra [17]

N°	Vizsgált jellemző	MI-8MT bázis	MI-8MTG gáz üzemanyaggal			MI-8MT +260 kg kerozinnal
			L=const (640 km)	G _{terh} =const (1550 kg)	teljes feltöltés	
1.	m _{norm, felszálló} [kg]	11100	11130	11130	11130	11100
2.	m _{üres} [kg]	7523	7683	7683	7683	7623
3.	m _{üza, felszálló} [kg]	2027	1988	1897	2241	2287
	- kifogyasztó tartály:	345	345	345	345	345
	- főtartály:	1682	1643	1552	1896	1682
	- póttartály:	-	-	-	-	260
4.	Üza. fogyasztás [kg] H=const esetén	1682	1651	1560	1904	1941
5.	Óránkénti üzemanyag fogyasztás [kg/ó]	605	593	593	593	605
6.	Kilométerenkénti üza. fogyasztás [kg/km]	2,63	2,58	2,58	2,58	2,63
7.	Utazó sebesség [km/ó]	230	230	230	230	230
8.	H _{max, stat} [km]	4	4	4	4	4
9.	Hasznos terhelés [kg]	1550	1495	1550	1206	1191
10.	Repülési távolság [km]	640	640	605	738	738

4. táblázat [17.]

A kísérletek további eredményeként megkezdtek a teljesen gázüzemű TU-156-os légszavaras-gázturbinás repülőgép tervezését (11. ábra). Oroszországon és a repülőipari nagyhatalmakon kívül, intenzív kutatás, fejlesztés folyik a közel-keleti olajkitermelő országokban is. Ezeknél természetesen magas prioritást kapott a hagyományos kerozinokkal lehetőleg magas arányban keverhető szintetikus összetevők és cseppfolyósított gázok felfedezésének és előállításának igénye. Ez és a bőséges anyagiak (is) katalitikusan hatottak a kutatások eredményességére.



11. ábra [18.]

2009-ben, a Qatar Airways egyik - két, Rolls Royce Trent 556, kétáramú, gázturbinás hajtóművel felszerelt - Airbus A340-600-asa, repülőgépe - első kereskedelmi légi járműként a világon - földgázból előállított üzemanyag keverékkel repült Londontól Doháig. A Shell fejlesztett ki és gyártotta az 50%-ban szintetikus Gas to Liquids (GTL) cseppfolyósított gázt, valamint 50%-ban hagyományos olajalapú kerozint tartalmazó üzemanyagot. Elégetése során kevesebb kéndioxid és más káros anyag kerül a levegőbe, mint tiszta kerozin elégetésekor, így a levegőt is kevésbé szennyezi.

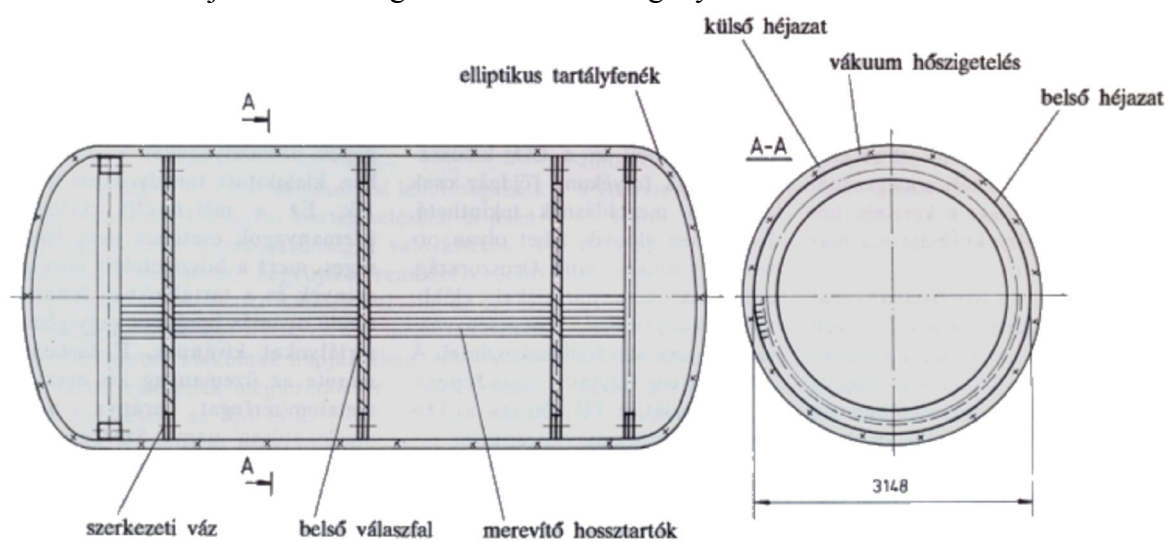
A hagyományos üzemanyag és GTL elegyének új neve GTL Jet Fuel lesz. Ez a repülőút volt az utolsó lépcsője annak a több mint két éve zajló tudományos kutatásnak, melyet az Airbus, a Qatar Airways, a Qatar Petroleum, a Qatar Science & Technology Park, a Rolls-Royce, a Shell és a WOQOD konzorciuma folytatott a GTL Jet Fuel használatának előnyeiről a kereskedelmi repülésben. A munka java része a Qatar Science & Technology Parkban folyik Dohában. Az együttműködésnek köszönhetően Katar lehet majd a világ vezető GTL kerozin-előállítója 2012-től: ekkor kezdik meg az üzemanyag kereskedelmi előállítását.

2.5. Alacsony hőmérsékletű kriogén repülő-üzemanyagok hatása a tüzelőanyag rendszer és a sárkányszerkezet kialakítására

2.5.1. Fedélzeti gáztartályok és csövek

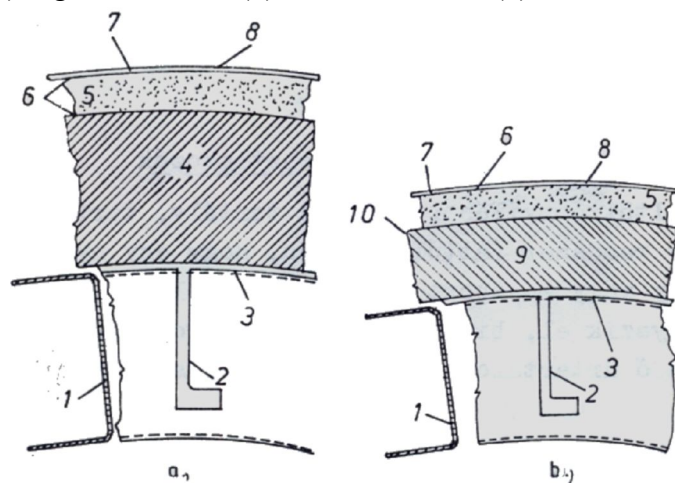
A cseppfolyósított gázok tárolása alacsony hőmérsékleten és/vagy magas nyomáson történik. Így a tárolásra alkalmas *tartály* (12. ábra):

- lényegesen szilárdabb konstrukció szükséges mint a hagyományos kerozin tároló tartályok, a rá ható esetenként jelentős nyomáskülönbségek miatt aminek elviselését az alacsony hőmérsékleteken ($t < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) bekövetkező szerkezeti anyag ridegedés csak nehezíti;
- nagyobb túlnyomások ($\Delta p > 3\text{ bar}$) esetén tartályformaként nem alkalmazható - a sárkány szabad belső tereit optimálisan kitöltő - bonyolult térbeli alakzat, csak gömb, vagy henger jöhet számításba;
- a folyékony gáz alacsony hőmérsékletének fenntartására vastag hőszigetelő réteg(ek)kel kell bevonni, illetve párolgásának (térfogat növekedésének) megakadályozására többnyire aktív hőszigetelést is szükséges alkalmazni. Utóbbiak működtetése rendszerint járulékos energia felhasználást is igényel.

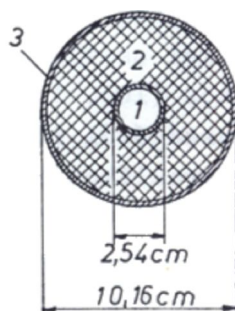


12. ábra [7]

Tapasztalatok szerint kétféle megoldású tartály-hőszigetelés mutatkozik alkalmazhatónak és továbbfejleszhetőnek cseppfolyósított gázok tárolására (13. ábra). Mindkét változatot keretszerkezethez (1) rögzítik, falukat (3) hosszmerítők (2) erősítik.



13. ábra [7. p. 160.]



14. ábra [7. p. 174.]

A vaskosabb, súlyosabb konstrukciót eredményező megoldásnál (13. a. ábra) a tartály falára széles, zárt pórusú fenoplaszt réteget (4) rögzítenek. Ebben a 0,127 mm vastagságú MAAMF, többrétegű alumíniumszálas szövétrétegek (6) között hajlékony, porózus fenoplaszt (5) található, amit réteges kompozitból (kevlarból) (7) készült bevonat fed. Ezt viszont már a törzs borítása (8) követi. A hőszigetelés hatásfokának javítására a porózus hőszigetelő rétegbe N₂ gázt vezetnek (amiből, számítások szerint 9000 km megtételéhez 90 kg felhasználása szükséges!).

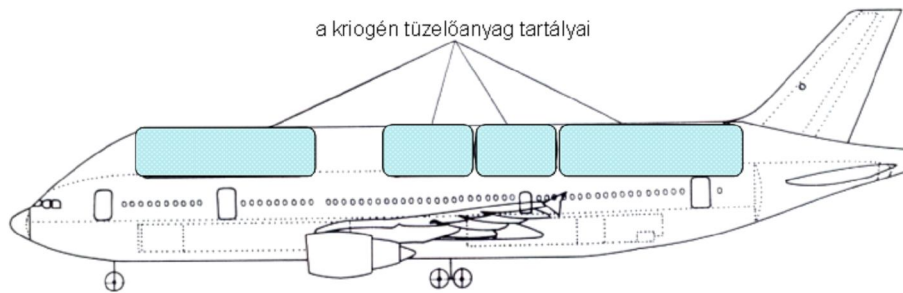
A drágább, könnyebb és vékonyabb kialakításnál (-28 mm) (13. b. ábra) hőszigetelőként vákuumot (9) ($p \approx 13$ Pa) alkalmaznak, melyet vákuum-szivattyú tart fenn. A vákuumteret a N₂-vel hűtött, hajlékony fenoplaszt rétegből (5) a 0,127 mm vastagságú bor-szilikát zóna (10) választja el. (A számozás és funkció azonos a két ábrán).

Számottevően megnöveli az üzemanyagcsövek (14. ábra) súlyát és szükséges térfogatot, amennyiben cseppfolyósított gázokat szállítanak bennük. Például a cseppfolyós H₂ továbbítására szolgáló 2,54 cm átmérőjű 0,4 mm falvastagságú csövet (1) olyan vastag alumíniumborítású (3) fenoplaszt (2) szigetelő réteggel vonják be, hogy átmérőjét négyszeresére (10,16 cm), így keresztmetszetének felületét tizenhatszorosára növeli.

Mivel az alacsony hőmérsékleten cseppfolyósított gázok többségének sűrűsége alig fele, a hidrogén esetében mindössze 1/11 ÷ 1/12 része a kerozinokénak, ezért, ekvivalens energiamennyiség tárolására, - figyelembe véve magasabb égéshőjüket is - a számítások eredményei azt mutatják, hogy:

- az ilyen repülőgépek szárnya – a vastag hőszigetelő réteg szükségessége és az aerodinamikai követelmények miatt - nem vehető figyelembe a tüzelőanyag tárolására;
- csak a törzsben alakíthatóak ki tüzelőanyag tartályok. Az ekvivalens energiamennyiséget biztosító térfogata - a hőszigetelés térfogatigényét is figyelembe véve, pl. LH₂-nél - 3,8÷4,2-szerese a kerozinénak. Ezek, nagyobb nyomás esetén - szilárdsági megfontolásból - csak hengeresek, vagy gömb alakúak lehetnek. Így, magas, széles törzsű sárkányok kialakítása szükséges (14. ábra).

A 15. ábrán egy ismert, jelenleg is széles körben használatos, korszerű közforgalmú utasszállító repülőgép gázzal üzemelő változatának kontúrrajza látható, utastér felett elhelyezett gáztartályokkal. Mivel az utastér alatti törzstérfogatot a poggyász- és teherszállításra szolgál, így a gáztartályok csak a törzs felső, járulékosan megnagyobbított részébe építhetők be.

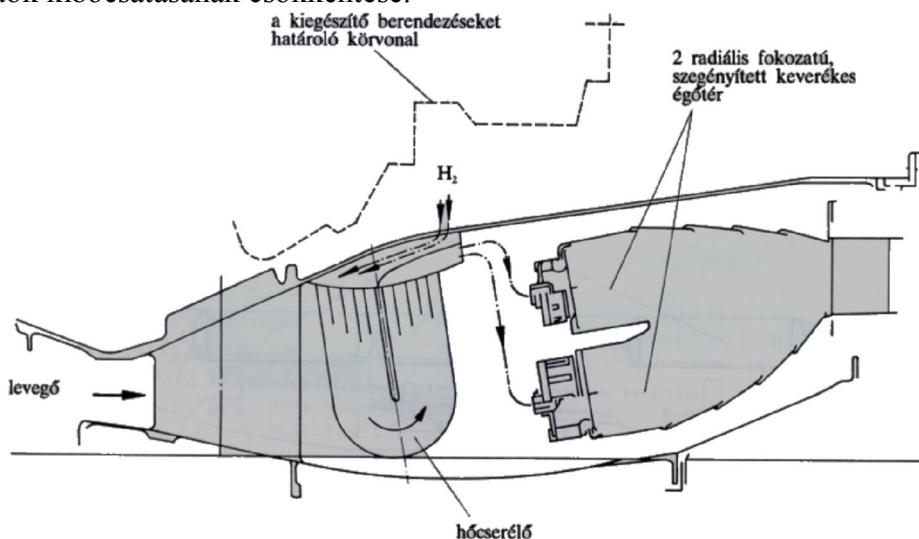


15. ábra [7.]

Az üzemeltetés során további lényeges különbség, hogy e a gázok nagy része (pl. LH₂, LCH₄) – külön energia betáplálása nélkül - cseppfolyós állapotban, a repülést követően nem maradhatnak a tartályokban.

3.5.2. Hajtóművek

A jelenleg ismert gázturbinás hajtóművek működési elve megfelel, a gázneművé visszamelegített tüzelőanyagokkal történő működtetésre. Gyakorlatilag a teljes hajtómű-elrendezés változatlan maradhat (20. ábra), de az égőteret teljesen át kell alakítani a hidrogén (metán) előnyös tulajdonságainak hasznosítására. Az alapvető konstrukciós törekvés a nitrogén-oxidok kibocsátásának csökkentése.

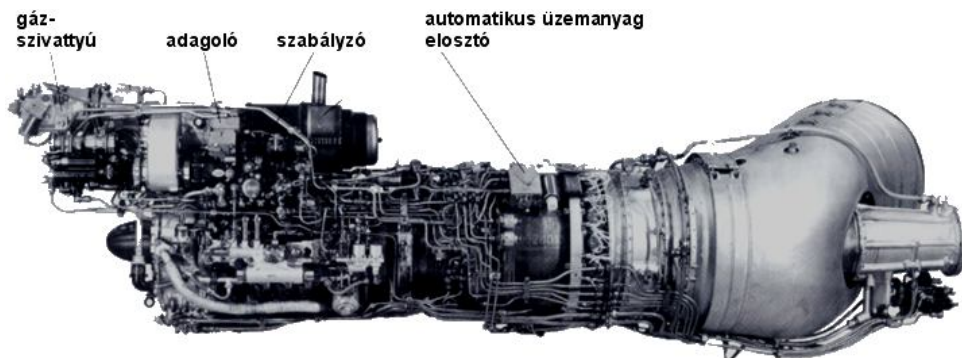


16. ábra [7.]

Az égőtér a kerozin-üzeműhöz képest jelentősen megrövidíthető, ami lehetővé teszi a járulékosan szükségesé váló hőcserélő beépítését, ami aztán visszaalakítja a cseppfolyós hidrogént (metánt) gázzá az égőtérbe történő betáplálás előtt. A szükséges üzemanyag-mennyiség pontos szabályozása viszont még néhány megoldandó kérdést felvet.

Az alacsony hőmérsékletű cseppfolyós gázokkal jól hűthetők az olajrendszer, a légkondicionáló rendszer, a turbinalapátok, a sárkány egyes elemei, miközben az égőtérbe táplált üzemanyag is előmelegíthető.

Jól láthatóan, a lényegesen magasabb üzemi hőmérsékletű propán-bután üzemanyaggal működő TV-3 hajtómű (17. ábra) szerkezeti kialakítása a kerozin üzeműhöz képest, érdemben nem változott.



17. ábra [17.]

3.6. A repülőtéri kiszolgálás eszközei és az infrastruktúra

A cseppfolyósított gázokkal üzemelő légi járművek tüzelőanyaggal történő feltöltése (leszívása) különbözik a benzinnel és kerozinnal üzemelő rendszerektől. A töltő-leszívó berendezés hermetikusan és hőszigetelten csatlakozik a repülőgép farokrészéhez. A gépjármű, a földalatti tápcsatornában levő vezetékek és a repülőgép töltőcsönkje összekapcsolására szolgál. Ezt megelőzően, a gépkocsi saját semleges gázrendszeréből héliummal átfúvatja az összekötő csöveket és csatlakozókat a repülőgép tüzelőanyag-rendszerébe a levegő, O₂ tartalma bekerülésének megakadályozására. (Üres tartályok feltöltése ugyancsak a teljes rendszer héliummal történő átfúvatásával kezdődik).

Amennyiben a repülőgép hosszabb ideig tartózkodik az állóhelyen, a cseppfolyós H₂ gyors felmelegedésének megakadályozására vákuum-szivattyúval a gázneművé vált felmelegedett hidrogént elszívják és helyére a tartályok folyadék feletti terébe hűtöttet vezetnek. Amikor a feltöltött gép nincs a repülőtéri táprendszerre csatlakozva, a tüzelőanyag-rendszer biztosító szelepei lehetővé teszik a felmelegedett, gáz-halmazállapotúvá vált H₂ távozását a szabadba.



18. ábra [18.]



19. ábra [18.]

A hidrogén tárolása is új technológiákat igényel, tárolható például kriogén folyadéktartályokban, nagy nyomású gázként vagy szilárd formában. Szállítására vezetékrendszerek már épültek Észak-Amerikában, Belgiumban és Hollandiában, de még gondot okoz, hogy az anyagok szerkezete ridegebbé válik tőle, elvesztik szívósságukat, valamint meg kell oldani, hogy a hidrogén ne diffundáljon el belőlük. Közúton és vasúton is szállítható. A hidrogén üzemanyaggal működő járművekhez speciális üzemanyag-töltő állomásokat kell létesíteni, ami komplikált műszaki rendszert jelent - erre irányult az Európai Unió FP6-os (Framework Program) egyik kezdeményezése.

A propán, bután repülőtéri tárolása, szállítása, szivattyúzása nem jelent különösebb technikai kihívást (18. és 19. ábra)

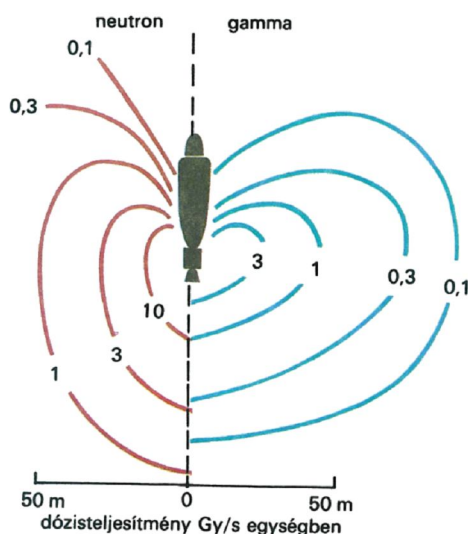
4. AZ ATOMENERGIÁVAL MŰKÖDŐ REPÜLŐGÉPEK LÉTREHOZÁSA

Gyakorlatilag az '50-es években megjelent az igény a nukleáris energia repülőgép üzemanyagként történő hasznosítására. A számításba vett urán 233-as, 235-ös, a plutónium 239-es izotópjának alkalmazásával, egységnyi tömegeből milliószor nagyobb energia szabadítható fel, mint bármely más tüzelő-anyagból. Környezetvédelmi és biztonsági szempontból azonban ennek napjainkig sincs reális perspektívája.

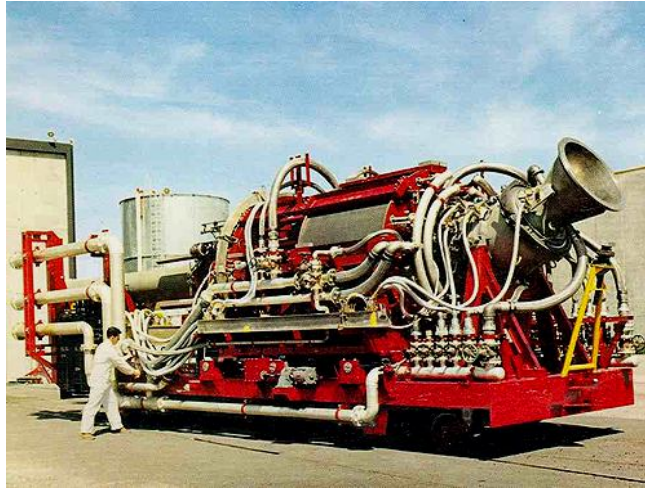
Bármilyen működési elvű nukleáris hajtóművet alkalmaznak, minden körülmények között gondoskodni szükséges a földi és hajózó személyzet sugárvédelméről. Például a 20. ábrán látható hajtóműtől 50 méterre, külön védelem nélkül, néhány másodpercen belül már halálos dózist (5 Gy, korábban 500 rad) lehet kapni.

Nagyobb reaktoroknál a káros sugárzás (adott helyen a neutron és a gamma sugárzás összegét) kell figyelembe venni. Ez, rendszerint vastag védőfalak és/vagy a reaktor és utastér egymástól nagy távolságra történő elhelyezését feltételezi. A sugárzás árnyékolására a célszerűen elhelyezett LH hajtóanyag is alkalmas lehet.

A nukleáris meghajtású repülőgép sugárhajtóműve - elképzelések szerint - több mint háromszoros hangsebességű repülést is lehetővé tehetne, gyakorlatilag korlátlan hatótávolsággal. A hajtóművében a beszívott és sűrített levegőt nem kerozin, esetleg egyéb fosszilis, vagy más kémiai tüzelőanyag, hanem egy atomreaktor hevítette volna fel, így hozva létre a tolóerőt. Egy ilyen, a '60-as években fejlesztett 500 MW teljesítményű kísérleti reaktor (Tory) látható a 21. ábrán.



20. ábra [Makra: Űrhajózás holnapután GONDOLAT 1986. p. 93.)



21. ábra

[Laczkó M. B.: Nukleáris meghajtású repülőgép hozta volna el a világvégét - Háború Művészete www.Art of WAR Publikálva: 2008-11-11 19:17:00]

5. NAPENERGIA A REPÜLÉSBEN

A valóban környezetkímélő energiák egyike a napenergia, amely a napban lejátszódó magfúziós folyamatok során felszabaduló energia. Hasznosíthatóságát alapvetően az indokolja, hogy a naptól a földfelszínre körülbelül $70\div 80 \text{ MW/m}^2$ energia érkezik. Az energia sűrűség a föld atmoszférájának szélén átlagosan 1367 W/m^2 . Ez azt jelenti, hogy évenként megközelítőleg 219 milliárd GWh sugárzási energia éri el a földfelszínt, ami 2500-szorosa napjaink teljes energia szükségletének. Hozzávetőleg három óra napsugárzás képes fedezni földünk éves energia szükségletét.

A légkörben jelen lévő vízpára és jég kristályok elnyelésének eredményeképpen a földfelszínt ténylegesen elérő sugárzási energia 1000 W/m^2 , sík felszínen, a nap legmagasabb állásában. A beeső sugárzási energia a légköri körülmények függvényében 50 W/m^2 -től (erősen felhős idő) 1200 W/m^2 -ig (optimális felhőzet) változik. Európában a napi átlagos sugárzási energia $2,2 \div 4,8 \text{ kWó/m}^2\text{nap}$. Jelenleg hasznosítása elhanyagolható, pedig számos kedvező tényező szól mellette:

- mindenki számára könnyen elérhető, tiszta, környezetkímélő energiaforrás;
- még évmilliókig rendelkezésre áll, kíméli a nyersanyagkészletet;
- nem kell szállítani, hozzájutásához nem kell költséges közműhálózat;
- átalakítási, felhasználási költségei minimálisak.

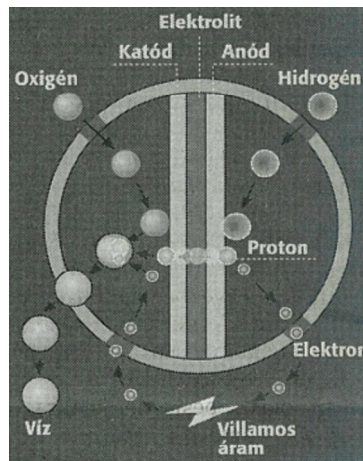
A cellákból felépülő napelemek működésének alapja, hogy a fénysugárzás fotonjai kimozdítják a félvezető elektronjait a kötéseikből, így elektron-lyuk párok keletkeznek, ezt az elektrontöbbletet pedig elektromos vezetőkkel lehet a napelem felületéről elvezetni a fogyasztókhoz, vagy az akkumulátorokhoz. Egy fotoelektromos cella teljesítményét a típusa és mérete a szolár cella anyagának, a fény intenzitása, a fény hullámhossza határozza meg, összehasonlításukra a áramerősség/felületegység (A/cm^2) mérőszám ad felvilágosítást.

A szolár cellákat több különböző méretben és formában állítják elő, a felhasználási területüknek megfelelően. A kisebb, bélyeg méretűektől, a néhány 100 milliméteresig. A cellák összekapcsolásával szolár-modulokhoz jutunk. A napelemes rendszer a szolár cellákon kívül tartalmazza még az elektromos csatlakozásokat, az illesztési eszközöket, teljesítmény szabályozókat, és az akkumulátorokat. Egy egyszerű cella körülbelül $0,5 \text{ V}$ -ot tud előállítani. Ezeket párhuzamosan és/vagy sorba köthetőek, ezáltal nagyobb áramerősség/feszültség érhető el.

A repülőgépen történő hasznosításnak jelenleg két meghatározó korlátja van:

- a egységnyi felületen előállítható feszültség-áramerősség és a könnyűépítés elvének való együttes megfelelés;
- korlátozottan napfényes, vagy napfénymentes időszakban az energia megbízható pótlása tartalékolt készletekből.

A felsoroltak repülőeszközön történő alkalmazása, az elektromos energia, jelenlegi akkumulátoroknál lényegesen kisebb szerkezeti tömegű és magasabb hatásfokú tárolását, illetve át- (oda-vissza) alakítását feltételezi. Ennek egy lehetséges és ígéretes megoldása a hidrogénnel működő üzemanyagcella (22. ábra)



22. ábra [10.]

Katalizátor segítségével a hidrogén alkotóelemeire, protonra és elektronra bomlik. Az üzemanyagcellában a kémiai folyamatot a levegő oxigénjétől egy elektrolit réteg zárja el, amely csak a protonokat ereszti át, az elektronokat nem. A protonok azonban csak elektronok jelenlétében tudnak reakcióba lépni az oxigénnel. A reakció által felszabaduló energia elegendő ahhoz, hogy elektronokat húzzon át a túloldalra, ezáltal villamos áram jön létre, valamint víz keletkezik.



23. ábra

A felsorolt műszaki kérdések – legalább részleges - megoldására építette a NASA, a '90-es évek második felében, a 23. ábrán látható napelemekkel borított szárnyú kísérleti repülő-

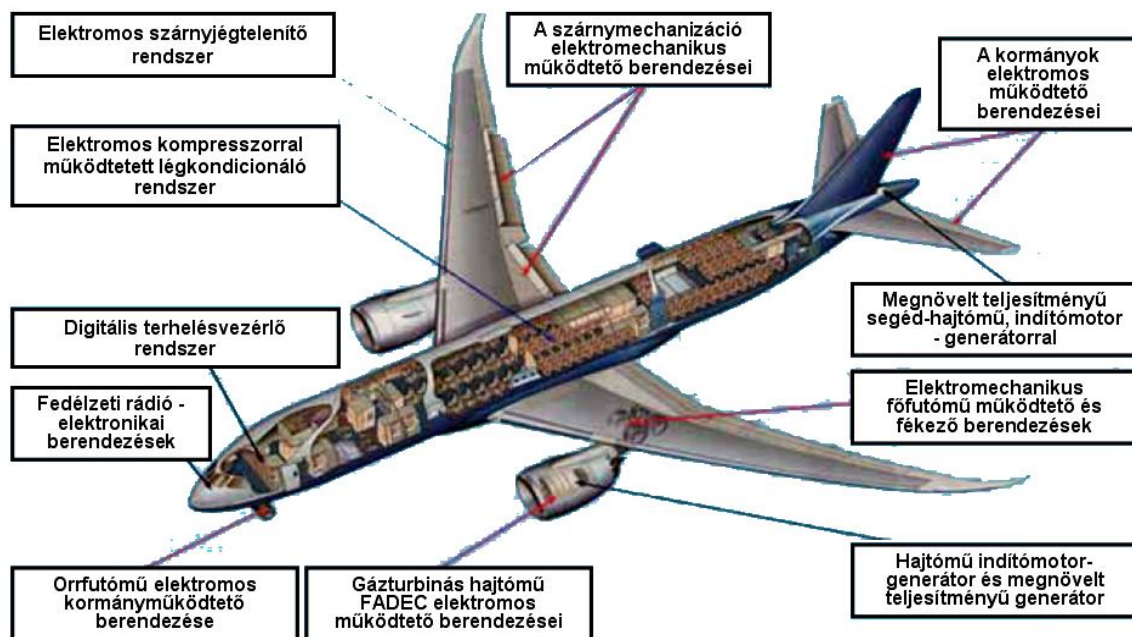
gépet, mely klimatikus viszonyoktól (tlev, Hrep, plev, stb.) függetlenül volt képes napokig $H > 20$ km-es repülési magasságban tartózkodni. Nyolc darab, egyenként néhány száz Watt teljesítményű hajtóműve csak a sárkány-szerkezet önsúlyának levegőben tartására volt alkalmas, érdemi hasznos terhelhetőség nélkül.

Napjaink műszaki színvonalán már olyan villamos meghajtású robot-repülőgép építhető szériában („Global Observer”), amelynek fedélzeti táprendszere alkalmas a hajtóművek, vezérlő és hírközlő rendszerek, valamint a felderítő konténer egyidejű működtetésére.

6. A „TELJESEN VILLAMOSÍTOTT” REPÜLŐGÉP

Az alternatív hajtómű üzemanyagok kutatásával párhuzamosan, a '70-es évektől több ország kutatóintézetében vizsgálták, vizsgálják a rendszeren belüli szükségszerű energiaátalakítások hatékonyságát, ennek részeként a meglévő gázturbinás hajtóművek lényegesen hatékonyabb működtetésének lehetőségeit, esetleges részleges kiváltásuk módját, (pl. villanymotorral).

Ennek időben első eredménye, a számítástechnika fejlődésével, a repülőgépek komplex automatikus vezérlő rendszerének részeként létrehozott, - a hidromechanikusat teljesen kiváltó – digitális hajtómű vezérlés FADEC (Full Authority Digital Engine Control), ami alkalmas valamennyi üzemmód optimalizálásával a toló-/vonóerő növelésével egyidejűleg, számottevő üzemanyag fogyasztáscsökkentésre is.



24. ábra [14.]

A gazdaságossági kutatások már a '70-es évek végén azt mutatták, hogy a - működtetésükhöz a hajtóművektől jelentős, (nagy szállító repülőgépek esetében akár több ezer kilowatt teljesítményt elvonó - segédenergia és fedélzeti légkondicionáló rendszerek hatékonysága még nagymértékben javítható, optimalizálható. Ennek okai:

- a fedélzeten segédenergiaként többnyire együttesen alkalmaznak hidraulikus, pneumatikus és villamos berendezéseket, melyek közül az első kettő hatásfoka általában lényegesen alacsonyabb az utóbbinál. A különböző rendszerek együttes működésekor a meghibásodás valószínűsége, az üzemeltetés költségei is magasabbak, mint homogén energetikai megoldás esetén;

- rendszerint valamennyi rendszer (kényszer-) meghajtása a hajtómű segédberendezésházáról biztosított;
- a fedélzeti légkondicionáló rendszerek – teljesítményigényükön túl jelentős levegő mennyiséget is elvonnak a hajtómű kompresszorfokozatától, ami rontja annak hatásfokát.

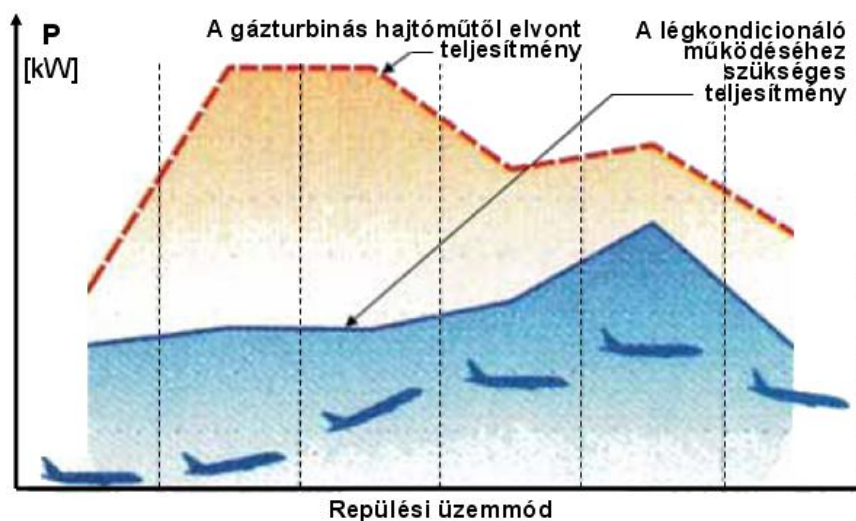
Az orosz és nyugati kutatóintézetek előzetes vizsgálatai egybehangzóan bizonyították, hogy a különböző fedélzeti rendszerek homogén, lehetőség szerint a legmagasabb hatásfokú elektromos, energiával történő táplálása - mindenképp először nehéz szállító repülőgépek esetében - számos gazdaságossági, hatékonysági előnnyel jár. Ezek közül a legfontosabbak:

- üzemanyag megtakarítás 8÷12 %-os, a felszálló tömeg 6÷10 %-os, a közvetlen üzemeltetési költségek 5÷10 %-os, az élettartam költségek 3÷5 %-os, műszaki kiszolgálási idő 4÷4,5 %-os csökkenése. csökkenése;
- az egy meghibásodásra eső repült idő 5÷6 %-os növekedése;
- A felsorolt kedvező adatok, kisebb geometriai méretű és tömegű a repülőgépek esetében arányosan csökkennek.

A teljesen villamosított repülőgép kialakításának egymásra épülő programlépései, ('70-es évek végétől: AEA - All Electric Aircraft, ПЭС - полностью электрический самолет, a '90-es évektől MEA – More Electric Aircraft, 400 millió € ráfordítással, 2002÷2006 POA – Power Optimized Aircraft, 100 millió € költséggel, melynek vezető résztvevői a Thales, Goodrich, Rolls-Royce, Hispano Suiza, stb.) a 24. ábrán látható – hagyományosan, többnyire más energiaforrásról táplált – rendszerek 100 %-os elektromos működtetését célszerűsíti.

A felsorolt és az ezeket kronológiailag követő MOET (More Open Electrical Technologies) program több eredménye már visszatükröződik a különböző rendeltetésű, A-380, B-787, F-35 legújabb fejlesztésű, polgári és katonai repülőgépeken, de kimutatható az UAV fejlesztésekben is („Barracuda”).

A program keretei között a gazdaságosság javításának egyik meghatározó eleme a hajtómű(vek)től - alapvetően a légkondicionáló, esetenként jégtelenítő rendszer(ek) táplálására szolgáló - levegő elvonásának megszüntetése. Ez annál is fontosabb, mert a légkondicionáló működtetéséhez szükséges teljesítmény eléri, sőt meg is haladhatja az 500 kW-ot, ráadásul a szükséges és a tényleges elvonás mértéke a repülés különböző fázisaiban nagymértékben eltérhet (25. ábra).



25. ábra [14.]

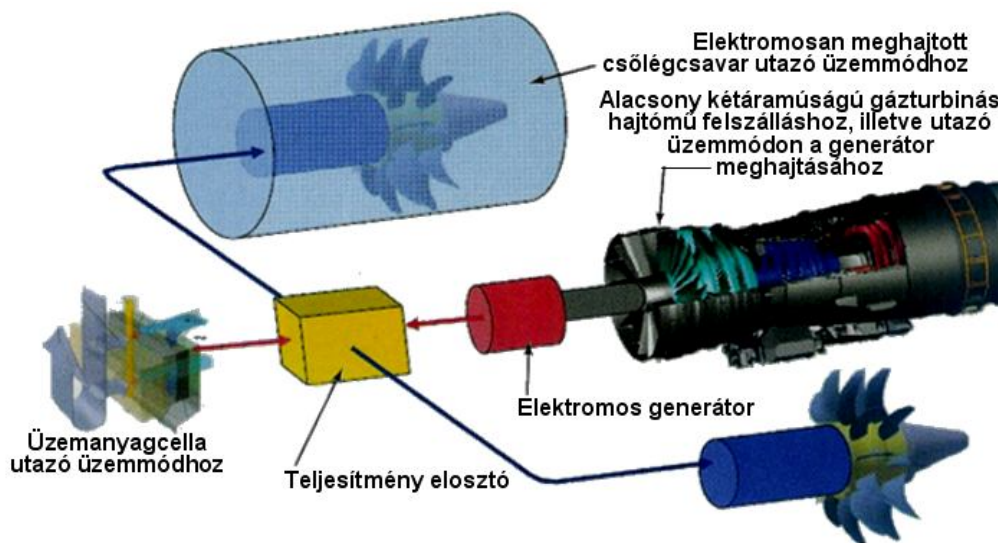
A kutatások eredményei szerint, amennyiben a légkondicionáló rendszer levegőszállítását elektromosan meghajtott, számítógéppel vezérelt kompresszor biztosítja:

- a működtetéshez szükséges teljesítmény 30 %-kal;
- a rendszer berendezéseinek és csővezetékeinek a tömege 20÷30 %-kal;
- a hajtómű(vek) üzem-anyag fogyasztása 1÷2 %-kal csökken.

A teljesen villamosított repülőgép elektromos táprendszerében, a jelenleg használatos értékekhez képest, a váltóáram feszültségét – 360÷800 Hz között változtatható frekvencia mellett - legalább kétszeresére, az egyenáramét 10÷20-szorossá (270÷540 V) szükséges emelni.

A jelenleg folyó kutatások két fontos megoldandó kérdése:

- az elsődleges kormányvezérlő rendszer hidraulika munkahengereinek kiváltása;
- a légsavarak működtetése villanymotorral.



26. ábra [14.]

Első esetben a legnagyobb nehézség az, hogy a könnyű építés elveinek megfelelő nagy teljesítményű, minimális szerkezeti tömegű motor csak nagy, (20000÷40000 ford/perc) fordulatszám alkalmazásával lehetséges. Ennek haladó mozgássá alakítása, 1÷3 fokozatú fordulatszám-csökkentő egység (pl. bolygómű) alkalmazásával lehetséges, így az intenzív, manőverező repülésnél szükséges gyakori, különböző irányú kormányozgatás tartós, megbízható, késleltetés-mentes, pontos követése, nehézkes, nem éri el a hidromotorok hatékonyságát, megbízhatóságát.

A turboprop/fan repülőgépek működési hatékonyságát lényegesen növeli, a légszennyezést markánsan csökkenti a légsavarak elektromos meghajtása, utazó üzemmódon. A gázturbinás hajtómű ennél a megoldásnál csak a felszálláshoz szolgáltatna kisegítő tolóerőt, a repülés további szakaszaiban, mint villamos erőmű meghajtóegysége működne (26. ábra). Ennek gyakorlati megvalósítása azonban, még a villamos hálózatokon belüli energia átalakítás és a megbízható tárolás hatékonyságának további érdemi javítását feltételezi.

Felhasznált irodalom

1. Ijesztőek a globális légszennyezési adatok, [\[origo\]](#) 2008. 09. 30., 11:28
2. Jakabffy Éva Kék bolygó, zöld jövő – mennyit érnek a megújuló energiák? www.origo.hu/tudomany, 2008. 04. 22., 8:40
3. Jakabffy Éva Kék bolygó, zöld jövő – mennyire zöldek a megújuló energiák? www.origo.hu/tudomany, 2008. 05. 02., 8:08
4. Kis kémiai szótár, GONDOLAT KIADÓ, Bp. 1972.
5. Környezetbarát energia a vízből – a jövő a hidrogéné lehet, www.origo.hu/tudomany, 2008. 06. 30.
6. Nárai-Szabó István: Kémia, MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ, 1973.
7. Óvári Gy: Merev és forgószárnyas repülőgépek szerkezetana III. Repülőgépek rendszerei, (egyetemi/főiskolai jegyzet) KGYRMF, Szolnok, 1990. és lényegesen átdolgozott, multimediás (PDF) változata (kézirat), ZMNE RLI 2009.
8. Pesthy Gábor: Áttörés a hidrogén előállításában, www.origo.hu/tudomany, 2008. 08. 19.
9. Szenzáció, itt a repülőgép ami gázzal működik, www.hvg.hu 2009. 11. 05.
10. Új hidrogénforrás, www.termeszetvilaga.hu 2005. 06. 15.
11. Warwick, Graham: Electric Charge AWIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY 2010. 09. 20/27 p. 66.
12. Warwick, Graham: Fuel for Growth AWIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY 2010. 09. 20/27 p. 57-59.
13. www.kekenergia.hu Non-profit megújuló energiákat ismertető oldal: Kyocera japán napelemek; Napenergia hasznosítása napkollektorral, napelemmel, hőszivattyúval;
14. Вороновым, С. – Каргополцев, В. – Кутасов, В.: „Полностью электрический самолет” АВИАПАНОРАМА 2009. 03-04. p.14-17.
15. Зайцев, В.: Новое топливо для авиации АВИАГЛОБУС 2009. 07. p. 10-13.
16. Катин, Д: Работы в США по оптимизации затрат на закупку топлива для военной авиации, ЗАРУБЕЖНОЕВОЕННООБЗОЗРЕНИЕ 2008. 07. p. 46-50.
17. Маврицкий, В. И. – Зайцев, В.: ЛТХ двухтопливного вертолета АВИАГЛОБУС 2009. 06. p. 16-17.
18. Чернышев, С. Л. – Ковалев, И. Е. – Маврицкий, В. И.: Переход на новое авиационное топливо АВИАГЛОБУС 2009. 09. p. 24-29.
19. Цены на авиатопливо будут снижены дважды Источник: «[Независимое Информационное Агентство](#)» Опубликовано: 12.12.2008, 18:01